

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ИНСТИТУТ РАДИОБИОЛОГИИ

МИНИСТЕРСТВО ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ИНСТИТУТ РАДИОЛОГИИ
ГОМЕЛЬСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ И ЭКОЛОГИИ ЧЕЛОВЕКА



ЧЕРНОБЫЛЬ: 30 ЛЕТ СПУСТЯ



Материалы международной научной
конференции (21–22 апреля 2016 г.)
Proceedings of the International Scientific
Conference (April 21–22, 2016)

Гомель 2016

УДК 577.391
ББК 28.071.25
Ч45

Редакционная коллегия:

*канд. мед. наук И.А. Чешик, канд. тех. наук А.А. Зайцев, канд. юрид. наук А.Э. Набатова,
канд. биол. наук Н.И. Тимохина, канд. биол. наук О.Л. Федосенко, канд. с-х. наук А.Г. Подоляк,
канд. с-х. наук В.В. Дробышевская,*

Чернобыль: 30 лет спустя : материалы междунар. науч. конф. (Гомель, 21–22 апр. 2016 г.) –
Ч45 Гомель: Ин-т радиологии, 2016. – 466 с.
ISBN 978-985-7152-04-9

В сборнике представлены результаты исследований, посвященные **30-летию** катастрофы на Чернобыльской АЭС, по трем разделам: радиобиологические и радиэкологические последствия катастрофы на Чернобыльской АЭС; радиэкологические аспекты реабилитации территорий, загрязненных радионуклидами; проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в зонах радиоактивного загрязнения в контексте преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

УДК 577.391
ББК 28.071.25

ISBN 978-985-7152-04-9

© Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», 2016
© Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС.....	13
ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА РАДИОБИОЛОГИИ НАН БЕЛАРУСИ В ОБЛАСТИ МИНИМИЗАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС <i>И.А. Чешик, Н.И. Тимохина, О.Л. Федосенко, А.Н. Никитин, С.Н. Сушко, Г.А. Горох.....</i>	14
БИОИНДИКАЦИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗАПОРОЖСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ДНЕПРОПЕТРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, УКРАИНА) ПО ИХТИОФАУНЕ <i>Т.В. Ананьева, О.Н. Маренков, З.В. Шаповаленко.....</i>	19
ОЧАГИ ЗООНОЗНЫХ ГЕЛЬМИНТОЗОВ В ПОЛЕССКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ <i>Е.И. Анисимова, И.С.Юрченко.....</i>	22
ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ <i>Chironomus curabilis Belyanina, Sigareva, Loginova, 1990 (Chironomidae, Diptera)</i> ИЗ ВОДОЕМОВ НОВОЗЫБКОВСКОГО И КЛИНЦОВСКОГО РАЙОНОВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ <i>С.И. Белянина.....</i>	25
ГЕМОПОЭТИЧЕСКИЕ КЛЕТКИ-ПРЕДШЕСТВЕННИКИ В ОСТРОМ И ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>Н.М. Билько, И.З. Руссу, Д.И. Билько, Г.В. Будаш.....</i>	28
ПРОВЕДЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ И <i>IN SITU</i> ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>Ю.И. Бондарь, В.Н. Забродский, В.И. Садчиков, В.Н. Калинин.....</i>	31
ПУТИ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ОРГАНИЗМА УЧАСТНИКОВ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ КРУПНОМАСШТАБНЫХ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ <i>В.Н. Бортновский.....</i>	34
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs ГРИБАМИ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ ЛЕСНОГО ФОНДА В МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Н.И. Булко, А.К. Козлов, М.А. Шабалева, Н.В. Толкачева, Н.В. Митин.....</i>	37
РЕАКЦИЯ СЕМЕННИКОВ КРЫС НА ПРОЛОНГИРОВАННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ В СУММАРНЫХ ДОЗАХ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ У ЛИЦ, ПРИНИМАВШИХ УЧАСТИЕ В ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС <i>Г.Г. Верещако, А.М. Ходосовская, И.В. Ролевич.....</i>	41
НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs И ^{90}Sr ПОДРОСТОМ И ПОДЛЕСКОМ В СУХОДОЛЬНЫХ СОСНЯКАХ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА <i>Д.К. Гарбарук, М.В. Кудин, А.В. Углянец.....</i>	44

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ДОМИНИРУЮЩИМИ ВИДАМИ РАСТЕНИЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>В.В. Головешкин</i>	48
ПАРАМЕТРЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>В.В. Головешкин, С.А. Калиниченко, А.Н. Чудинов</i>	52
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ <i>Н.В. Гончарова</i>	55
КОРРЕКЦИЯ РАДИОИНДУЦИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА У ВЗРОСЛЫХ И СТАРЫХ КРЫС <i>Е.Н. Горбань, Е.В. Подъяченко, Л.И. Малаш</i>	57
КОРРЕКЦИЯ РАДИОИНДУЦИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА У ВЗРОСЛЫХ И СТАРЫХ КРЫС <i>Е.Н. Горбань, Н.А. Утко, Е.В. Подъяченко</i>	62
ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ТУБЕРКУЛЕЗОМ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ В НАИБОЛЕЕ ПОСТРАДАВШИХ ОТ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ РАЙОНАХ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Л.А. Горбач</i>	66
МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ <i>А.Н. Гребенюк, А.Е. Антушевич, В.И. Лезеза, А.В. Миляев</i>	72
ВОЗДЕЙСТВИЕ ИНКОРПОРИРОВАННОГО ¹³⁷ Cs НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КЛЕТКЕ – АКТУАЛЬНАЯ ПОСТЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ ПРОБЛЕМА <i>А.И. Грицук, А.Н. Коваль, С.М. Сергеенко, Н.А. Грицук, В.Т. Свергун, В.В. Матвеев</i>	75
СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ НОРМАТИВНО ЧИСТОЙ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА НА ЗЕМЛЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ В РЕЗУЛЬТАТЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС <i>Г.З. Гуцева, А.Н. Никитин</i>	78
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА <i>А.А. Дворник, А.М. Дворник, Р.А. Король, С.О. Гапоненко</i>	82
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ <i>А.М. Дворник, А.А. Дворник</i>	85
РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВЫБРОСОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ НА ПРИРОДНУЮ ФЛОРУ <i>С.А. Дмитриева, Т.О. Давидчик</i>	88
УСТОЙЧИВОСТЬ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ К ДЕЙСТВИЮ ТЯЖЕЛЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ И В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА <i>О.В. Ермакова, О.В. Раскоша</i>	91

К ВОПРОСУ О РОЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЛУЧЕВОГО ПАТОГЕНЕЗА ПОЛОВЫХ ЖЕЛЕЗ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ РЕПРОДУКТИВНОГО ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В ЗОНАХ С ПОВЫШЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ ФОНОМ <i>И.А. Жукова, О.Н. Аблековская</i>	94
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ РАЗРУШЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ ТОПЛИВНЫХ ЧАСТИЦ, ВЫПАВШИХ НА ТЕРРИТОРИЮ БЕЛОРУССКОЙ ЧАСТИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС <i>В.Н. Забродский, Ю.И. Бондарь, В.Н. Калинин, В.И. Садчиков</i>	98
ДИНАМИКА ПЕРЕХОДА ^{137}Cs В ДРЕВЕСИНУ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ПО ДАННЫМ 2003-2015 гг. <i>В.Н. Забродский, Ю.И. Бондарь, М.В. Кудин, Н.В. Блинова</i>	101
GENE REGULATION OF APOPTOSIS IN PERIPHERAL BLOOD LEUKOCYTES OF CHERNOBYL CLEANUP WORKERS <i>I.N. Pienko, D.A. Bazyka</i>	105
ОПУХОЛЕВОЕ МИКРООКРУЖЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО КОРРЕКЦИИ У МЫШЕЙ ЛИНИИ A/f В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС <i>Е.М. Кадукова, С.Н. Сушко</i>	109
ОСОБЕННОСТИ ЛАТЕРАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am В ПОЧВЕ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС <i>С.А. Калиниченко, В.В. Головешкин, А.Н. Чудинов</i>	112
РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА ТЕРРИТОРИИ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ АВАРИИ НА ЧАЭС В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД <i>С.А. Калиниченко, Ю.Д. Марченко, О.А. Шуранкова</i>	116
REMOTE EFFECTS OF POST-CHORNOBYL IRRADIATION ON THE MALE REPRODUCTIVE HEALTH <i>A.V. Klepko, L.V. Sakovska, L.V. Gorban, Yu. A. Kondratova, S.V. Andreychenko</i>	119
МИГРАЦИЯ ТУЭ ПО ТРОФИЧЕСКИМ ЦЕПЯМ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Р.А. Король, А.Н. Никитин</i>	123
МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}Cs И ^{90}Sr В ПОЧВАХ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>А.В. Кудельский, В.И. Пашкевич, С.В. Овсянникова</i>	127
ВЛИЯНИЕ γ -ИЗЛУЧЕНИЕ В РАЗНЫХ РЕЖИМАХ НА АНДРОГЕН-РЕЦЕПТОРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ ПРИ ГИПОФУНКЦИИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС <i>Ф.И. Куц, Е.Г. Попов, О.Л. Белоусов</i>	131
ТИПЫ ПАЛИНОТЕРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОТЛОЖЕНИЙ ИЗ 30-КМ ЗОНЫ ЧЕРНОБЫЛЯ И ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЭКСТРЕМУМОВ <i>Г.М. Левковская, Н.В. Шамаль, М.Г. Орехова, В.П. Мацко, И.И. Сквернюк, Д.А. Брицкий</i>	135

EM TECHNOLOGY IN EUROPE Jun Matsumoto, Ueli Rothenbühler, Attila Murányi	140
АККУМУЛЯЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ОСНОВНЫМИ ВИДАМИ ЛЕСНЫХ ЯГОД, ГРИБОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ КУЛИНАРНОЙ ОБРАБОТКИ А.Ф. Мирончик.....	143
ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ БЕЛАРУСИ В ПЕРВУЮ ДЕКАДУ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЯ Т.А. Митюкова, Л.Н. Астахова, В.М. Дрозд.....	147
НАКОПЛЕНИЕ ¹³⁷ Cs РЫБАМИ ВОДОЕМОВ БЕЛОРУССКОГО СЕКТОРА ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС Р.А. Ненашев, Ю.Д. Марченко, А.Н. Чудинов, М.А. Шабалева.....	150
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ОТ ТУЭ НА ДИКИХ КОПЫТНЫХ ЖИВОТНЫХ, ОБИТАЮЩИХ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ А.Н. Никитин, О.А. Шуранкова.....	154
POSSIBILITIES OF EFFECTIVE MICROORGANISMS™ (EM) TECHNOLOGY FOR REDUCING RADIOACTIVE CESIUM CONTAMINATION IN SOIL Shuichi Okumoto, Masaki Shintani and Teruo Higa.....	157
МОДЕЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ И ДОПУЩЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ Т.В. Переволоцкая, А.Н. Переволоцкий, С.И. Спиридонов.....	159
АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ДОЗЫ ВНЕШНЕГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ А.Н. Переволоцкий, Е.В. Великоборец, Е.В. Красовская.....	162
ИЗМЕНЕНИЯ ПРОДУКЦИИ АКТИВНЫХ МЕТАБОЛИТОВ АЗОТА В РЯДУ ПОКОЛЕНИЙ КРЫС ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС Д.Р. Петренев.....	165
ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЧВОУЛУЧШАЮЩИХ ДОБАВОК НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ ДОСТУПНОСТЬ ЦЕЗИЯ В ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЧВАХ О.И. Попова, А.Н. Никитин.....	169
МИКРОБИОТА КИШЕЧНИКА У ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС Г.Г. Родионов, И.Э. Ушал, Е.А. Колобова, Е.В. Светкина, Е.И. Павлова.....	173
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС И.В. Ролевич, Г.И. Морзак, Е.В. Зеленухо.....	176
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ПОДВИЖНОСТЬ ПЛУТОНИЯ И АМЕРИЦИЯ В ПОЧВАХ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ Г.А. Соколик, С.В. Овсянникова, С.Л. Лейнова, Т.Г. Иванова.....	180

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЕДЕНИЮ РАСТЕНИЕВОДСТВА НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАДОАКТИВНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧАЭС <i>С.И. Спиридонов, В.В. Иванов, Н.И. Санжарова, Т.В. Переволоцкая.....</i>	183
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ <i>Р.К. Спиров, А.Н. Никитин.....</i>	187
МИКРОСКОПИЯ ЛАТЕРАЛЬНЫХ СИЛ КАК НОВЫЙ МЕТОД В ИЗУЧЕНИИ РАДИОГЕННЫХ НЕОПЛАЗИЙ <i>М.Н. Стародубцева, И.Е. Стародубцев, Д.Р. Петренев, Н.И. Егоренков.....</i>	189
ВЛИЯНИЕ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ОБЛУЧЕНИЯ, МОДЕЛИРУЮЩЕГО ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ У ЛИКВИДАТОРОВ АВАРИИ НА ЧАЭС, НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА <i>Д.Г. Сташкевич.....</i>	193
ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ В ЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ КЛЕТКАХ ХРУСТАЛИКА ГЛАЗ РЫБ В ВОДОЕМАХ ПГРЭС <i>С.Н. Сушко, А.М. Слуквин, Е.А. Клементьева.....</i>	196
ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС НА КЛЕТКИ КРОВЕТВОРНОЙ СИСТЕМЫ <i>С.Н. Сушко, С.В. Гончаров, Е.М. Кадукова.....</i>	199
ТИРЕОИДНАЯ И РЕПРОДУКТИВНАЯ СИСТЕМА У ПОТОМКОВ ОБЛУЧЕННЫХ ¹³¹ I РОДИТЕЛЕЙ (КЛИНИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ) <i>В.В. Талько, О.В. Копылова, Е.М. Прохорова, О.А. Бойко, Н.П. Атаманюк, О.С. Ватлицова, Л.В. Неумержицкая, I.П. Дрозд, А.І. Липська, О.Я. Плескач, А.А. Чумак.....</i>	203
COMPARATIVE ANALYSIS IN THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL EFFECTS OF CHRONIC EXPOSURE FROM INCORPORATED PLUTONIUM RADIONUCLIDES ON THE BLACK SEA HYDROBIONTS <i>N.N. Tereshchenko, V.Yur. Proskurnin, T.A. Krylova.....</i>	206
НАЦИОНАЛЬНАЯ КОМИССИЯ БЕЛАРУСИ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ: ИТОГИ 25-ЛЕТНЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ <i>В.И.Тернов, Я.Э.Кенигсберг, А.Н.Стожаров.....</i>	210
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛУГОВЫХ И ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОЙМЫ Р. СОЖ ВЕТКОВСКОГО РАЙОНА <i>С.Ф. Тимофеев, Н.М. Дайнеко.....</i>	214
ОСОБЕННОСТИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЛЕЙКОЗАМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ <i>А.А. Чешик, И.В. Вейлкин, Э.А. Надыров.....</i>	217
ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПГРЭС НА РЕПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ <i>Н.В. Чуешова, К.Н. Шафорост, Д.А. Ноздрев, Н.Н. Вейлкина.....</i>	221

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СРЕДНЕГОДОВОЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ <i>Л.А. Чунихин, Д.Н. Дроздов.....</i>	224
ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ НА ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ <i>Н.В. Шамаль.....</i>	228
СОСТОЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В ТКАНЯХ ДИКИХ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ ИЗ ЗОНЫ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>Л.Н. Шишкина, А.Г. Кудяшева, О.Г. Шевченко, Н.Г. Загорская, А.И. Таскаев.....</i>	231
ГЕЛЬМИНТОЗЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В ХОЗЯЙСТВАХ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ <i>А.И. Ятусевич, Р.Н. Протасовицкая.....</i>	233
ABSTRACTS.....	237
СЕКЦИЯ 2. РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ	277
ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{90}Sr И ^{137}Cs В УРОЖАЕ РАЗЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В АЗЕРБАЙДЖАНЕ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС <i>М.А. Абдуллаев, Т.А. Холина.....</i>	278
РИСК ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ЮГО-ЗАПАДЕ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Н.М. Белоус, С.Ф. Чесалин, И.Н. Белоус.....</i>	281
ДИНАМИКА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТНЫХ МЕР НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЛЯХ БЕЛАРУСИ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС <i>И.М. Богдевич, Ю.В. Пуцятин.....</i>	284
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО КОНСУЛЬТИРОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ <i>Н.Я. Борисевич, Е.И. Боскина.....</i>	288
ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ, ТЯЖЕЛЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПОЧВОГРУНТОВ И ОТХОДОВ ГОРНОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ <i>Г.П. Бровка, И.Н. Дорожок.....</i>	291
ЗАГРЯЗНЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ^{90}Sr В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕСЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ЗОЛЫ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ <i>К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова.....</i>	294
ПОСЛЕДСТВИЯ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И РЕАБИЛИТАЦИЯ ПОСТРАДАВШИХ ТЕРРИТОРИЙ ГЛАЗАМИ ПЕДАГОГОВ <i>Е.И. Горанская, Н.В. Астюкевич.....</i>	296

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>О.В. Егорова</i>	298
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	
<i>Р.Г. Ильязов</i>	301
ФИЛОСОФСКИЕ УРОКИ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ	
<i>Р.Г. Ильязов</i>	304
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ И ПРЕОДОЛЕНИЕ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	
<i>Р.Г. Ильязов, В.С. Аверин, А.В. Гулаков, А.А. Царенок, А.Г. Гвоздик, А.Ф. Карпенко, А.В. Наумчик, Л.П. Захарова, Л.И. Губанова, В.В. Точилина, П.Н. Цыгвинцев</i>	306
ВЛИЯНИЕ РАССОЛА «БЕЛОРУССИТ» НА ПРИРОСТ ЖИВОЙ МАССЫ ЖИВОТНЫХ И ПТИЦЫ И МИГРАЦИЮ РАДИОНУКЛИДОВ	
<i>А.Ф. Карпенко, А.Г. Подоляк</i>	310
СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАРТОФЕЛЯ ПО КОЭФФИЦИЕНТАМ ПЕРЕХОДА РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}Cs И ^{90}Sr	
<i>Л.И. Козлова</i>	314
ПРИМЕНИМОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО МЕТОДА СБОРА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ДОЧЕРНИХ ПРОДУКТОВ РАСПАДА РАДОНА И ТОРОНА ИЗ ВОЗДУХА ЗАМКНУТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ	
<i>Д.В. Колесников, И.В. Кравченко</i>	317
К ПРОБЛЕМЕ ПРОИЗВОДСТВА ГОВЯДИНЫ, СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ НОРМАТИВУ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА ПО СОДЕРЖАНИЮ ^{137}Cs	
<i>Е.В. Копыльцова, Э.Н. Цуранков</i>	322
ДЕЗАКТИВАЦИЯ РЫБНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ НЕПРОТОЧНОГО ОЗЕРНОГО ВОДОЕМА	
<i>А.В. Кудельский, Дж.Т. Смит, В.И. Пашкевич, С.В. Овсянникова</i>	325
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ АГРОХИМИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs В УРОЖАЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	
<i>В.К. Кузнецов, В.П. Грунская, Н.В. Андреева</i>	328
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛУГОВЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ	
<i>Т.В. Ласько</i>	332
ПОСТУПЛЕНИЕ ^{137}Cs И ^{90}Sr В МНОГОЛЕТНИЕ ЗЛАКОВЫЕ ТРАВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ	
<i>З.В. Лозовая</i>	336
ОПТИМИЗАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ^{137}Cs АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ	
<i>Л.Н. Лученок</i>	340

ОЦЕНКА РИСКОВ НЕСООТВЕТСТВИЯ НОРМАТИВУ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА МЯСА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПО СОДЕРЖАНИЮ ^{137}Cs В МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>О.А. Мерзлова, Е.В. Копыльцова, Т.Н. Агеева</i>	343
ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ В МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>О.А. Мерзлова, Т.В. Малиновская</i>	346
СОДЕРЖАНИЕ В ПОЧВЕ И НАКОПЛЕНИЕ В ПРОДУКЦИИ ^{90}Sr И ^{137}Cs ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ	
<i>А.Ф. Мирончик</i>	350
ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ДЕЗАКТИВАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА	
<i>Р.А. Ненашев, Ю.Д. Марченко</i>	354
РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ РЕГИОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В РАЗЛИЧНЫЕ ПЕРИОДЫ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС	
<i>Н.И. Санжарова, А.В. Панов, О.А. Шубина, Н.Н. Исамов</i>	357
ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ АЗОТНЫХ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ВНЕСЕНИЯ НАВОЗА КРС, НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs ЗЕЛЕННОЙ МАССОЙ КУКУРУЗЫ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ	
<i>Н.В. Сидорейко, Ю.В. Пуятин</i>	362
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	
<i>Н.А. Сотникова</i>	365
ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА ^{137}Cs И ^{90}Sr В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ	
<i>А.Г. Подоляк, С.А. Тагай, Т.В. Ласько, А.Ф. Карпенко</i>	368
ВЛИЯНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs МНОГОЛЕТНИМИ ТРАВАМИ	
<i>В.С. Филипенко, Е.Б. Евсеев</i>	372
ВЛИЯНИЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs МНОГОЛЕТНИМИ БОБОВО-ЗЛАКОВЫМИ ТРАВАМИ НА ДЕГРАДИРОВАННОЙ ТОРФЯНО-МИНЕРАЛЬНОЙ ПОЧВЕ	
<i>Н.Н. Цыбулько, А.А. Зайцев, А.В. Шашко</i>	375
КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ КОРМОВЫХ УГОДИЙ	
<i>В.Ф. Шаповалов, Е.В. Смольский</i>	380
УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЯМИ ГРУНТОВЫХ ВОД – ЭФФЕКТИВНЫЙ ПРИЕМ СНИЖЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОРМОВ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ ПОЛЕСЬЯ	
<i>Э.Н. Шкутов, Л.Н. Лученок</i>	384

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬ, ВРЕМЕННО ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС <i>О.А. Шубина, И.Е. Титов, В.В. Кречетников, Р.А. Микаилова</i>	387
ABSTRACTS	392
СЕКЦИЯ 3. ПРОБЛЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС	407
О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СПАСАТЕЛЕЙ ПРИ ТУШЕНИИ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ <i>С.Н. Бобрышева, Ю.Н. Рубцов</i>	408
ОГНЕЗАЩИТНО-ОГНЕТУШАЩИЙ СОСТАВ КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЛЕСНЫМИ И ТОРФЯНЫМИ ПОЖАРАМИ <i>В.В. Богданова, О.И. Кобец</i>	411
РЕЭВАКУАЦИЯ В ЗОНЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>Д.Н. Говоров, А.И. Кузьмин</i>	414
ПОДГОТОВКА ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА К ДЕЙСТВИЯМ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ (ПОЖАРОВ) НА АЭС <i>А.Д. Ищенко, И.С. Фогилев</i>	418
МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПОЖАРЕ <i>А.В. Калач, С.А. Чепрасов</i>	421
ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПЕРЕНОСА ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ НА ТЕРРИТОРИЮ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ С ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ <i>А.В. Коржавин, В.Н. Трапезникова, А.В. Трапезников, А.П. Платаев, А.И. Сучкова</i>	424
УГРОЗА КОМБИНИРОВАННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ АВАРИЯХ НА АЭС <i>Г.В. Мартиросян, С.Б. Федотов</i>	427
ВЛИЯНИЕ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В БЕЛОРУССКОМ СЕКТОРЕ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>Ю.Д. Марченко, В.Е. Белаш</i>	430
МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ <i>А.Ф. Мирончик</i>	433
РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ <i>В.Н. Пасовец, В.А. Ковтун, А.А. Дараган</i>	437

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ФОРМ МЕДЛЕННОДЕЙСТВУЮЩИХ УДОБРЕНИЙ В СЛУЧАЕ АВАРИЙНОГО ВЫБРОСА ^{137}Cs И ^{90}Sr В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ <i>Е.Г. Сарасеко</i>	440
МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ПРЕОДОЛЕНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС <i>В.А. Собина, Л.В. Борисова, В.В. Харламов</i>	444
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЕЙ К РАБОТЕ В КОМПЛЕКТАХ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРВОГО ТИПА <i>В.М. Стрелец</i>	447
ВЛИЯНИЕ ИНГИБИТОРА NOS T1023 НА ЛАБОРАТОРНО-КЛИНИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ КОСТНОМОЗГОВОГО СИНДРОМА ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ <i>М.В. Филимонова, В.М. Макачук, О.С. Изместьева, Л.И. Шевченко, Е.А. Чеснакова, А.С. Самсонова, Т.С. Корнеева, А.С. Филимонов</i>	450
ОСОБЕННОСТИ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ <i>Т.И. Халапсина, Ю.Н. Рубцов</i>	452
ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА <i>Р.И. Шевченко</i>	456
ABSTRACTS	459

**СЕКЦИЯ 1.
РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ
И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ПОСЛЕДСТВИЯ КАТАСТРОФЫ
НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСТИТУТА РАДИОБИОЛОГИИ НАН БЕЛАРУСИ В ОБЛАСТИ МИНИМИЗАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС

И.А. Чешик, Н.И. Тимохина, О.Л. Федосенко, А.Н. Никитин,
С.Н. Сушко, Г.А. Горох

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, irb.basnet.by

Весной 1986 года над Беларусью разразилась катастрофа – авария на Чернобыльской атомной электростанции. В результате аварии в атмосферу было выброшено до 14×10^{18} Бк радиоактивных веществ: $1,8 \times 10^{18}$ Бк иода-131, представлявшего опасность в первые дни аварии; $0,085 \times 10^{18}$ Бк цезия-137; $0,01 \times 10^{18}$ Бк стронция-90; $0,003 \times 10^{18}$ Бк изотопов плутония и др. Загрязнение территории Беларуси цезием-137 с плотностью свыше 37 кБк/м² составило 23% от всей площади республики.

Учитывая масштабность и тяжесть последствий катастрофы на ЧАЭС, Верховный Совет Беларуси в июле 1990 года объявил территорию республики зоной экологического бедствия. Для научного решения проблем, связанных с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС, в 1987 г., в соответствии с решением Совета Министров СССР № 2618р от 26 декабря 1986 года и постановлением Совета Министров БССР № 25 от 28 января 1987 г., был создан Институт радиобиологии Академии наук БССР (сейчас Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»). Постановлением Совета Министров БССР № 2618р от 26 декабря 1986 года и постановлением Совета Министров БССР № 25 от 28 января 1987 г. институт утвержден головной организацией в республике по научному обеспечению решения проблем, связанных с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Обязанности по организации Института радиобиологии и руководства им были возложены на члена-корреспондента (с 1989 г. – академика) Е.Ф. Коноплю, который до 2009 года являлся бессменным руководителем института.

Первоначально институт располагался в Минске, но в 2003 г. для концентрации научного потенциала, занимающегося проблемами последствий Чернобыльской катастрофы, был переведен в г. Гомель.

Работа института была сосредоточена по следующим основным научным направлениям: изучение механизмов биологического действия малых доз ионизирующих излучений и влияния радиационно-экологической обстановки на живые организмы; изучение закономерностей поведения радионуклидов в экосистемах, включения их в трофические цепи, аккумуляции в организме и формирования дозовых нагрузок; разработка способов снижения повреждающего действия радиации.

Сотрудники будущего института включились в научное решение чернобыльских проблем еще до официального дня его основания. Уже в сентябре 1986 экспериментальные животные были вывезены на участок с высоким уровнем загрязнения радионуклидами, расположенный в Могилевской области. Тогда же были получены первые оценки радиационной обстановки в республике и собран секционный материал умерших людей для оценки медицинских последствий катастрофы на ЧАЭС. Следует отметить, что многие работы выполнялись под грифом «Секретно».

Со дня своего основания Институт радиобиологии принял участие в союзной Комплексной программе на 1986–1990 гг. по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС по разделу I «Экология» и в Программе научно-исследовательских и опытных работ учреждений Белорусской ССР в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС на 1988 – 1990 гг. В рамках данных программ институтом выполнены работы по харак-

теристике радиоэкологической ситуации в фитоценозах заповедника; определению уровней содержания стронция-90 и других радионуклидов в почвах, исследованию процессов миграции радионуклидов в различных типах почв; изучению процессов накопления и переноса радионуклидов в поверхностных и подземных водах; изучению химических процессов формирования и изменения пространственного распределения трансурановых элементов (ТУЭ) в системе почва-воздух и изучению физико-химических свойств «горячих» частиц, содержащих ТУЭ; изучению влияния радиоэкологической обстановки на растения и животных с целью выяснения возможных ближайших и отдаленных последствий и разработки методов пострадиационного восстановления.

В 1989–1992 гг. институт проводил исследования в рамках Межреспубликанской программы комплексных исследований по разделу Молекулярная радиобиология, где изучали действие внешнего и внутреннего облучения в малых дозах на механизмы гормональной регуляции метаболизма, функции клеток и структурные изменения в органах и тканях, в том числе в период эмбрионального развития.

В 1988–1992 гг. Институт радиобиологии участвует в Государственной союзно-республиканской программе неотложных мер по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, с 1990 г. – координирует выполнение раздела «Решение долгосрочных проблем радиобиологических и радиоэкологических последствий Чернобыльской катастрофы» Государственной программы Республики Беларусь по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. В рамках данной программы институтом проведена работа по ряду важных направлений: изучение динамики поведения радионуклидов в объектах окружающей среды (воздух, вода, почва); оптимизация системы радиационно-экологического мониторинга и методических приемов его проведения; изучение эффектов малых доз и комбинированных воздействий, поиск способов коррекции вызванных ими повреждений. С 1998 г. институт участвует в выполнении заданий Программы совместной деятельности по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в рамках Союзного государства.

За прошедшие годы работы лабораториями института получен ряд важных фундаментальных и прикладных результатов, которые не только являются существенным вкладом в развитие теоретических представлений современной радиобиологии и радиоэкологии, но и служат научной основой для разработки защитных мер при преодолении последствий катастрофы на ЧАЭС.

Важное место в исследованиях Института радиобиологии отведено изучению метаболических изменений, происходящих в организме, органах и тканях при действии ионизирующей радиации, и нейрогуморальной регуляции этих процессов. Установлено, что изменение исходного состояния эндокринных желез усиливает радиационные последствия при любом виде облучения, что увеличивает риск развития патологии; сочетание различных видов облучения ведет к усилению, а комбинированное действие в ряде случаев и к потенцированию развития негативных последствий. При облучении, состояние репродуктивной системы в поколениях характеризуется нарушением образования как мужских, так и женских половых клеток, снижением синтеза половых гормонов, и рядом других изменений, являющихся основой нарушения репродуктивной функции организма; внутриутробное облучение приводит к повреждению эндокринной, сердечно-сосудистой и других систем, нарушению обменных процессов и возникновению генетических повреждений у плода и потомства.

Полученные данные свидетельствуют о том, что хроническое действие ионизирующего излучения на родителей – существенный фактор, определяющий риск развития патологических процессов у потомства и поколений, снижение их противоопухолевой резистентности. При этом одним из ключевых направлений радиобиологических

исследований становится изучение воздействия радиационного фактора на организм на различных стадиях онтогенеза, а также исследование эффектов низкоинтенсивной радиации в сочетании с другими антропогенными факторами.

В институте проведена оценка непосредственного воздействия сложившейся радиоэкологической обстановки на важнейшие системы организма – сердечно-сосудистую, эндокринную, а также геном и обменные процессы.

Исследование молекулярных механизмов гибели клеток миокарда при воздействии ионизирующего излучения подкрепило данные эпидемиологических исследований, показавших повышенные риски развития сердечно-сосудистых заболеваний у ликвидаторов аварии на ЧАЭС.

Институтом проведены работы по оценке поведения «чернобыльских» радионуклидов в природной среде. Изучены механизмы ресуспензии, миграции и физико-химической трансформации радиоактивных частиц в приземной атмосфере, процессы формирования ингаляционных доз с учетом деструкции плутоний и америций содержащих частиц в организме. Исследована динамика радиоактивного загрязнения почв и воздуха после Чернобыльской катастрофы. Установлено влияние на нее сельскохозяйственных работ и чрезвычайных ситуаций на загрязненных территориях.

Показано, что с годами происходит снижение содержания радиоактивных изотопов цезия, стронция и плутония в приземном слое воздуха, что обусловлено их сорбцией на поверхности почвенных частиц, миграцией по почвенному профилю, а также аккумуляцией растениями. Таким образом, происходит перераспределение и миграция данных радионуклидов в компонентах биосферы, что и снижает их концентрацию в воздухе. Для оценки влияния крупных пожаров в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС на загрязнение воздушной среды в лаборатории радиоэкологии разработаны специальные математические модели.

Институтом подготовлен долгосрочный прогноз изменения уровней радиоактивного загрязнения компонентов экосистем, показавший возрастание удельного вклада трансурановых элементов, в особенности ^{241}Am , в формировании дозовой нагрузки. Анализ накопленных данных позволил выявить снижение скорости миграции и заглубления радионуклидов с годами для различных типов почв. Результаты комплексных радиоэкологических исследований позволили глубже раскрыть особенности перехода радионуклидов по цепи «почва – растения – животные – человек».

На основании проведенных расчетов по реконструкции плотности выпадений йода-131 на территории восточной части Беларуси, получены оценки доз облучения щитовидной железы от ингаляционного поступления йода-131 в организм взрослых и детей. Оказалось, что ингаляционная доза облучения ЩЖ для взрослых жителей 20% населенных пунктов южной и центральной части Могилевской области составила более 5мЗв.

Институтом определены характеристики поведения трансурановых элементов (ТУЭ) в системе «почва-растения». Установлено влияние ряда факторов на процесс поглощения ТУЭ растительностью различной видовой принадлежности, раскрыты особенности накопления-этих радионуклидов в растениях и особенности транслокации их в вегетативных и генеративных органах. В исследованиях луговых ассоциаций выявлены различия в механизмах поступления и распределения ТУЭ в растительных организмах разных жизненных форм одного семейства. Отмечена высокая биологическая подвижность ^{241}Am по сравнению с изотопами цезия и плутония.

Выполненная оценка возможности поступления ТУЭ с продуктами питания в организм человека на отдаленном этапе катастрофы на ЧАЭС показала, что, несмотря на рост накопления изотопов плутония и америция в продукции животноводства и растениеводства, за счет данных радионуклидов, не может быть сформирована доза внут-

ренного облучения, превышающая вклад естественных источников облучения. Вместе с тем, полученные данные свидетельствуют о необходимости организации долговременных исследований за содержанием ТУЭ в естественных и искусственных экосистемах.

Учеными института изучены процессы перехода техногенных радионуклидов в системе «почва – растение» и включение их в пищевые цепи, что позволило предложить ряд средств и способов для снижения накопления радиоактивных изотопов цезия и стронция растениями. Выполненные работы позволили предложить новую систему внесения минеральных удобрений в комплексе с обработкой растений биологически активными веществами, позволяющую существенно снизить поступление ^{90}Sr в овощную продукцию. Разработаны почвоулучшающие добавки, основанные на минерал-сорбенте трепел, продуктах пиролизной и микробиологической переработки биомассы. Добавки предназначены для восстановления техногенно нарушенных почв, повышения плодородия и снижения параметров перехода радионуклидов в растения.

Конечной целью всех исследований, проводимых в Институте радиобиологии, является практическое использование полученных результатов. В результате проведенных работ предложен ряд препаратов, обладающих радиопротекторным или радиотерапевтическим действием. Для научно-производственных объединений республики были разработаны композиции и технологии производства пищевых продуктов с профилактическими свойствами. Создано 50 видов изделий, которые выпускались пищевой промышленностью.

Разработан кальцийсодержащий препарат «Допинат» и его модификации «Допинат-йод», «Допинат-витамин Д», которые использовались в качестве пищевых добавок для обогащения хлебобулочных и других изделий, что позволяет снизить риск заболеваний, обусловленных дефицитом минеральных микронутриентов. На Хойникском хлебозаводе осуществлен промышленный выпуск хлебобулочных изделий, обогащенных БАД «Допинат». На Хойникском производственном участке ОАО «Милковита» осуществляется выпуск сырков глазированных «Фунтишка», обогащенных БАД «Карбосил» (разработанной Институтом радиобиологии). Разработаны бальнеологические средства из растительного сырья марок «Живая природа», «Пихтовый дар», «Облепиховый дар». Средства обладают общеукрепляющим, профилактическим, а также терапевтическим действием.

Разработки Института радиобиологии защищены патентами на изобретения и товарными знаками. Всего получено более 40 патентов.

Для совершенствования и актуализации нормативно-методической базы радиационного мониторинга в институте разработано 19 методик выполнения измерений, утвержденных Комитетом по стандартизации и метрологии.

Одним из направлений практической реализации разработок является тесное взаимодействие с органами местной власти, направленное на решение проблем, вызванных катастрофой на Чернобыльской АЭС.

Результаты фундаментальных и прикладных исследований представлены в ряде монографий и сборниках научных статей.

Результаты исследований по влиянию малых доз радиации на организм и другие материалы положены в основу Концепции проживания населения на загрязненных территориях, содержащую систему современных научно обоснованных представлений о стратегических направлениях практических действий по совершенствованию условий проживания населения и ведения сельского хозяйства.

В современном мире, учитывая масштабы использования источников ионизирующего излучения и электромагнитное загрязнение среды актуальность управления радиационными рисками выходит на новый уровень. Учитывая это, решением Бюро Президиума НАН Беларуси №375 от 8.09.2015 года на базе Института радиобиологии НАН

Беларуси образован Международный научный центр минимизации радиационных рисков. Основные направления работы центра: изучение механизмов биологического действия ионизирующих и неионизирующих излучений и влияния сложившейся в регионах республики экологической обстановки на живые организмы; изучение закономерностей поведения загрязняющих веществ и радионуклидов в экосистемах, включения их в трофические цепи и аккумуляции в организме; разработка способов и средств снижения негативного воздействия факторов окружающей среды на организм; координация научных исследований и разработок в области оценки влияния ионизирующих и неионизирующих излучений на биоту и человека; организация управления использованием источников ионизирующего излучения в организациях в соответствии с НПА и ТНПА (услуги, сертификация). Научные результаты работы Центра позволят расширить представление о механизмах действия ионизирующих и неионизирующих излучений на состояние систем живого организма на различных уровнях организации, а также позволят готовить прогнозы и управлять негативными последствиями действия факторов радиационной и нерадиационной природы. Кроме того, будут разработаны и усовершенствованы методы реабилитации техногенно нарушенных территорий; средства и способы повышения резистентности организма к неблагоприятным факторам.

Таким образом Институтом радиобиологии НАН Беларуси в ходе многолетних научных исследований для решения проблем последствий катастрофы на ЧАЭС, уточнены методы оценки и прогноза радиационной обстановки и ее влияния на живые организмы; реконструирована начальная послеаварийная обстановка загрязнения короткоживущими радионуклидами, что позволяет более объективно подойти к оценке «доза – эффект» и к прогнозу медицинских последствий; осуществлена всесторонняя оценка динамики содержания, миграции и форм нахождения «чернобыльских» радионуклидов в воде, воздухе и почве, определены основные факторы, оказывающие влияние на особенности их перехода по цепи «почва – растения – животные – человек» и сделан прогноз; исследовано влияние ионизирующих излучений в разных дозах в ближайшие и отдаленные сроки на функции важнейших систем организма (сердечно-сосудистая система, репродуктивная и другие); а также влияние исходного функционального состояния эндокринных желез на радиочувствительность организма и пострадиационные изменения в нем; предложен ряд средств, снижающих пострадиационные изменения в организме и накопление в нем радионуклидов.

В настоящее время, несмотря на 30-летний период, после аварии на ЧАЭС, остается ряд **проблемных вопросов**, которые требуют дальнейшего изучения:

- мониторинг биогеоэкологических процессов, происходящих в зонах сильного загрязнения радионуклидами и предупреждение их переноса за пределы зоны отчуждения Чернобыльской АЭС; исследование эффектов сочетанного действия малых доз ионизирующих излучений с факторами нерадиационной природы на организм; оценка загрязнения территории Республики Беларусь и отдельных экосистем трансурановыми элементами, анализ поведения ТУЭ и определение рисков их поступления в организм человека; разработка новых способов регуляции поступления загрязняющих веществ и радионуклидов в продукцию сельского хозяйства; совершенствование, разработка и внедрение новых макро- и микронутриентов, энтеросорбентов и других биодобавок, предназначенных для повышения устойчивости организма (человека и сельскохозяйственных животных) к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды; информирование населения о принципах безопасного проживания на техногенно нарушенных территориях.

БИОИНДИКАЦИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗАПОРОЖСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ДНЕПРОПЕТРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, УКРАИНА) ПО ИХТИОФАУНЕ

Т.В. Ананьева, О.Н. Маренков, З.В. Шаповаленко

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепропетровск, Украина, hydro-dnu@mail.ru

Введение. Глобальной проблемой современности является загрязнение окружающей среды радионуклидами. В Днепропетровской области риск радиационного загрязнения обусловлен работой предприятий первичного ядерного цикла, а также существованием хвостохранилищ вблизи г. Днепродзержинска, которые представляют угрозу утечки радиоактивных отходов, накопленных после переработки уранового сырья. Также за счет аварии на ЧАЭС в 1986 году значительная территория была загрязнена искусственными радионуклидами уранового ряда – ^{90}Sr , ^{137}Cs и др. Перспективным методом оценки антропогенной нагрузки на водные экосистемы является биоиндикация, когда степень воздействия оценивается по ответным реакциям компонентов биологических систем, которые позволяют определить эффекты, возникающие под влиянием комплекса загрязняющих веществ и абиотических факторов за определенное время.

В свете современных народнохозяйственных проблем в Украине одной из первоочередных задач, стоящих перед отечественным агропромышленным комплексом, является обеспечение населения качественной и доступной пищевой продукцией. Особое внимание уделяется рыбной продукции, поскольку рыба представляет незаменимый источник полноценного животного белка, а также важный диетический продукт питания.

Запорожское водохранилище является основным поставщиком рыбы для населения Днепропетровской области (более 60 % от общего ежегодного объема выращенной и выловленной рыбы), поэтому рациональное использование и экспертиза его рыбных запасов имеет первостепенное значение для развития рыбной отрасли в области.

Материалы и методы. Ихтиологические пробы отбирали в весенне-летний период во время контрольных и промысловых обловов на основных рыбопромысловых участках Запорожского водохранилища.

Контрольный лов рыб проводился на основании разрешений, выданных Управлением охраны, использования и воспроизводства водных биоресурсов и регулирования рыболовства в Днепропетровской области. Вылов рыбы осуществляли стандартным набором ставных сетей с шагом ячеи 30–120 мм. Уклейку отлавливали в третьей декаде июля – первой декаде августа на мелководьях Запорожского водохранилища 10-метровым неводом высотой 1 м, который изготовлен из мельничного газа № 7 [3].

Подготовка проб к радиоспектрометрическим измерениям заключалась в отделении мышц от других органов и тканей, измельчении и высушивания при температуре 105°C до постоянного веса [2].

Содержание радионуклидов в тканях рыб определяли с помощью сцинтилляционного спектрометра энергии гамма-излучения СЭГ-001 «АКП-С» и спектрометр бета-излучения СЭБ-01-150 [1]. Концентрацию радионуклидов в ихтиологических пробах выражали в беккерелях на килограмм (Бк/кг) сырого веса. Удельную активность радионуклидов оценивали с помощью коэффициента накопления (Кн), который рассчитывали по формуле:

$$K_n = C_1 / C_{\text{(водн.)}}$$

где C_1 – концентрация определенного вещества в пробе (Бк/кг),
 $C_{\text{(водн.)}}$ – концентрация веществ в воде (Бк/кг) [4].

Цифровые данные подвергали математической обработке стандартными методами вариационной статистики с использованием пакетов прикладных программ *Microsoft Excel* и *STATISTICA 6.0*.

Результаты исследований и их обсуждение. Общий объем вылова рыбы в Запорожском водохранилище держится на уровне 660–700 т/год. Основной промысел базируется на карповых видах рыб – сазан, лещ, плотва, карась серебряный, густера, белый толстолобик.

В соответствии со спецификой трофических связей рыб использовали следующую балльную систему для коэффициента трофической группы (K_t): хищники – 4 балла, бентофаги – 3, растительноядные – 2, планктофаги – 1. Видам рыб, которые изменяют характер питания по мере роста, присваивали средний балл, например, окунь, достигающий длины 12–14 см, преимущественно бентофаг, а более 15 см – облигатный хищник.

Частоту встречаемости видов рыб (K_v) оценивали по следующим баллам: редкая встречаемость – 1 балл, средняя – 2, частая – 3. Те виды, у которых балл оказывался наиболее высоким, получали предпочтение для выбора их в качестве организмов-индикаторов [5].

В качестве объектов радиоэкологического мониторинга предпочтение отдавали рыбам оседлым, которые не совершают далеких миграций и обитают в пределах определенных территорий. Коэффициент мигрантности (K_m) у таких видов оценивался в 4 балла. Рыбы, которые совершали небольшие нерестовые или кормовые миграции – 3, полупроходные – 2, проходные – 1 балл.

Исходя из вклада каждого вида рыб в общие промысловые уловы, рассчитывался коэффициент промысловой значимости (K_p). Баллы присваивали следующим образом: низкая численность в уловах – 1 балл, средняя – 2, и высокая – 3 балла.

Для сравнительной оценки миграции радионуклидов из внешней среды в органы и ткани рыб используют коэффициент накопления (K_n). В таблице 1 приведены усредненные значения K_n ^{137}Cs для видов рыб, на которых базируется промысел.

Как видно из табл. 1, наибольший коэффициент накопления ^{137}Cs характерен для карася серебряного, что объясняется его рационом питания – это вид с широким трофическим спектром (донный эврифаг), который во время поиска пищи вместе с кормовыми объектами захватывает частички детрита и ила, содержащие радиоактивные вещества. Исходя из наших данных, высокий коэффициент накопления ^{137}Cs (151,6) наблюдается у плотвы, что напрямую связано с ее спектром питания, так как плотва – бентофаг и питается моллюсками р. *Dreissena*, которые аккумулируют радионуклиды. Высокие коэффициенты накопления также отмечаются у видов-бентофагов – леща и сазана, что вызвано их придонным образом жизни – во время поиска пищевых объектов они взмучивают 10–15 см слой ила, тем самым повторно высвобождают депонированные радионуклиды. Накопление ^{137}Cs окунем также обусловлено спектром питания – он занимает высший трофический уровень, так как выступает хищником и биоаккумулирует радионуклиды по пищевой цепи.

Таблица 1 – Интегральный показатель выбора видов-индикаторов для радиоэкологического мониторинга по ихтиофауне

№	Виды рыб	Кн* ¹³⁷ Cs	Kv	Kt	Km	Kp	ΣК
1.	Окунь	111,3	3	3,5	1	3	10,5
2.	Судак	43,8	1	4	2	2	9
3.	Карась серебряный	143,1	3	2	4	3	12
4.	Лещ	135,0	2	3	2	2	9
5.	Плотва	151,6	3	2,5	3	3	11,5
6.	Голавль	56,5	2	2,5	2	2	8,5
7.	Щука	82,1	1	4	2	1	8
8.	Густера	56,5	1	3	2	2	8
9.	Уклейка	31,2	3	1	3	3	10
10.	Сазан	104,5	2	3	4	2	11
11.	Белый толстолобик	33,5	2	1	3	2	8

*Примечание. Кн – коэффициент накопления ¹³⁷Cs, Kt – коэффициент трофической группы, Kv – частота встречаемости рыб, Km – коэффициент мигрантности, Kp – коэффициент промысловой значимости.

Подсчет баллов по совокупности оценок дает интегральный показатель для выбора рыб-индикаторов радиоэкологического мониторинга Запорожского водохранилища. Определенные виды-индикаторы радиоактивного загрязнения позволяют оценить уровни накопления радионуклидов в рыбах как представителях последних звеньев трофической цепи водоема. Также можно оценить риск попадания радионуклидов в организм человека при употреблении данных видов рыб в пищу.

Заключение. Для оптимизации радиоэкологического мониторинга желательно выбирать минимальное количество видов рыб, которые могут полноценно отображать радиобиологическую ситуацию в водоемах, подверженных радиационным рискам. Анализ интегрального показателя для выбора видов-индикаторов в Запорожском водохранилище позволил выделить 5 основных видов рыб, биолого-экологические характеристики которых делают их наиболее показательными при проведении мониторинговых исследований. При проведении биоиндикации по ихтиофауне в Запорожском водохранилище в первую очередь необходимо исследовать содержание радионуклидов в организмах таких видов, как карась серебряный, плотва, окунь, сазан, уклейка. Данные виды представляют три основные трофические группы – хищники, бентофаги и планктофаги.

Литература

1. Бабенко В.В. Активність бета-випромінних радіонуклідів в лічильних зразках / В.В. Бабенко, О.С. Казимиров, О.Ф. Рудик // Методика виконання вимірювань з використанням сцинтиляційних спектрометрів і програмного забезпечення АК-1. НВП «Атом Комплекс Прилад», 1998. – 27 с.
2. Методика відбору проб сільськогосподарської продукції та продуктів харчування для лабораторного аналізу на вміст радіонуклідів // Довідник для радіологічних служб Мінсільгосппроду України. К., 1997. – С. 3–14.
3. Методика збору і обробки іхтіологічних і гідробіологічних матеріалів з метою визначення лімітів промислового вилучення риби з великих водосховищ і лиманів України / С.П. Озінковська, В.М. Єрко, Г.Д. Коханова [та ін.] – К.: ІРГ УААН, 1998. – 47 с.
4. Перечень национальных стандартов Украины (ДСТУ) по состоянию на 01.01.2008. Часть 1: К. – 2008 – С. 220–223.
5. Рябов И. Н. Методические основы радиоэкологических исследований рыб Обь-Иртышского бассейна / И.Н. Рябов, И.А. Рябцев, Н.И. Полякова,

ОЧАГИ ЗООНОЗНЫХ ГЕЛЬМИНТОЗОВ В ПОЛЕССКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

Е.И. Анисимова¹, И.С.Юрченко²

¹Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, Минск,
anis-zoo@yandex.ru

²Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, Хойники, Беларусь,
i.yurchenko.x@mail.ru

Введение. Территория Полесского радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) является уникальной, на которой в связи с прекращением хозяйственной деятельности человека происходят естественные процессы восстановления трансформированных ранее экосистем. Комплекс новых условий сказывается на разных систематических группах животных. В зонах радиоактивного загрязнения из-за ослабления физиологического состояния и, возможно, иммунитета диких животных могут активизироваться очаги заболеваний [6]. В связи с этим была поставлена цель выяснения ситуации по очаговым гельминтозам в ПГРЭЗ.

Особое место среди зоонозных гельминтозов занимают трихинеллез и описторхоз. По характеру вспышек (массовость, внезапность) трихинеллез напоминает многие инфекционные болезни (дизентерию, тиф, туляремию) [3]. Основным источником заражения человека является не проверенное мясо дикого кабана, что подтверждается данными Департамента ветеринарного и продовольственного надзора Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь [4]. В Беларуси частота заболевания людей ежегодно составляет от единичных до десятков случаев и характеризуется неравномерностью территориального распределения, выраженной тяжестью клинических проявлений и трудностью лечения [12]. Не смотря на то, что среди диких и синантропных животных известно более 60 видов – естественных носителей трихинелл, основными резервуарами в дикой природе являются хищные млекопитающие. Ключевую роль в циркуляции описторхид играют дикие околотовные хищные млекопитающие. В Беларуси очаги описторхоза выявлены в бассейнах Днепра (его притоков – Сожа, Восточной Березины, Припяти) и Западной Двины [7,11]. Наличие в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (ПГРЭЗ) крупных рек, речушек, каналов, озер других водотоков и водоемов является благоприятным условием для развития моллюсков – промежуточных хозяев трематод. Большое видовое разнообразие хищных млекопитающих и их высокая численность, благодаря снятию хозяйственной деятельности человека, предполагают возможность возникновения на данной территории очагов описторхоза.

Материалы и методы исследования. Исследования на трихинеллез проводились в 2005-2012 гг. на территории ПГРЭЗ. Было обследовано 310 диких млекопитающих: 209 хищных (29 волков, 159 енотовидных собак, 17 лисиц, 1 рысь, 1 лесной хорь, 2 ласки) и 101 кабан. У всех обследованных животных проводилась трихинеллоскопия диафрагм и межреберных мышц [5]. Для проверки достоверности процентов зараженности использовали G-тест. В 2008–2011 гг. проведено обследование водоемов заповедника для установления присутствия и численности брюхоногих моллюсков – промежуточных хозяев кошачьей двуустки степени их зараженности личинками трематод.

Учет плотности моллюсков проводился по стандартной методике рамкой размерами 50x50 см [8] на 9 обследованных станциях: характеризующиеся сильным заилениюм-частки р. Припять около б.н.п.(бывшие населенные пункты) Оревичи, Хвощевка, Слободка, Ломачи, р. Вить; оз. Персток, Погонянский канал, Слободской канал, Борщевское затопление. Всего собрано 807 экземпляров *B. leachii*. Для выявления зараженности трематодами использовался компрессионный метод: с помощью препаровальной иглы отделяли 2–3 первых оборота раковины, извлекали пищеварительную железу (*hepatopancreas*), которую помещали в каплю воды на предметном стекле, раздавливали другим стеклом и просматривали под световым микроскопом. Интенсивность инвазии определялась по числу сформированных партенит (спороцист, редий).

Результаты и их обсуждение. Из обследованных 209 хищных животных, зараженными трихинеллезом оказались 83 (39,7%). Наиболее высокая экстенсивность трихинеллезной инвазии (ЭИ) в ПГРЭЗ выявлена у енотовидных собак (42,8%) с интенсивностью инвазии (ИИ) 4–19 личинки на компрессорий. Высока она у лисиц (ЭИ – 35,3%, ИИ 2–10) и волков (ЭИ-31,0%, ИИ 3–13 л/к). Инвазированность данных видов достоверно не отличается ($G \leq 1,89$; $P \geq 0,2$). У всех остальных обследованных хищников личинки трихинелл не обнаружены. Распределены инвазированные животные на территории заповедника неодинаково. Больше всего зараженных хищников выявлено: в Бабчинском (17 ос.), Крюковском (10 ос.) и Радинском (8 ос.) лесничествах. По литературным данным в начале девяностых годов прошлого столетия в природном очаге данного заповедника ядро в структуре паразито-хозяйинной системы *T. spiralis* формировала лисица [2]. Волк, в тот период, как и другие хищники (енотовидная собака, хорек, куница и ласка) являлись дополнительными элементами этого ядра. Через десять лет, когда численность волка на территории Полесского заповедника резко возросла (1998-2002), основным носителем инвазии являлся волк [1]. На современном этапе природный очаг трихинеллезной инвазии в равной степени формируют енотовидная собака, лисица и волк.

Динамика встречаемости трихинеллеза у разных видов диких хищников в ПГРЭЗ в период 2005-2012 гг. варьировала. Если инвазированность волка имела цикличность и увеличивалась через год, то у лисицы она держалась на высоком уровне и наибольших значений достигала в 2007 г. У енотовидной собаки три года инвазированность возрастала (2005-2007), три года имела постоянно высокий уровень (2008-2010) и затем ее значения несколько снизились (2011-2012). На столь высокие показатели инвазированности хищных млекопитающих в ПГРЭЗ оказывает влияние, в том числе, их высокая численность и плотность популяции.

В ПГРЭЗ кабан был заражен в 4,0% случаев с ИИ 7–14 л/к. Все зараженные особи были взрослые животные (3–4 года). Заметных различий инвазированности личинками трихинелл по полу у кабанов не наблюдалось. Кабаны заражаются через остатки падали и мышевидных грызунов, инвазированность которых всегда низкая[9].

В водоемах Полесского заповедника из 807 исследованных экземпляров моллюсков 506 (62,7%) оказались зараженными партенитами *O. felineus*. Экстенсивность инвазии моллюсков *B. leachii* личинками *O. felineus* составляла от 35,6 до 83,3%, интенсивность инвазии – от 14 до 524 экз. партенит на особь хозяина. Личинки трематод обнаружены у всех моллюсков, собранных из тех водоемов и водотоков, которые находятся среди глухих и тенистых лесов, обширных заливных лугов и имеют неукрепленные, заросшие камышом и мхами берега. Отмечена разница между уровнями экстенсивности и интенсивности инвазий моллюсков, обитающих в проточных (ЭИ 62,6–83,3%; ИИ 33–524 экз.) и непроточных (озера, каналы) водоемах (ЭИ 35,6–76,1%; ИИ 14–112 экз. На реке Сож в Гомельском районе личинками описторхид были заражены карась, плотва, красноперка и лещ. Экстенсивность инвазии варьировала от 27%

до 50%. На одну зараженную особь приходилось от 1 до 27 личинок *O. felineus*, в среднем от 1,5 до 5,6 [7].

Исследования, проведенные на территории Полесского заповедника, где более двух десятков лет активно не осуществляется деятельность человека, выявили заражение описторхозом хозяев всех типов (первые и вторые промежуточные, а также дефинитивные хозяева).

На территории Полесского заповедника описторхоз выявлен у 4,8–7,1% волков, 9,7% лисиц и 7,4% енотовидных собак [10]. Принимая во внимание эпизоотическую значимость заболевания и рост числа регистраций описторхоза на территории Гомельской области, исследования данной проблемы представляются весьма актуальными и будут продолжены.

Заключение. На территории Полесского радиационно-экологического заповедника находятся природные очаги трихинеллеза и описторхоза. Главным резервуаром трихинеллеза являются плотоядные (енотовидная собака, волк, лисица). В заповеднике наблюдается тенденция возрастания экстенсивности трихинеллезной инвазии среди енотовидных собак. Заражение описторхозом регистрируется у всех типов хозяев (как дефинитивных, так и (первых и вторых промежуточных), – тем самым обеспечивается возможность замыкания цикла развития кошачьей двуустки в отсутствие человека, а значит и поддержания существующего здесь очага описторхоза. Водоемы заповедника неблагоприятны в отношении описторхоза. Для выяснения полной картины эпизоотического состояния по описторхозу необходимо продолжить паразитологические исследования в заповеднике.

Все это может оказать воздействие на паразитологическую ситуацию в популяциях диких животных прилегающих к заповеднику районов. Высокая численность диких хищников и кабанов создает возможность для распространения заболевания за пределы заповедника, что предполагает определенные меры по оптимизации численности животных (волка, енотовидной собаки, кабана и т. д.). Необходим постоянный мониторинг по данным зооантропонозным гельминтам.

Литература

1. Анисимова Е.И. Формированиегельминтоценозовволка (*Canislupus*) илисицы (*Vulpesvulpes*) вландшафтных подзонах Беларуси. – Весці НАН Беларусі, сер.біял навук. – 2003, № 4. – С. 100–107.
2. Бекиш О.-Я.Л., Одинцова Т.М. // Материалы 8 объед. Съезда гигиенистов, микробиол. и паразитол., Пинск. – Мн., –1991. – Т.2. – С.13.
3. Бессонов А.С. // Ветеринария. М. 1997. № 3. – С. 3 – 7.
4. Департамент ветеринарного и продовольственного надзора Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь: <http://www.dvprn.gov.by/news/vnimaniyu-ohotpolzovatelei-i-grazhdan/>
5. Ивашкин В.М., Контримавичус В.Л., Назарова Н.С. Методы сбора и изучения гельминтов мелких наземных млекопитающих. – М.: Наука, 1971. – 123с.
6. Криволицкий, Д.А. Биоиндикация радиочувствительных загрязнений. М. 1999. – С. 5-15.
7. Кураченко И.В., Савицкая А.В., Юрченко И.С. // Материалы Международ.научно-практич.конф. Современные экологические проблемы Украинского Полесья и сопредельных территорий (к 25-летию аварии на ЧАЭС). Нежин, 2011. – С.205-209.
8. Новиков Г.А. \\ Полевые исследования по экологии наземных позвоночных . 1953.М.

9. Пенькевич В.А., Анисимова Е.И. Трихинеллез диких млекопитающих в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике // Весці НАН Беларусі, серія біялагічных навук – 2013, № 3. – С. 101-104.

10. Пенькевич В.А., Субботин А.М. Паразитоценоз млекопитающих Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / Ученые записки УО «ВГАВМ». – Витебск, 2009. – Т. 45, В. 1, Ч. 1. – С. 199–202.

11. Скурат Э.К., Дектярик С.М., Бенецкая Н.А., Гребнева Е.И. // Материалы Респ. научн.-практич. конф, посвященной 10-летию ГПОУ “Национальный парк «Нарочанский»”. 2009.- Курортный поселок Нарочь. – С. 84–87.

12. Чистенко Г.Н., Веденьков А.Л. Паразитарные болезни в Республике Беларусь // Труды VIII Республик. Научно-практич. конф. – Витебск, 2012. – С. 197–200.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ *Chironomus curabilis* Belyanina, Sigareva, Logina, 1990 (*Chironomidae*, *Diptera*) ИЗ ВОДОЕМОВ НОВОЗЫБКОВСКОГО И КЛИНЦОВСКОГО РАЙОНОВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

С.И. Белянина

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И.Разумовского» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Саратов, microtus43@mail.ru

Введение. Радиационный чернобыльский след даже спустя много лет после аварии оказывает потенцирующее влияние на реализацию генетических повреждений у разных видов, обитающих на загрязненных территориях [1]. Необходим мониторинг состояния популяций разных видов на всех уровнях их организации. Особенно актуальна оценка цитогенетических эффектов последствий этой аварии.

Нами [2] уже был проведен цитогенетический анализ личинок широко распространенного вида комаров-звонцов – *Chironomus plumosus* – из реки Ипуть близ города Новозыбкова Брянской области, где этот вид является многочисленным представителем бентоса. В этой популяции *Chironomus plumosus* отмечено большое число полиплоидных особей и другие нарушения. Другие виды *Chironomus* в реке Ипуть и ряде водоемов Новозыбковского и Клинцовского районов – среди них *Chironomus curabilis* – немногочисленны и не исследованы. Представляется важным выяснение состояния гигантских хромосом и состава карионидов *Chironomus curabilis* с данных территорий и сравнение с данными по этому виду из водоемов других частей его ареала.

Материалы и методы. Исследованы гигантские хромосомы клеток слюнных желез личинок *Chironomus curabilis* ($2n=8, I=II>III>IV$) из двух водоемов Брянской области, затронутых чернобыльским выбросом – в реке Ипуть у г. Новозыбкова (15 августа 2009г., число изученных особей – 21) и в мелководном канале оросительной системы у села Ущерпье Клинцовского района (13 января 2015г., число проанализированных личинок – 40). Личинок фиксировали на месте сбора в спирт-уксусной смеси (3:1). В лаборатории готовили окрашенные ацетоорсеином давленные препараты клеток слюнных желез личинок. Применяли цитологические карты хромосом этого вида из нашей работы [3]. При характеристике кариотипа учитывали картину архитектоники хромосомного набора в клетках, появление структурно малых изменений в хромосомах, состояние предтеломерных участков хромосом, степень активности тканеспецифических генов – ядрышкового организатора и колец Бальбиани, появление пуфов, не характер-

ных для хромосом этого вида (пуфы *de novo*) Уровень гетерозиготности популяций оценивали по частоте встречаемости личинок с гетерозиготными инверсиями и среднему числу гетерозиготных инверсий на особь.

Результаты исследования. Картина дисковой структуры хромосом у личинок *Ch.surabilis* из реки Ипуть относительно четкая, хотя уровень компактизации дисков в хромосомах варьирует как от особи к особи, так и в клетках одной и той же слюнной железы. Встречены даже кариотипы, хромосомы которых имеют «пунктирную» структуру дисков. Все проанализированные личинки из реки Ипуть с гетерозиготными парацентрическими инверсиями. Гомозиготные инверсии не найдены. Число гетерозиготных инверсий на особь – 1,57. Инверсии встречены в хромосомных плечах А (три типа), В, С, D, F, в плече Е они не зарегистрированы. Хромосома IV (плечо G) в большинстве клеток деформирована (она или разрыхлена, или «размазана», или же съжжена в мелкую гетерохроматиновую структуру), является ли это следствием какой-то перестройки в этой короткой хромосоме – пока неясно.

Ядрышко и кольца Бальбиани почти у всех личинок неактивны и только у одной особи они проявляли высокую активность (как кольцо Бальбиани в плече В хромосомы I, так и ядрышко и кольцо Бальбиани в хромосоме IV), при этом у данной личинки к тому же наблюдался соматический мозаицизм по структурно малому изменению в плече Е хромосомы III. У двух личинок отмечен соматический мозаицизм по гетерозиготной инверсии в середине плеча А. Разрыхления теломерных участков в хромосомах относительно редки (зарегистрированы только у двух особей), но у ряда личинок отмечена соматическая конъюгация теломерных районов плеч длинных хромосом (чаще всего – А и С).

В целом для хромосом этого вида из реки Ипуть характерны структурно малые изменения в виде нехваток в одном из гомологов политенных хромосом, при этом часто наблюдается соматический мозаицизм по этим делециям. Обнаружена триплоидная ($3n$) личинка с делецией терминального района одного из гомологов в хромосоме III. У этой особи к тому же наблюдалось нарушение цикла политенизации в эндомиотозе, приведшее к мозаицизму по уровню политении хромосом в клетках одной и той же слюнной железы. Такое же явление мозаицизма по уровню политении хромосом найдено и у одной диплоидной личинки.

У личинок из мелководного канала оросительной системы у села Ущерпье структура дисков сильно варьирует от особи к особи и от клетки к клетке в пределах даже одной слюнной железы. Гетерозиготные инверсии отмечены в хромосомах I и II. Хромосома IV часто с деформирующей ее перестройкой, тип которой пока не установлен. Среднее число гетерозиготных инверсий на особь – 1,47. Обнаружены структурно малые изменения в длинных хромосомах, связанные с нехватками на коротких участках, отмечено несколько триплоидных ($3n$) личинок, ряд особей содержали в длинных хромосомах в гетерозиготном состоянии (только в одном из гомологов) спонтанные пуфы (рис.)

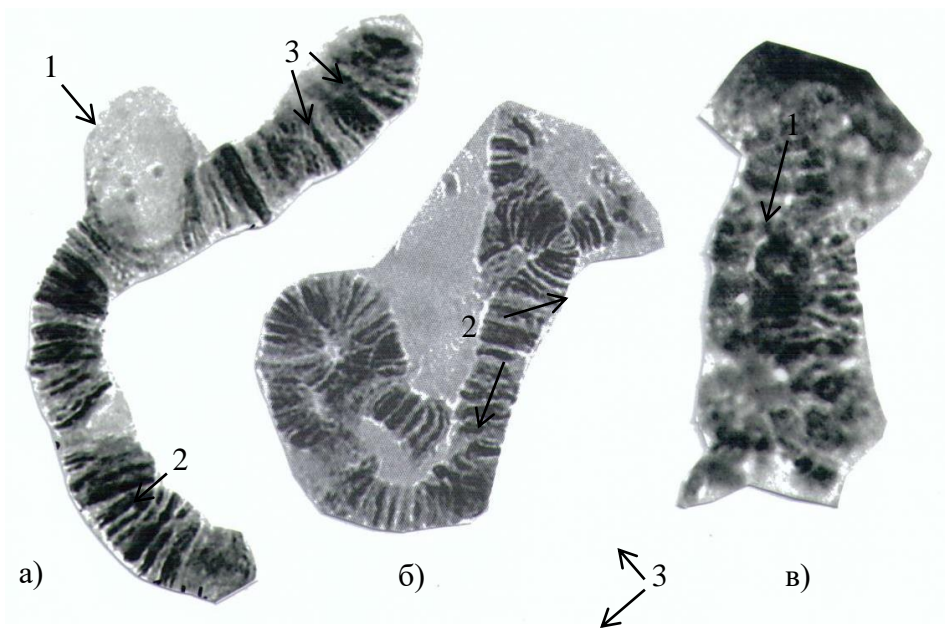


Рис. Изменения гигантских хромосом личинок из водоема у села Ущерпье Клиновского района Брянской области

а) спонтанный пух (1), делеция участка (2), структурно малые изменения (3); б) разрыхленный теломерный район (1), гетерозиготные инверсии (2), структурно малые изменения (3); в) хромосома IV полиплоидной особи.

Заключение. В исследованных популяциях *Chironomus curabilis* на территории Брянской области в водоемах, загрязненных радионуклидами, отмечается явление структурно малых изменений хромосом (в основном – делеции), затрагивающих, как правило, небольшое число дисков и отмеченных в хромосомах не во всех клетках одной и той же слюнной железы. Встречены полиплоидные личинки. Вероятно, что подобные изменения являются радиационно индуцированными. Появление пухов *de novo* в хромосомах ряда изученных личинок также может рассматриваться как реакция генома [4] на действие провоцирующих факторов среды. Обращает на себя внимание высокий инверсионный полиморфизм исследованных популяций – среднее число инверсий на особь – 1,57 в реке Ипуть и 1,47 из водоема у села Ущерпье (в Волге же и прудах у Саратова [3] это число 0,40) – что является, как известно, механизмом приспособления популяций в изменившихся экологических условиях.

Литература

1. Наумов А.Д., Тимохина Н.И., Никитин А.Н. Современные радиоэкологические проблемы регионов, пострадавших в результате катастрофы на ЧАЭС// Радиация, экология и техносфера: материалы междунар.науч.конф. (Гомель, 26-27 сент. 2013г.). Минск: Ин-т радиологии. – 2013. – С. 3-4.
2. Белянина С.И. Хромосомные и геномные мутации у *Chironomus plumosus* (L.) (Diptera, Chironomidae) из Новозыбковского района Брянской области// Генетика.- 2012. – Т.48, №4.- С. 495-502.
3. Белянина С.И., Сигарева Л.Е., Логинова Н.В. Новый вид *Chironomus curabilis* sp.n. (Diptera, Chironomidae)// Зоол.журн. – 1990. Том 69, Вып.5. – С. 60-70.
4. Петрова Н.А. Реорганизация политенных хромосом личинок хирономид (Diptera, Chironomidae) и их реакция на мутагенное загрязнение окружающей среды (Чернобыльская катастрофа)// СПб: ЗИН РАН. – 2013. – 98с.

ГЕМОПОЭТИЧЕСКИЕ КЛЕТКИ-ПРЕДШЕСТВЕННИКИ В ОСТРОМ И ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Н.М. Билько, И.З. Руссу, Д.И. Билько, Г.В. Будаш

*Национальный университет «Киево-Могилянская академия», Киев, Украина,
nbilko@ukma.kiev.ua*

Введение. Стволовой пул кроветворной системы чрезвычайно чувствительный к действию ионизирующей радиации [1, 2, 4]. В настоящее время еще не сложилась полная картина послерадиационной репарации системы гемопоэза. Однако доказано, что регенерация пула кроветворных клеток и восстановление их числа в периферической крови определяется в первую очередь полнотой восстановления клона кроветворных клеток-предшественников [3, 5, 6]. Поэтому крайне важным является выяснение роли стволовых клеток и их ближайших потомков в процессе восстановления после радиационного воздействия [7]. Целью многолетней работы стал анализ морфофункциональных характеристик гемопоэтических клеток-предшественников из костного мозга лиц, подвергшихся облучению в острый и отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС.

Материалы и методы. Материалом для исследования служил костный мозг 36 лиц, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС; доза внешнего облучения находилась в диапазоне от 0,25 до 1 Гр, и 24 – с дозой облучения от 1 до 3 Гр (17 – ОЛБ 1-й степени и 7 – ОЛБ 2-й степени) [8, 9]. В качестве контроля использовали донорский костный мозг. За эффективность колониеобразования (ЭКО) принимали количество колоний, сформированных к 14-му дню культивирования. Клетки для культуральных исследований получали в градиенте плотности фико-верографина. Обогащение гемопоэтических клеток CD34+ клетками осуществляли с помощью микроселективных планшет фирмы «Applied Immune Sciences Inc.» [10].

Культивирование проводили в гелевых диффузионных камерах, имплантированных а перитонеальную полость мышей линии СВА, за сутки обработанных циклофосфамидом (250 мг/кг массы животного). За колонию принимали клеточные агрегаты из 40 и более клеток [10, 11].

Результаты исследования и их обсуждение. Эффективность клонирования в культуре в контроле составляла $38,7 \pm 2,3$ на 1×10^5 клеток. У лиц, перенесших ОЛБ 1-й степени в острый период после аварии, колониеобразующая способность костного мозга находилась на нижней границе нормы – $38,5 \pm 3,6$, для ОЛБ 2-й степени она составляла $21,3 \pm 3,2$. Разница статистически достоверна ($p < 0,05$). Угнетение колониеобразования в культуре у лиц с ОЛБ 2-й степени связано с поражением отдела стволовой клетки на момент обследования. В отдаленные сроки различий с показателями контроля не обнаружено, что может указывать на репарацию поврежденных клеток.

Анализ результатов исследования костного мозга в культуре лиц, облученных в дозе ниже 1 Гр, показал, что в первой группе обследованных (17 обследованных – доза облучения менее 0,5 Гр), во второй (10 лиц – доза облучения от 0,5 до 0,74 Гр) и в третьей (9 человек – доза облучения от 0,75 до показателя ниже 1 Гр) данные ЭКО статистически достоверно не отличались. Результаты культивирования соответственно были равны $45,6 \pm 2,2$; $46,3 \pm 2,6$ и $48,0 \pm 3,5$. В то же время оказалось, что различия между показателями и контролем статистически достоверны ($p < 0,05$). Превышение ЭКО костного мозга облученных лиц по сравнению с контролем может свидетельствовать о стимуляции гранулоцитарно-моноцитарного ростка кроветворения. В отдаленном периоде различий с контролем обнаружено не было.

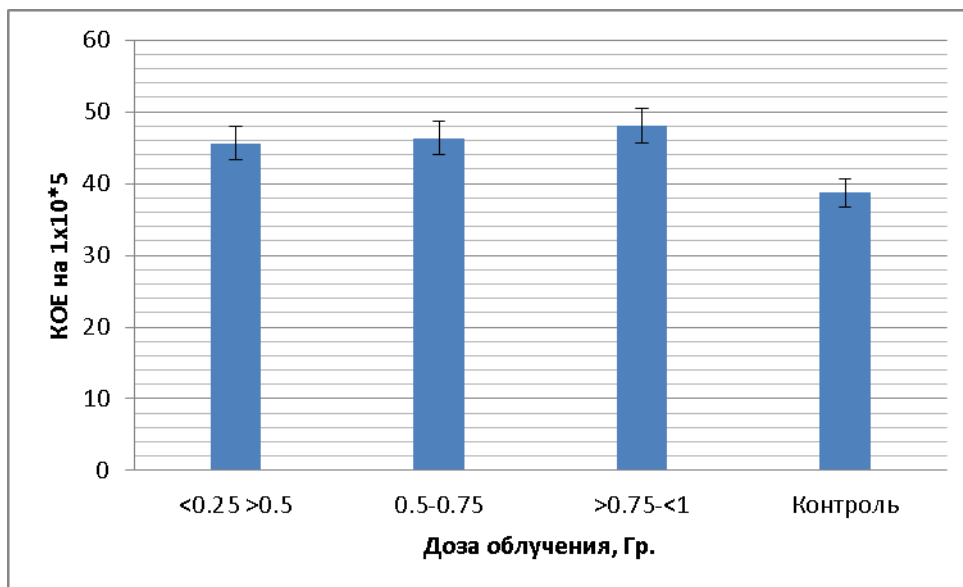


Рисунок 1- Эффективность колониеобразования кроветворных клеток-предшественников у лиц, подвергшихся воздействию ионизирующей радиации в результате аварии на Чернобыльской АЭС

Анализ результатов культивирования мононуклеаров периферической крови обследованных лиц показал, что при облучении коммитированные клетки-предшественники мигрируют из костного мозга на периферию, и этот процесс может наблюдаться длительное время после острого радиационного воздействия. При этом дифференцировка указанных выше клеток в культуре не претерпевает особых изменений. Появление циркулирующих клеток-предшественников в периферической крови после воздействия ионизирующей радиации, а значит мобилизация ближайших потомков стволовой гемопоэтической клетки на периферию, может быть объяснима выбросом регуляторных молекул клетками микроокружения, среди которых оказались факторы, ответственные за мобилизацию клеток-предшественников из костного мозга [7, 12].

Анализ содержимого колоний в культуре костного мозга обследованных лиц показал, что в раннем пострадиационном периоде обнаруживается усиленная стимуляция эозинофильного ростка кроветворения, сохраняющаяся в течение многих лет после воздействия ионизирующего излучения.

В результате проведенных исследований получены информативные показатели для анализа изменений колониеобразующей способности костного мозга, пролиферативной активности и дифференцировки клеток в клонах, а также уровня циркулирующих клеток-предшественников в периферической крови.

Поскольку после Чернобыльской катастрофы ученые столкнулись с трудностями интерпретации результатов анализов и выделения радиационной компоненты из комплекса факторов, которые влияли на организм облученных лиц [11, 12], возникла идея в эксперименте изучить влияние ионизирующей радиации на функциональную активность кроветворных стволовых клеток и клеток-предшественников в культуре. Для этого в качестве модели использовали диффузионные камеры для культивирования костного мозга крыс Wistar после однократного и длительного введения им радионуклида ^{90}Sr . В результате внутреннего облучения ^{90}Sr выявлены такие особенности морфофункциональных характеристик как угнетение колониеобразующей

способности кроветворных клеток-предшественников костного мозга в культуре, преобладание клеток-предшественников эозинофильной направленности дифференцировки. Так, эффективность колониеобразования клеток костного мозга необлученных крыс составляла $13,4 \pm 2,6$ на 1×10^5 эксплантированных клеток, в группе хронически облучаемых ^{90}Sr животных – $6,5 \pm 1,2$, а в группе с одноразовым введением радионуклида ^{90}Sr – $10,8 \pm 0,5$ на 1×10^5 эксплантированных клеток. Также были обнаружены циркулирующие клетки-предшественники в периферической крови лабораторных животных. Так, в группе контроля при культивировании мононуклеаров периферической крови ЭКО составляло $0,62 \pm 0,49$ на 1×10^5 эксплантированных клеток, в группе хронического облучения ^{90}Sr этот показатель был в 7 раз выше – $4,22 \pm 0,84$, а при одноразовом введении – $2,26 \pm 0,50$. Анализ полученных в эксперименте результатов не дает права экстраполировать их непосредственно на показатели колониеобразования костного мозга обследованных лиц в культуре, но с большой долей вероятности связывает появление циркулирующих клеток предшественников в периферической крови и эозинофильной направленности дифференцировки клеток в культуре костного мозга с воздействием ионизирующей радиации.

Заключение. Таким образом, на основании комплексной оценки функционального состояния гемопоэтического потенциала коммитированных клеток-предшественников у взрослых лиц, подвергшихся облучению в диапазоне доз от 0,25 до 3,0 Гр в острый и отдаленный периоды после аварии на ЧАЭС, выявлены количественные и качественные нарушения гранулоцитарно-моноцитарных клеток-предшественников. Показано, что нарушение гемопоэза на ранних этапах пострадиационного периода связано с преимущественным поражением клеток-предшественников (КОЕдк). Они являются ближайшими потомками стволовой клетки, поскольку при культивировании дают рост дочерним колониям унипотентных клеток-предшественников, в то время как предшественники, которые вырастают в культурах *in vitro*, дочерних колоний при повторном культивировании не дают, т.к. являются унипотентными.

Использование названных показателей в комплексе с клиническими и лабораторными параметрами позволяет выявлять глубинные изменения гемопоэза, не фиксируемые стандартными методами, и формировать группы риска по онкогематологической патологии.

Литература

1. Sokolov M. Lessons learned about human stem cell responses to ionizing radiation exposures: a long road still ahead of us. / M. Sokolov, R. Neumann. // *Int J Mol Sci.* – 2013. – Vol. 14(8). – P. 15695-15723.
2. Shao L. Hematopoietic stem cell injury induced by ionizing radiation. / L. Shao, Y. Luo, D. Zhou // *Antioxid Redox Signal.* – 2014. – Vol. 20(9). – P. 1447-1462.
3. Prise K. M. Stem cell effects in radiation risk / K. M. Prise, A. Saran // *Stem Cells.* – 2011. – Vol. 29 (9). – P. 1315-1321.
4. Fliedner T. M. Hematopoietic cell renewal systems: mechanisms of coping and failing after chronic exposure to ionizing radiation / T. M. Fliedner, D. H. Graessle // *Radiat Environ Biophys.* – 2008. – Vol. 47. – P. 63–69.
5. Harfouche G. Response of normal stem cells to ionizing radiation: a balance between homeostasis and genomic stability / G. Harfouche, M. T. Martin // *Mutat Res.* – 2010. – Vol. 704 (1–3). – P. 167–174.
6. Greenberger J.S. Bone marrow-derived stem cells and radiation response / J. S. Greenberger, M. Epperly // *Semin Radiat Oncol.* – 2009. – Vol. 19(2). – P. 133–139.
7. Чертков И.Л. Примитивная стволовая кроветворная клетка / И. Л. Чертков, Е. И. Дерюгина, Н.И. Дризе // *Вестник академии медицинских наук.* – 1990. – № 9. – С. 35-37.

8. Зверкова А.С. Критерии формирования групп риска среди населения, подвергнутого воздействию ионизирующего излучения после аварии на Чернобыльской АЭС / Зверкова А.С., Федоровская Е.А., Назарчук Л.В. и др. // Врачебное дело. – 1994. – № 5-6. – С. 87-93.

9. Бебешко В.Г Система гемопоза у лиц, подвергшихся облучению в результате аварии на ЧАЭС / Бебешко В.Г., Клименко В.И., Юхимук Л.Н., Дягиль И.С., Билько Н.М. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 1996. – № 4. – С. 8-13.

10. Билько Н. М. Пластагаровая культуральная система как модель для изучения влияния радиационного фактора на гемопоз // Проблемы радиационной медицины: Респ. межвед. сб. Вып. 5. – К., 1993. – С. 98 – 102.

11. Пинчук Л.Б. Изменения гематологических показателей, частоты выявления новообразований и продолжительности жизни у экспериментальных животных на протяжении 6 лет после аварии на ЧАЭС // Пинчук Л.Б., Родионова Н.К., Серкис Я.М. // Докл. АН Украины. – 1993. – № 1. – С.148-153.

12. Муксинова К.Н., Мушкачева Г.С. Клеточные и молекулярные основы перестройки кроветворения при длительном радиационном воздействии. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 187 с.

ПРОВЕДЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ И *IN SITU* ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Ю.И. Бондарь, В.Н. Забродский, В.И. Садчиков, В.Н. Калинин

*Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», Хойники, Беларусь,
bondar48@mail.ru*

Введение. Мобильные измерения были проведены на территории ПГРЭЗ в сентябре 2014 года в рамках договора, заключенного Полесским государственным радиационно-экологическим заповедником (ПГРЭЗ) с Норвежским агентством по радиационной защите на выполнение НИР по теме «Мобильные измерения: полевые упражнения по картам выпадений в белорусской зоне отчуждения» – проект «MOBELRAD».

In situ измерения (измерения на местности) были проведены на территории зоны отчуждения через год по договору, заключенному с этим же агентством на выполнение НИР «Применение современной полевой гамма-спектрометрии для изучения территорий, загрязненных чернобыльскими выбросами» – проект «GAMFAC».

В проектах принимали участие сотрудники организаций радиационно-экологического профиля из Норвегии, Дании, Швеции, Исландии и Великобритании.

Основным методом определения плотности загрязнения территории радионуклидами является метод отбора проб с последующим измерением их в лабораторных условиях. Это связано со значительными затратами времени и перемещением больших масс загрязненных радионуклидами образцов почвы. Альтернативными методами в настоящее время являются метод определения уровней радиоактивного загрязнения окружающей среды ¹³⁷Cs с применением мобильного дозиметрического и спектрометрического оборудования, устанавливаемого на автотранспортном средстве, и метод гамма – спектрометрических измерений на местности. Эти методы являются

реальными средствами оценки радиоактивного загрязнения, экономичными по затратам и времени [1-3].

Целью проекта MOBELRAD являлась оценка радиационной обстановки, определение уровней радиоактивного загрязнения и мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МД) на территории белорусского сектора зоны отчуждения ЧАЭС ^{137}Cs с применением мобильного дозиметрического и спектрометрического оборудования, анализ полученных результатов с помощью карт и банка данных по радиоактивному загрязнению зоны отчуждения и выявление причин расхождения данных [4].

Цель исследований по проекту GAMFAC – определение плотности радиоактивного загрязнения почвы на местности с помощью портативных гамма-спектрометров и построение вертикальных распределений ^{137}Cs по профилю различных почв с использованием полученных спектрометрических данных и программных средств. В работе изучались радиационная обстановка в зоне отчуждения ЧАЭС, уровни загрязнения отдельных участков зоны ^{137}Cs и распределение радионуклида по профилю почв.

Материалы и методы. Одной из ключевых задач для сотрудников ПГРЭЗ являлась разработка маршрута передвижения транспортного средства по проекту MOBELRAD. Для получения и сопоставления результатов измерений зарубежных участников был разработан маршрут в зоне отчуждения протяженностью более 80 км со сложной и изменяющейся радиационной обстановкой. На протяжении всего маршрута предварительно были проведены измерения МД с шагом 500 м с помощью ручных дозиметров в стационарном состоянии. Величина МД на протяжении маршрута на высоте 1 м изменялась в 35 раз с 0,16 до 5,5 мкЗв/ч, плотность загрязнения почвы изменялась от 74 до 4000 кБк/м² и отражала реальные радиационные поля, которые сформировались в зоне отчуждения через 28 лет после катастрофы на ЧАЭС с учетом перераспределения ^{137}Cs в биогеоценозах.

В проекте MOBELRAD участвовали 5 групп из четырех стран. Каждая команда, используя привезенное с собой спектрометрическое и дозиметрическое оборудование, проезжала по одному и тому же маршруту в зоне отчуждения и в течение 3 часов регистрировала радиационную обстановку по ходу движения.

Группа *Исландского агентства по радиационной защите* работала с современной спектрометрической системой SPARCS (D.O.E. Remote Sensing Lab), оснащенной сцинтилляционным детектором NaI 10 x 10 x 40 см (объемом 4 л). Это – чувствительная система портативна и может быть установлена в транспортных средствах, лодках, самолетах и имеет многоцелевое назначение. Обе шведские группы (*Шведское агентство по радиационной защите* и *Университет LUND*) использовали один и тот же тип оборудования, которое включало LaBr-детектор размером 1,5 x 1,5 дюйма с информационным блоком Ortec Digibase. Приборное оснащение *Норвежского агентства по радиационной защите* состояло из датчика RS700 с большим детектором NaI объемом 4 л, пульта RS701 и ноутбука в приборном комплексе производства фирмы Radiation Solutions Inc. Представители *Датского агентства по управлению чрезвычайными ситуациями* производили измерения с помощью системы RS-725/21 с детектором NaI объемом 0,39 л 3"x3" (производитель "Radiation solutions").

Основной задачей проекта GAMFAC являлось проведение измерений *in situ* для оценки плотности радиоактивного загрязнения почвы с применением современной полевой гамма-спектрометрии. В проекте участвовали 5 групп из Исландии, Швеции, Норвегии, Дании и в качестве эксперта по полевой гамма-спектрометрии были представители Шотландии. На подготовительном этапе сотрудниками лаборатории спектрометрии и радиохимии (ЛСР) ПГРЭЗ были подобраны 5 площадок с различными уровнями содержания ^{137}Cs и ^{241}Am в почве, отобраны образцы почвы и проведены гамма-спектрометрические измерения образцов по определению содержания радио-

нуклидов. С использованием полученных результатов построены вертикальные распределения радионуклидов по профилю дерново-подзолистой, торфяной, песчаной почв, периодически подтапливаемой и пашни. Каждая участвующая в проекте команда, провела ряд измерений на заранее выбранных площадках. Набор оборудования, развернутого участвующими командами для выполнения *in situ* измерений, включал сцинтилляционные детекторы на основе NaI:Tl, LaBr:Ge; CZT (цинк, теллур, кадмий), имеющего свойства полупроводникового детектора, и полупроводниковые из высокочистого германия (HPGe). Также были использованы вспомогательные инструменты и оборудование для обработки данных. В прямых измерениях на местности детектор располагался на высоте 1 м над поверхностью почвы.

Результаты исследования и их обсуждение. Все участвующие группы по проекту MOBELRAD выполнили поставленные перед ними задания. Были однозначно зарегистрированы высокие плотности загрязнения и величины МД на участке б.н.п. Молочки – поворот на б.н.п. Радин. Также отмечены более высокие значения МД при прохождении лесных массивов и в определенной степени нарастание мощности дозы при движении в сторону аварийного блока ЧАЭС. Наибольшая сходимости результатов с результатами, имеющимися в распоряжении ПГРЭС, получена группами из Норвегии и Дании. Шведские две группы получили завышенные результаты, которые отличались при сопоставлении даже в рамках этих двух групп.

Важная роль при оценке радиоактивного загрязнения местности методом *in situ* отводится моделям, которые ложатся в основу перехода от набранного спектра непосредственно к плотности загрязнения или вертикальному распределению радионуклидов в почве. Всеми группами были использованы модель плоского слоя, которая предполагает равномерное распределение активности по глубине и экспоненциальная модель для обычных типов почв и старых выпадений. Шведская группа не использовала данные лаборатории спектрометрии и радиохимии ПГРЭС о распределении ^{137}Cs по глубине и при выполнении расчетов подключала соответствующую модель. Вертикальное распределение ^{137}Cs в почве было представлено только двумя группами. Распределение ^{137}Cs по глубине сотрудники *Экологической лаборатории радиоактивности* (Шотландия) рассчитывали по соотношению между пиком полного поглощения ^{137}Cs и количеством зарегистрированных рассеянных фотонов с использованием регрессивной модели с обработкой расширенным методом Monte Carlo. Сотрудники из Норвегии, используя экспоненциальную модель для дерново-подзолистой, торфяной и периодически затапливаемой площадок, варьируя толщиной слоя и плотностью почвы, получили хорошее соответствие с данными ЛСР.

Результаты определения мощности дозы на всех участках показали очень близкие значения, как между участвующими группами, так и в сопоставлении с усредненными данными, которые были получены сотрудниками ЛСР. Плотность загрязнения почвы была точно определена норвежскими специалистами. Наблюдалось практически полное совпадение с результатами ЛСР, причем данные от двух устройств с разными датчиками NaI и CZT также совпадали.

Ни одна из участвующих команд ни на одном участке не зарегистрировала ^{241}Am . Это можно объяснить тем, что использование сцинтилляционных детекторов в принципе не позволяет выделить энергетический пик ^{241}Am 59 кэВ, а для полупроводниковых детекторов требуется значительно большее время, чтобы выделить этот пик в области низких энергий, имеющих повышенные шумы.

Заключение. Анализ мобильных и *in-situ* измерений показал хорошую сопоставимость между результатами измерений МД и плотности загрязнения, полученными на оборудовании разных групп и данными, представленными ПГРЭС. При их выполнении отчетливо проявилась существенная роль процессов вторичного пере-

распределения радионуклидов на загрязненных территориях в отдаленный период. Наличие значительной доли радионуклидов в древесной растительности вносит существенный вклад в результаты измерений по сравнению с данными, полученными на открытых участках. За время, прошедшее с момента аварии на ЧАЭС, древесным ярусом накоплено существенное количество ^{137}Cs (5-15 % от содержания в почве [4]), что приводит к завышению результатов измерений мобильными системами. Миграция радионуклидов вглубь почвенного профиля также вносит определенные различия в данные, полученные при калибровке оборудования, в мобильные и *in-situ* измерения.

Результаты работ по проекту MOBELRAD могут быть полезными при демонстрации преимуществ использования мобильных комплексов, предназначенных для непрерывного радиационного контроля местности. При проведении такого мониторинга ежегодно по одному и тому же маршруту можно проследить экологический период полувыведения ^{137}Cs в биогеоценозе местности, по которой проложен маршрут.

Работа по проекту GAMFAC позволила определить возможности команд, использованного оборудования и моделей расчета плотности загрязнения или вертикального распределения радионуклидов в почве при проведении *in-situ* измерений. Методы измерения на местности и соответствующее им оборудование могут также оказаться полезными в лесохозяйственной деятельности ППРЭЗ. Многочисленные рутинные спектрометрические лабораторные измерения отобранных образцов почвы с выделов и кварталов 16 лесничеств могли бы быть заменены *in-situ* измерениями.

Литература

1. Carbone gamma-ray spectrometry. Calibration and applications. / H.K. Aage, U. Korsbech, K. Bargholz, J. Novgaard // Applied Radiation and Isotopes – 2006. – Vol. 64. P. 948-956.
2. Validation of in-situ Gamma-ray Spectrometry and sampling on highly contaminated area / S. Taryan // IAEA Environment Laboratories. RMCC Meeting 2014. Amman.
3. *In situ* determination of low-level concentrations of ^{137}Cs in soils. / A. Baezaa, J.A. Corbacho // Applied Radiation and Isotopes – 2010. – Vol. 68, Issues 4-5, P. 812-815.
4. Radioactive contamination of the territory of Belarus in the Polessie state radiation-ecological reserve. / Y. Bondar, J. Brown // SEP.EAP.SFPP 983057 Prepared and edited by final report – 2011. 109 p.

ПУТИ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ОРГАНИЗМА УЧАСТНИКОВ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ КРУПНОМАСШТАБНЫХ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ

В.Н. Бортновский

*УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь,
kafog2@mail.ru*

Медицинское обеспечение персонала, действующего в зоне разрушений объектов ядерно-топливного цикла – новая и малоизученная проблема, актуальность которой была убедительно продемонстрирована в ходе ликвидации последствий аварий на Чернобыльской АЭС. Наиболее значимым радиационным фактором в первые часы аварии ядерной энергетической установки, а также после прекращения выбросов из реактора является общее внешнее гамма-облучение организма. Непредсказуемость времени аварии, внезапность лучевого воздействия на организм затрудняют использование физиче-

ской (экранирование, защита расстоянием) и в особенности химической (радиопротекторы) профилактики радиационных поражений.

За истекшие полвека развития радиационной медицины созданы многочисленные физические, биологические и фармакологические средства защиты, способные существенно ослабить поражающий эффект ионизирующих излучений.

Анализ опыта медицинского обеспечения персонала, принимавшего участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС (в известной степени, моделирующей ситуацию, которая может наблюдаться при разрушении промышленных объектов с ядерными компонентами), показывает, что необходимость приема радиопротекторов возникает, главным образом, в начальном, относительно кратковременном периоде «неконтролируемого облучения» [1]. Так, при обеспечении радиационной безопасности в «особой зоне» ЧАЭС табельные радиопротекторы использовались, главным образом в период кратковременной стабилизации обстановки, когда отсутствовали карты радиационной обстановки и прогнозирование доз облучения было практически невозможно (летным составом – при установлении датчиков системы физического радиационного контроля на четвертом блоке реактора; личным составом химических войск – при проведении работ по дезактивации крыши третьего энергоблока, на которой уровни радиации местами превышали (15 Зв/с) [2].

Средства профилактики и купирования первичной реакции на облучение в период аварии на ЧАЭС не применялись, хотя необходимость в их использовании реально могла возникнуть при ликвидации последствий пожара на крыше четвертого энергоблока: известно, что тошнота, рвота и слабость явились основной причиной, вынуждавших пожарных прекращать работу.

Кроме того, опыт медицинского обеспечения персонала, участвующего в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, показал необходимость включения в схему противорадиационной защиты в этих условиях средств профилактики накопления изотопов йода в щитовидной железе и препаратов, ослабляющих или предупреждающих психоэмоциональный стресс, вызванный радиофобией, а также особыми условиями обстановки, требующей выполнения значительных объемов работ в ограниченные сроки.

Эффективность противорадиационных мероприятий может быть повышена, если их применять в комплексе, используя, в том числе метод формирования и длительного поддержания радиорезистентного статуса у лиц, подверженных риску внезапного переоблучения. В литературе имеются данные о возможности достижения определенного радиозащитного эффекта адаптацией к прерывистому режиму кормления, изменением качества и калорийности питания. Представляется, однако, что для повышения радиорезистентности организма в больших контингентах более реальный путь – включение в рацион питания компонентов, обладающих радиозащитными свойствами [3].

Радиозащитные компоненты рациона (РКР), целенаправленно используемые для биологической противорадиационной защиты, должны соответствовать рекомендации Международной комиссии по радиационной защите: обладать радиозащитной активностью при общем однократном внешнем гамма-облучении по критериям стохастических (летальность), нестохастических (выраженность гематологических расстройств) и интегральных (изменение средней продолжительности жизни) эффектов.

РКР должны быть безвредны для организма при различной длительности применения. При этом под вредным воздействием на организм понимается любое изменение его функционального состояния, отрицательно влияющее на работоспо-

способность и (или) интегральные показатели здоровья – заболеваемость и смертность в популяции.

В качестве потенциальных РКР могут рассматриваться природные радиозащитные средства и синтетические аналоги естественных нутриентов [4].

Природные радиозащитные средства, обладая низкой токсичностью и имея много общего с пищевыми продуктами (апицит, экстракты гречихи, солодки, женьшеня, эмутерококка и др.), могут применяться длительно. Развивающийся при этом радиозащитный эффект меньше, чем при введении радиопротекторов, однако он стоек и является, как правило, лишь одним из проявлений повышения неспецифической резистентности организма.

В медицинском обеспечении персонала, участвующего в ликвидации последствий крупномасштабных радиационных аварий, одним из наиболее сложных является проблема медикаментозной защиты от последствий «нормируемого» облучения (снижение эффекта от воздействия малых, порядка 0,25 Зв, доз ионизирующего излучения).

Очевидно, что использование табельных медикаментозных средств защиты в период длительного восстановления радиационной обстановки в очаге катастрофы неприемлемо из-за возможного нарастания токсических эффектов препаратов в условиях курсового применения.

По существовавшим до аварии на Чернобыльской АЭС представлениям, изменения, возникающие в организме при облучении в дозах 0,5-1,0 Гр, не требуют фармакологической коррекции. Тем не менее, при тщательном систематическом изучении цитогенетических показателей и тестов, характеризующих иммунный статус и уровень неспецифической резистентности организма у лиц, подвергшихся в период аварийных работ воздействию фракционированного облучения в дозах 0,24-0,25 Зв, было обнаружено значительное возрастание количества хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови, активация распада ДНК, дисбаланс в системе антиоксидантной защиты, снижение количества и угнетение цитотоксической функции естественных клеток – киллеров, депрессия Т – системы иммунитета, угнетение гуморального ответа на микробные антигены [5]. Установлено, что в большей степени поражаются клетки ранних генераций в системе кроветворения (количество КОЕс, содержание миелокариоцитов), а также сперматогенный эпителий. Полученные данные в определенной степени объясняют отсутствие изменений в периферической крови людей, облученных малыми дозами.

Среди перспективных средств для использования в условиях нормированного переоблучения, наиболее эффективным оказался рибоксин. Последний обладает способностью уменьшать выход хромосомных aberrаций. Эффективность рибоксина в условиях нормированного облучения изучена в исследованиях с привлечением добровольцев – участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС [6]. Доказано, что препарат при курсовом применении в условиях длительного фракционированного облучения в суммарной дозе около 0,25 Гр оказывает благоприятный эффект на состояние гемопозитической системы и уровень неспецифической резистентности организма.

Целесообразность применения рибоксина в качестве средства, повышающего радиорезистентность организма, определяется уменьшением риска отдаленных последствий за счет снижения мутагенного эффекта радиации и стимуляции системы неспецифической резистентности организма. Поскольку аналогичные свойства в той или иной степени характерны для класса адаптогенов в целом, прием в условиях низкоинтенсивных радиационных воздействий такого рода средства (экстракты элеутерококка, левзеи, поливитамины, природные пищевые добавки) можно считать оправданным.

Учитывая, что угнетение клеточного и гуморального звеньев неспецифической резистентности обнаруживается у большинства обследованных из населения, прожи-

вающего в условиях радиационно дестабилизированной среды, для коррекции иммуно-резистентности могут успешно использоваться иммуномодуляторы.

Завершая анализ представленных материалов, следует признать необходимость дальнейшего поиска способов и средств, которые могли бы позволить увеличить радиорезистентность организма человека в различные периоды ликвидации последствий крупномасштабных радиационных аварий.

Литература

1. Ильин, Л.А. Противолучевые средства в медицинском обеспечении персонала и населения при радиационных авариях и на радиационно опасных объектах / Л.А. Ильин, И.Б. Ушаков, И.В. Васик // Мат. конф. – СПб, ВМА, 2001. – С. 16-23.

2. Ильин, Л.А. Реалии и мифы Чернобыля / Л.А. Ильин. – М.: ALARA, 1996. – 416с.

3. Шандала, Н.К. Алиментарные средства уменьшения лучевых нагрузок организма радионуклидами цезия и стронция / Н.К. Шандала // Гигиена и санитария. – 1993, №10. – С. 51-55.

4. Бортновский В.Н., Фармакологические средства повышения резистентности организма моряков / В.Н. Бортновский // Воен.- мед. журн. – 1991, №7 – С. 66-69.

5. Новиков, В.С. Радиационная безопасность и здоровье населения Беларуси / В.С. Новиков, А.Н. Лызиков, В.Н. Бортновский и др. – СПб.: «Профессионал»; СПб; Гомель, 2014. – 264 с.

6. Абдуль, Ю.А. Современная система противорадиационной медицинской защиты участников ликвидации последствий крупномасштабных радиационных аварий / Ю.А. Абдель, А.Е. Актусевич, С.П. Деев и др. // Военная медицина. Проблема профилактики, диагностики, лечения экстремальных состояний. Сб. статей. под ред. И.М. Чижа, – М.: Военное издательство, 1994. – С. 76-85.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs ГРИБАМИ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ ЛЕСНОГО ФОНДА В МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.И. Булко¹, А.К. Козлов¹, М.А. Шабалева², Н.В. Толкачева¹, Н.В. Митин³

¹ГНУ «Институт леса НАН Беларуси», Гомель, Беларусь, formelior@tut.by

²УО «Гомельский медицинский институт», Гомель, Беларусь

³УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», Гомель, Беларусь

Введение. В настоящее время, спустя 30 лет после аварии на ЧАЭС, на загрязненных радионуклидами территориях потребление лесной пищевой продукции населением как сельской местности, так и городов, находится на достаточно высоком уровне. При этом, императив обязательного радиационного контроля [1, 2] не соблюдается. В результате основной вклад в формирование внутренней дозы облучения населения в настоящее время вносят лесные грибы и ягоды, вероятность сверхнормативного содержания ^{137}Cs в которых достаточно высока даже при плотности загрязнения почвы радионуклидом менее 1 Ки/км² [3].

Знание влияния лесоводственных, радиационных, метеорологических факторов на накопление ^{137}Cs лесными грибами позволит корректировать ежегодные планы заготовки грибов, сориентировать субъекты хозяйствования и население на сбор и потреб-

ление лесных грибов с вероятно допустимым уровнем загрязнения, что в итоге снизит величину дозы внутреннего облучения населения.

Цель настоящей работы – установить зависимости накопления ^{137}Cs грибами на радиационно загрязненной территории лесного фонда Могилевской области от радиологических, лесоводственных, метеорологических факторов.

Методика и объекты исследования. Объектами исследований являлись различные виды съедобных грибов, произраставших в радиационно загрязненных лесах с плотностью загрязнения до 2 Ки/км^2 (74 кБк/м^2) в пределах которой «Правилами ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения» разрешен их сбор [4].

Анализ загрязнения ^{137}Cs лесных грибов производился на основании определения загрязненности грибов на контрольных полигонах в лесхозах Могилевской области и информации базы данных по загрязнению ^{137}Cs пищевой продукции леса Могилевской области за 2010-2014 гг.

В основу анализа были положены содержание ^{137}Cs в грибах ($A_{\text{уд}}$) и коэффициенты перехода (КП) ^{137}Cs в грибы. Данные измерений дифференцировались по видам грибов, уровню поверхностного загрязнения ^{137}Cs , типам леса, условиям произрастания, породному составу насаждений в местах отбора плодовых тел грибов на анализ. КП ^{137}Cs из почвы в плодовые тела грибов рассчитывался по формуле:

$$\text{КП} = (A_{\text{уд}}/A_{\text{пов}}) \cdot 10^{-3}, \text{ м}^2/\text{кг}$$

где $A_{\text{уд}}$ – удельная активность ^{137}Cs в пробе грибов, Бк/кг;

$A_{\text{пов}}$ – плотность загрязнения почвы ^{137}Cs (поверхностное загрязнение), кБк/м².

Для изучения влияния метеорологических показателей на поступление ^{137}Cs в грибы использовали сведения ближайших к местам сбора грибов метеостанций о количестве осадков, температуре воздуха, а также рассчитывался производный от них гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова, определявшийся для мест отбора грибов по формуле:

$$\text{ГТК} = 10 \sum R / \sum t (> 10^2),$$

где $\sum R$ – сумма осадков за период (месяц, период вегетационного сезона), с температурой выше 10^0C , мм

$\sum t (>10^0)$ – сумма температур выше 10^0C за тот же период, ^0C .

Анализ зависимости накопления ^{137}Cs от различных факторов производился по КП ^{137}Cs . Обработка информации проводилась с помощью методов биологической статистики.

Результаты исследований. Зависимость накопления ^{137}Cs грибами от плотности загрязнения почвы. Выполненный нами анализ полученной в лесхозах Могилевской области информации показал, что при плотности загрязнения почвы от 0,3 до 2 Ки/км^2 46,4% собранных плодовых тел грибов имеет удельную активность ^{137}Cs более нормы, установленной РДУ-99 (370 Бк/кг). При этом ни конденсационный (юг Могилевской области), ни рассеянный (север Могилевской области) характер радиационных выпадений на территории после Чернобыльской аварии влияния на поступление ^{137}Cs в грибы не оказали.

Как видно из таблицы 1, зависимость накопления ^{137}Cs в плодовых телах грибов от плотности загрязнения почвы в местах их сбора весьма умеренная ($r < 0,5-0,6$) при высоком уровне значимости ($p < 0,01$).

Таблица 1 – Влияние плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в местах сбора грибов на накопление ^{137}Cs

Вид гриба	Средняя плотность загрязнения, кБк/м ²	Средняя удельная активность, ^{137}Cs , Бк/кг	Средний КП ^{137}Cs , м ² /кг	Количество измерений образцов, шт	Коэффициент корреляции, r	Критерий Стьюдента, t	Уровень значимости, P
Опенок	1,48	211	3,68	133	0,36	4,44	<0,01
Белый гриб	1,51	728	12,77	190	0,52	8,46	<0,01
Подберезовик	1,49	546	10,31	256	0,31	5,21	<0,01
Подосиновик	1,49	374	8,62	128	0,27	3,20	<0,01
Лисичка	1,47	457	8,61	381	0,40	8,60	<0,01
Волнушка	1,83	805	12,06	30	0,62	4,19	<0,01
Масленок	1,24	453	9,64	83	0,57	6,31	<0,01
Груздь черный	1,56	802	13,41	100	0,5	3,75	<0,01
Сыроежка	1,51	1004	18,03	391	0,31	6,53	<0,01
Моховик	1,41	935	17,08	82	0,38	3,68	<0,01
Польский гриб	1,53	2489	42,68	139	0,41	5,34	<0,01

Тем не менее, учитывать плотность загрязнения почвы ^{137}Cs необходимо. Поэтому в дальнейшем при изучении поступления ^{137}Cs в плодовые тела грибов будут использованы не значения удельной активности ^{137}Cs , а коэффициенты перехода его в грибы.

Зависимость поступления ^{137}Cs в грибы от типа леса, лесорастительных условий, состава насаждения. Влияние лесоводственных факторов оценивалось посредством непараметрического дисперсионного анализа массива информации 2010-2014 гг. на основании критериев Краскела-Уоллиса, позволивших дать оценку достоверности различий КП ^{137}Cs в исследуемые виды грибов в зависимости от условий местопроизрастания, типов леса, породного состава насаждений (таблица 2).

Как видно из таблицы 2, для большинства видов грибов установлено статистически значимое ($p < 0,05$) влияние типов леса, ТЛУ, породного состава на интенсивность накопления ^{137}Cs . Детальный анализ влияния этих факторов, к сожалению, в рамках данной статьи не может быть выполнен из-за ее ограниченного объема.

Таблица 2 – Влияние различных факторов на КП ^{137}Cs в плодовые тела грибов

Виды грибов	Фактор	Число степеней свободы, n-1	Критерий Краскела-Уоллиса	
			H	P
Белый гриб	тип леса	18	33,92	0,01
	ТЛУ	9	19,85	0,02
	породный состав	6	19,38	0,004
Подберезовик	тип леса	19	46,77	0,0004
	ТЛУ	9	14,31	0,11
	породный состав	7	20,74	0,004
Подосиновик	тип леса	16	27,01	0,04
	ТЛУ	8	20,48	0,01
	породный состав	8	13,74	0,09
Лисичка	тип леса	9	26,86	0,002
	ТЛУ	5	28,37	<0,0001
	породный состав	15	54,59	<0,0001
Груздь черный	тип леса	17	27,94	0,05
	ТЛУ	7	21,13	0,004
	породный состав	4	11,66	0,02

Продолжение таблицы 2

Масленок	тип леса	9	11,99	0,21
	ТЛУ	8	13,59	0,09
	породный состав	4	7,93	0,09
Моховик	тип леса	9	15,10	0,09
	ТЛУ	7	9,94	0,19
	породный состав	3	5,21	0,16
Опенок зим- ний	тип леса	17	35,08	0,01
	ТЛУ	7	17,04	0,02
	породный состав	4	8,34	0,08
Польский гриб	тип леса	12	22,12	0,04
	ТЛУ	6	17,10	0,01
	породный состав	5	9,97	0,08
Сыроежка	тип леса	19	95,15	0,001
	ТЛУ	9	20,24	0,02
	породный состав	6	19,91	0,003

Зависимость поступления ^{137}Cs в грибы от метеорологических факторов. Анализ накопленного массива информации показал, что по годам интенсивность потребления ^{137}Cs одними и теми же видами грибов меняется в одних и тех же лесоводственных условиях. В связи с этим была проведена оценка вероятного воздействия погодных условий на уровень КП ^{137}Cs в лесные грибы посредством анализа связи уровня накопления радионуклида и гидротермического коэффициента за один или несколько месяцев вегетационных периодов (2010-2014 гг.).

При этом было установлено, что КП ^{137}Cs в лисичку меняется прямо пропорционально с ГТК за август и июнь в сосняке орляковом; (КП $^{137}\text{Cs} = 2,6604 \ln(\text{ГТК}_{\text{июнь}}) + 4,3151$, $r = 0,95$; КП $^{137}\text{Cs} = 4,761 \ln(\text{ГТК}_{\text{август}}) + 4,8015$, $r = 0,89$). Для белого гриба в сосняке мшистом связь КП ^{137}Cs с ГТК в сентябре носит обратно пропорциональный характер (КП $^{137}\text{Cs} = -13,22 \ln(\text{ГТК}_{\text{сентябрь}}) + 18,738$, $r = -0,89$). Для остальных видов грибов из-за недостаточного количества измерений зависимости не рассматривались.

В тоже время в ряде случаев отмечена достаточно четкая связь между накоплением ^{137}Cs и средним показателем осадков или температуры. Например, у белого гриба количество выпавших осадков в месяц более 70 мм в месяц увеличивает накопление ^{137}Cs , а средняя температура июня ниже $+16^{\circ}\text{C}$ также приводит к повышению содержания ^{137}Cs в белом грибе в 1,5 раза (КП $^{137}\text{Cs} = -0,32 \sum_{\text{ос июнь сентябрь}} + 70,511$, $r = -0,97$).

Низкое, менее 45 мм, количество осадков в сентябре увеличивает КП ^{137}Cs в подберезовик в 1,5 раза.

Установлена и обратно пропорциональная связь между КП ^{137}Cs в масленок и суммарным количеством осадков за июль-сентябрь (КП $^{137}\text{Cs} = -0,17 \sum_{\text{ос июль сентябрь}} + 43,55$, $r = -0,96$).

Заключение. Краткий анализ влияния различных факторов на накопление ^{137}Cs грибами в лесах Могилевской области показал, что уровень накопления радионуклида определяется не только условиями местопроизрастания, типом леса и его породным составом, но обусловлен также количеством выпавших осадков, температурным режимом до и в период плодоношения грибов.

В тоже время при допустимой для сбора грибов плотности загрязнения почвы ^{137}Cs до $2 \text{ Ки}/\text{км}^2$, поверхностное загрязнение радионуклидом не является определяющим фактором поступления радионуклида в лесные грибы.

Литература

1. Санитарные нормы и правила. Требования к радиационной безопасности. – Введ. – 01.01.2013. – Минск: Мин. здравоохранения Респ. Беларусь. – 37 с. (Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь, 2013. – №1. – 8/26850).
2. Гигиенический норматив. Критерии оценки радиационного воздействия. – Введ.01.01.2013. – Минск: Мин. здравоохранения Респ. Беларусь. – 231 с. (Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь, 2013. – №1. – 8/26850).
3. Шабалева, М.А. Прогнозирование радиоактивной загрязненности лесной пищевой продукции ^{137}Cs и средней дозы внутреннего облучения организма за счет ее употребления / М.А. Шабалева, Н.И. Булко, А.К. Козлов // Проблемы здоровья и экологии. – 2014. – № 2. – С. 119-125.
4. Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения / Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. – Гомель: Институт радиологии, 2009. – 52 с. (Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь, 2009. – №158. – 8/21085).

РЕАКЦИЯ СЕМЕННИКОВ КРЫС НА ПРОЛОНГИРОВАННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ В СУММАРНЫХ ДОЗАХ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ У ЛИЦ, ПРИНИМАВШИХ УЧАСТИЕ В ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧАЭС

Г.Г. Верещако¹, А.М. Ходосовская², И.В. Ролевич³

¹ ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, vereschako2@tut.by

² Белорусский государственный университет, Минск

³ Белорусский национальный технический университет, Минск

Введение. Семенники относятся к так называемым «критическим органам», благодаря высокой радиочувствительности сперматогенных клеток, особенно начальных этапов сперматогенеза. Установлено, что даже небольшие дозы острого облучения (от 0,05 Гр и выше) способны вызвать нарушения в системе клеточного обновления сперматогенных клеток [1-2]. Однако после аварии на Чернобыльской АЭС значительно усилилось внимание к изучению действия хронического радиационного воздействия на организм. Считается, что длительное действие облучения в отношении сперматогенного эпителия является более эффективным, чем однократное [3]. Однако такие нарушения в ткани семенника при хроническом воздействии возникают при достижении относительно высоких суммарных доз [4-5], не менее 2,0 Гр [6]. В связи с этим представляет интерес анализ реакции семенников крыс на пролонгированное облучение, которое было бы близко к дозам облучения, установленных у ликвидаторов аварии на ЧАЭС. Известно, что у ликвидаторов, участвовавших в июне-июле 1986 г. в дезактивации 3-го энергоблока ЧАЭС, дозы облучения составляли от 205,0±10,0 до 242,0±5,6 мГр [7]. По другим данным у 6% ликвидаторов эта доза достигала или превышала 500 мЗв [8].

Цель настоящего исследования – изучение состояния репродуктивной системы крыс-самцов, подвергнутых пролонгированному внешнему облучению в суммарных дозах 0,25 и 0,5 Гр.

Материал и методы. Крыс-самцов (исходный возраст 1,5 мес) подвергали облучению на установке Гаммарид 192/120 круглосуточно с краткими перерывами для кормления и уборки помещения (^{137}Cs , м.д. 3,03 сГр/сут), до достижения суммарных доз 0,25 и 0,5 Гр (продолжительность облучения – 9 и 18 сут соответственно).

Эксперименты проводили на 1-е сут после прекращения облучения. Перед декапитацией животных взвешивали, извлекали семенники и их придатки (эпидидимисы), предстательную железу и семенные пузырьки, массу которых определяли с точностью до 1 мг, рассчитывая в последующем относительную массу выделенных органов. Семенники освобождали от туники и кровеносных сосудов, из которых готовили 10% суспензию тестикулярной ткани в 5% уксусной кислоте с генцианвиолетом, в которой подсчитывали число различных типов сперматогенных клеток: сперматогоний (суммарно), сперматоцитов, сперматид и сперматозоидов. [9]. В 10% гомогенате ткани семенника в 5% хлорной кислоте спектрофотометрически анализировали содержание РНК и ДНК [10], а также диеновых и триеновых конъюгатов [11]. Все операции выполняли при 0-4°C. Контролем являлись интактные животные аналогичного возраста. Полученные данные обрабатывали статистически общепринятыми методами с использованием критерия Стьюдента при $p < 0.05$.

Результаты и их обсуждение. В таблице представлены данные об изменении изучаемых показателей репродуктивной системы крыс-самцов на 1-е сут после пролонгированного облучения в суммарных дозах 0.25 и 0.5 Гр. У животных, получивших дозу 0.25 Гр, отмечается повышение абсолютной массы семенников и падение этого показателя для эпидидимисов, семенных пузырьков и простаты. Однако при расчете относительной массы органов репродуктивной системы картина наблюдаемых изменений носит несколько иной и менее выраженный характер для семенников и эпидидимисов. Тем не менее, для семенных пузырьков и предстательной железы экспериментальных животных выявляется снижение этого показателя. Количество клеток начальных этапов сперматогенеза – сперматогоний и сперматоцитов после облучения в дозе 0.25 Гр имеет тенденцию к снижению, более выраженную для последних. Сперматиды и сперматозоиды в сперматогенной ткани в этом возрасте у крыс-самцов, как в контроле, так и у экспериментальных животных присутствуют в отдельных случаях единичными клетками или отсутствуют.

Анализ биохимических показателей в ткани семенника крыс при минимальной дозе радиационного воздействия показывает отсутствие значимых отклонений от контрольного уровня, за исключением триеновых конъюгатов и общего белка, содержание которых достоверно повышается на 45.6 и 38.9% соответственно. При повышении дозы пролонгированного облучения до 0.5 Гр масса органов репродуктивной системы животных почти не отличается от контрольного уровня, за исключением семенных пузырьков, абсолютная масса которых снижена на 16.7% (табл.). Количество сперматогенных клеток различных этапов дифференцировки при дозе 0,5 Гр в основном снижено для всех типов клеток, за исключением сперматид, число которых не отличается от контроля. Кроме того, в ткани семенника облученных крыс-самцов выявляется повышение содержания ДНК (+16.2%, уменьшение уровня общего белка (-10.1%) и активности ЛДГ (-21.8%).

Таблица – Изменение некоторых показателей репродуктивной системы крыс-самцов на 1-е сут после прекращения пролонгированного облучения в суммарных дозах 0,25 и 0.5 Гр (мощность дозы 3,03 сГр/мин)

Изучаемые показатели	0.25 Гр		0.5 Гр	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Масса тела, г	92.5±4.6	81.7±3.1	131.7±2.1	132.5±2.5
АМ семенников, г	0.308±0.04	0.402±0.01	0.652±0.04	0.659±0.04
ОМ семенников, %	0.333±0.04	0.339±0.01	0.495±0.03	0.497±0.05
АМ эпидидимисов, г	0.044±0.004	0.028±0.001	0.089±0.006	0.086±0.003
ОМ эпидидимисов, %	0.047±0.003	0.049±0.002	0.068±0.007	0.065±0.08

Продолжение таблицы

АМ семенных пузырьков, г	0.020±0.001	0.013±0.002*	0.042±0.01	0.035±0.005
ОМ семенных пузырьков, %	0.021±0.002	0.016±0.002	0.032±0.004	0.026±0.003
АМ простаты, г	0.052±0.004	0.040±0.005	0.077±0.01	0.079±0.007
ОМ простаты, %	0.056±0.004	0.048±0.006	0.058±0.005	0.060±0.004
Сперматогонии, $\times 10^8/\text{г}$	1.040±0.10	0.980±0.01	0.46±0.06	0.35±0.03
Сперматоциты, $\times 10^8/\text{г}$	0.980±0.07	0.890±0.07	1.00±0.11	0.82±0.05
Сперматиды, $\times 10^8/\text{г}$	-	-	1.33±0.10	1.40±0.07
Сперматозоиды, $\times 10^8/\text{г}$	-	-	0.51±0.12	0.46±0.04
Общее кол-во клеток, $\times 10^8/\text{г}$	2.020±0.110	1.870±0.110	3.30±0.16	3.02±0.07
РНК, мг/г	2.52±0.41	2.46±0.18	2.13±0.14	2.14±0.06
ДНК, мг/г	3.97±0.85	3.91±0.64	3.63±0.18	4.22±0.08*
ЛДГ, мкмоль ПВК/мг белка/мин	0.069±0.004	0.065±0.002	0.079±0.008	0.061±0.003*
Диеновые конъюгаты, нмоль/г	0.65±0.03	0.66±0.01	0.602±0.006	0.616±0.007
ТК, нмоль/г	0.57±0.05	0.83±0.09*	0.604±0.018	0.633±0.015
Общий белок, мг/г	299.8±0.30	416.4±0.35*	268.7±0.29	241.7±0.23

Примечания: АМ – абсолютная масса, ОМ – относительная масса; ТК – триеновые конъюгаты; * – достоверно при $P < 0.05$.

Таким образом, представленные данные показывают, что пролонгированное облучение с низкой мощностью дозы (3.03 сГр/сут) способно вызывать те или иные отклонения отдельных показателей морфофункционального состояния репродуктивной системы крыс-самцов после облучения при достижении суммарных доз 0.25 и 0.5 Гр.

В то же время, если попытаться экстраполировать результаты полученных исследований по оценке состояния репродуктивной системы у крыс-самцов при пролонгированном облучении в относительно малых дозах на человека, то необходимо учитывать его более высокую чувствительность к ионизирующим излучениям, которая в несколько раз выше, чем у исследуемых животных. Поэтому эффекты, вызываемые у человека при дозах 0.25 и 5.0 Гр, по-видимому, будут сопровождаться более выраженными изменениями исследуемых показателей.

Литература

1. Neonatal low-dose gamma irradiation-induced impaired fertility in mature rats / A. Frend [et al.] // *Isr. J. Med. Sci.* – 1990. – Vol. 26, N11. – P. 611-615.
2. Jagetia, G.C. Effect of low doses of gamma-radiation on the steady-state spermatogenesis of mouse: a flow cytometric study / G.G. Jagetia, H. Krishnamurthy // *Mutat. Res. Fund. And Mol. Mech. Mutagen.* – 1995. – Vol. 332, N 1-2. – P. 97-107.
3. Кондратенко, В.Г. Действие ионизирующей радиации на семенники млекопитающих / В.Г. Кондратенко // *Успехи соврем. биологии* – 1977. – Т. 83, вып. 2. – С. 305-319.
4. Маркелов, Б.А. Отдаленные эффекты у собак, подвергнутых хроническому γ -облучению в малых дозах / Б.А. Маркелов, Н.Л. Федорова, В.И. Яковлева // *Радиобиология.* – 1981. – Т. 21, № 5. – С. 699-704.
5. Плахута-Плакутина, Г.И. Сперматогенез у собак при многолетнем хроническом гамма-облучении и в период последствий / Г.И. Плахута-Плакутина // *Космич. биол. и авиакосмич. мед.* – 1978. – Т. 12, № 6. – С. 50-55.
6. Верещако, Г.Г. Влияние длительного низкоинтенсивного облучения на массу органов репродуктивной системы крыс самцов / Г.Г. Верещако, А.М.Ходосовская, Е.Ф. Конопля // *Радиац. биология. Радиоэкология.* – 2003. – Т. 43, № 1. – С. 71-74.

7. Мешков, Н. А. Величина и структура доз облучения ликвидаторов в зависимости от этапа ликвидации последствий радиационной аварии и вида работ / Н.А. Мешков // Радиация и риск (Бюл. национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2009. – Т. 18. Вып. № 1. – С.

8. Сравнительный анализ риска при радиационно-эпидемиологическом исследовании лиц, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, с использованием различных видов облучения / А.Р. Туков [и др.] // Мед. радиология и рад. безопасность. – 2015. – Т. 60, № 6. – С. 27-33.

9. Мамина, В.П. Метод определения количества сперматогенных клеток семенника в клеточной суспензии / В.П. Мамина, Д.И. Семенов // Цитология. – 1976. – Т. 18, № 7. – С. 913-914.

10. Трудолюбова, М.Г. Количественное определение РНК и ДНК в субклеточных фракциях клеток животных / М.Г. Трудолюбова // Современные методы в биохимии / Под ред. В.А. Ореховича. – М.: Медицина, 1977. – С. 313-316

11. Стальная, И.Д. Метод определения диеновой конъюгации ненасыщенных высших жирных кислот / И.Д. Стальная // Современные методы в биохимии / Под ред. В.А. Ореховича. – М.: Медицина, 1977. – С. 64-65.

НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs И ^{90}Sr ПОДРОСТОМ И ПОДЛЕСКОМ В СУХОДОЛЬНЫХ СОСНЯКАХ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Д.К. Гарбарук, М.В. Кудин, А.В. Углянец

*Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение
«Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»,
Хойники, Беларусь, dima.garbaruk.77@mail.ru*

Введение. В Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (далее – заповедник) под пологом наиболее распространенных суходольных сосняков вересковых (22,1% от площади формации), мшистых (51,6%) и черничных (12,8%) встречается подрост сосны, березы, дуба, осины, ольхи [1]. Типичными представителями подлеска в этих типах леса являются крушина и рябина [2].

На территории заповедника в 1987 году максимальное содержание ^{137}Cs в листьях подроста дуба отмечалось в сосняке мшистом. В этом же типе леса в листьях рябины и крушины оно было наиболее высоким в сравнении с остальными типами леса других формаций. Причем рябина его накапливала интенсивнее, чем крушина. В 1990 году содержание ^{137}Cs в листьях обоих видов было на порядок ниже. В тех же условиях в 1987 году содержание ^{90}Sr в листьях рябины было выше, чем у крушины. К 1992 году у крушины оно увеличилось на порядок, у рябины – на два. Различия в поглощении подлеском ^{90}Sr в большей степени зависело от видовой специфичности аккумуляции его растениями, чем от условий местопроизрастания и плотности загрязнения почв [3].

В 1986-1997 годах в сосняке мшистом коэффициенты перехода (далее Кп) гамма-активных изотопов в органы и ткани рябины были выше, чем у крушины. С 1986 по 1993 год прослеживалась тенденция их роста у обоих видов. С 1993 по 1997 год за счет распада короткоживущих изотопов последовало снижение Кп гамма-активных изотопов в компоненты растений рябины и крушины. Причем у рябины оно происходило намного интенсивнее, чем у крушины [4].

Цель наших исследований заключалась в выявлении современных особенностей накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr органами и тканями фоновых видов подроста и подлеска в доминирующих типах суходольных сосновых лесов заповедника.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись древесина, корни и листья наиболее распространенных в подросте и подлеске пород (дуб, крушина, рябина) в сосняках вересковых, мшистых и черничных заповедника.

В 2014 году в трех насаждениях каждого типа леса по общепринятой в лесной таксации методике были заложены пробные площади (далее ПП) (таблица), на которых в соответствии с нормативными документами по проведению радиационного мониторинга [5], произвели отбор проб почвы для определения плотности загрязнения ее ^{137}Cs и ^{90}Sr , а также отбор образцов древесины, корней и листьев у дуба, крушины и рябины для анализа содержания в них ^{137}Cs и ^{90}Sr .

Подготовка образцов к лабораторным анализам осуществлялась в соответствии с общепринятыми методиками. Удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в образцах верхнего горизонта почвы и биоматериале (древесине, корнях и листьях) определяли на сцинтиляционном гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315.

Для сопоставления уровней накопления радионуклидов в компонентах подроста и подлеска рассчитывался Кп, как частное от удельной активности элемента фитомассы (Бк/кг) к плотности загрязнения почвы (кБк/м²), указывающий на способность растения накапливать тот или иной радионуклид вне зависимости от уровня загрязнения почвы.

Таблица – Лесоводственно-радиационная характеристика насаждений на ПП

Состав	Тип леса ТУМ	Возраст, лет	Бонитет	Запас, м ³ /га	Средние		МД, мкЗв/ч		Плотность загрязнения почвы, кБк/м ²	
					Д, см	Н, м	3-4 см от поверхности почвы	на высоте 1 м	^{137}Cs	^{90}Sr
10С	вер./А ₂	64	II	440	25,2	23,4	0,89	0,68	980,1	137,7
10С	вер./А ₂	73	II	390	28,5	21,3	1,45	1,21	2172,6	68,9
10С	вер./А ₂	73	III	300	24,0	17,8	0,42	0,37	328,2	36,7
10С	мш./А ₂	52	I	530	21,9	20,2	1,14	0,92	1344,3	63,3
10С	мш./А ₂	57	I	470	21,7	19,9	1,43	1,06	1546,2	87,2
10С	мш./А ₂	71	I	540	27,3	24,9	0,95	0,77	938,9	158,3
9С1Б	чер./А ₃	64	Ia	450	32,9	25,7	0,66	0,59	989,5	121,5
9С1Б	чер./А ₃	61	Ia	490	32,5	25,6	1,87	1,37	2318,3	169,1
9С1Б+Ос	чер./А ₃	64	I	330	32,7	23,1	0,37	0,30	481,1	24,1

Результаты исследования и их обсуждение. Распределение Кп ^{137}Cs в компонентах подроста и подлеска (рисунок 1) в различных типах сосняков можно отобразить следующими рядами. Сосняк мшистый: крушина – листья>корни>древесина; рябина – корни>листья>древесина. Сосняк черничный и вересковый: крушина – корни>листья>древесина; рябина – листья>корни>древесина. Сосняки мшистый и чернич-

ный: дуб – листья>корни> древесина. Отсюда очевидна общая для всех пород подростово-подлесочного яруса тенденция наименьшей аккумуляции ^{137}Cs древесиной. Прослеживается общее направление увеличения Кп этого радионуклида от древесины к корням. От корней к листовой массе Кп ^{137}Cs у дуба повышаются, у крушины понижаются, а у рябины выраженной направленности не выявлено.

Растения подроста и подлеска имеют свою видовую специфику накопления радионуклидов в различных условиях местопроизрастания. Ряды снижения Кп ^{137}Cs в компоненты подлеска и подроста имеют следующий вид: корни в сосняке черничном – дуб>крушина>рябина; древесина и листья во всех типах леса – дуб>рябина>крушина. Очевидно, что рябина более интенсивно накапливает ^{137}Cs , чем крушина. Эта ее особенность отмечалась в работах [3, 4]. Для подроста дуба характерно повышенное накопление ^{137}Cs в органах и тканях, по сравнению с подлесочными видами. Наблюдается повышение Кп данного радионуклида от сосняка верескового к сосняку черничному.

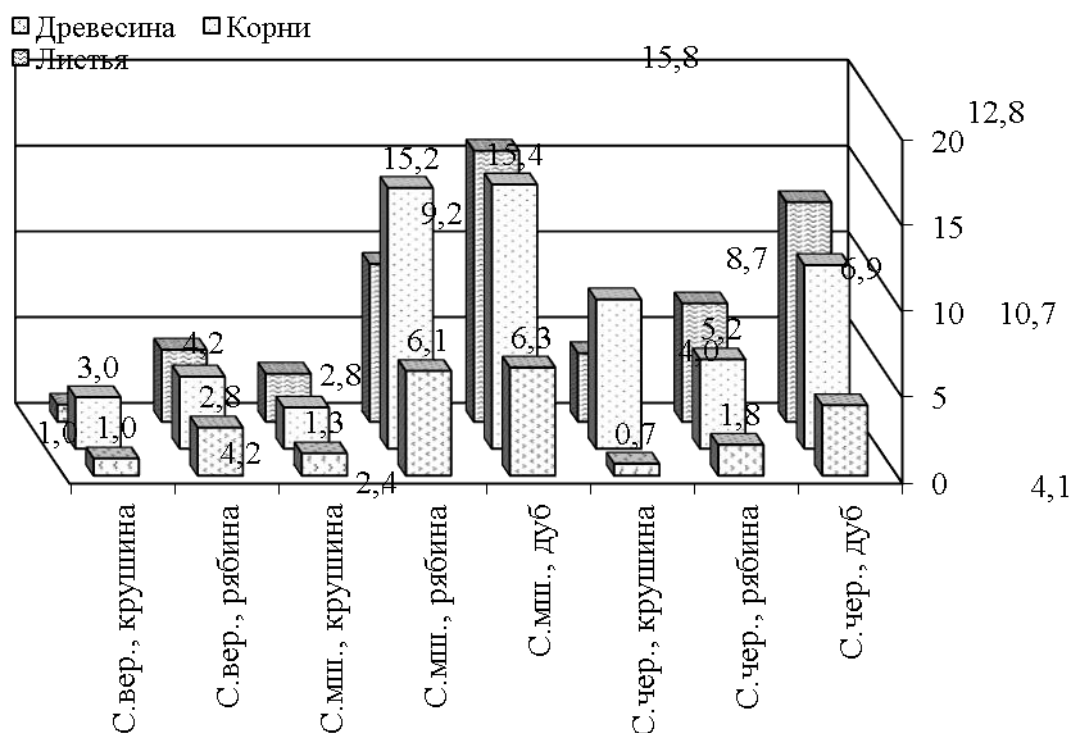


Рисунок 1 – Средние Кп ^{137}Cs в органы и ткани яруса подроста и подлеска суходольных сосняков, $n \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$

Кп ^{90}Sr в компоненты пород подростово-подлесочного яруса различаются по типам леса (рисунок 2) и характеризуются следующими рядами. Сосняк мшистый: крушина – листья>корни>древесина, рябина – корни>листья> древесина, дуб – листья>корни>древесина; сосняк вересковый: крушина – корни> листья=древесина, рябина – корни=листья>древесина; сосняк черничный: крушина – корни>листья>древесина, рябина и дуб – листья>корни>древесина.

Для подроста и подлеска характерна также видовая специфичность аккумуляции ^{90}Sr органами и тканями.

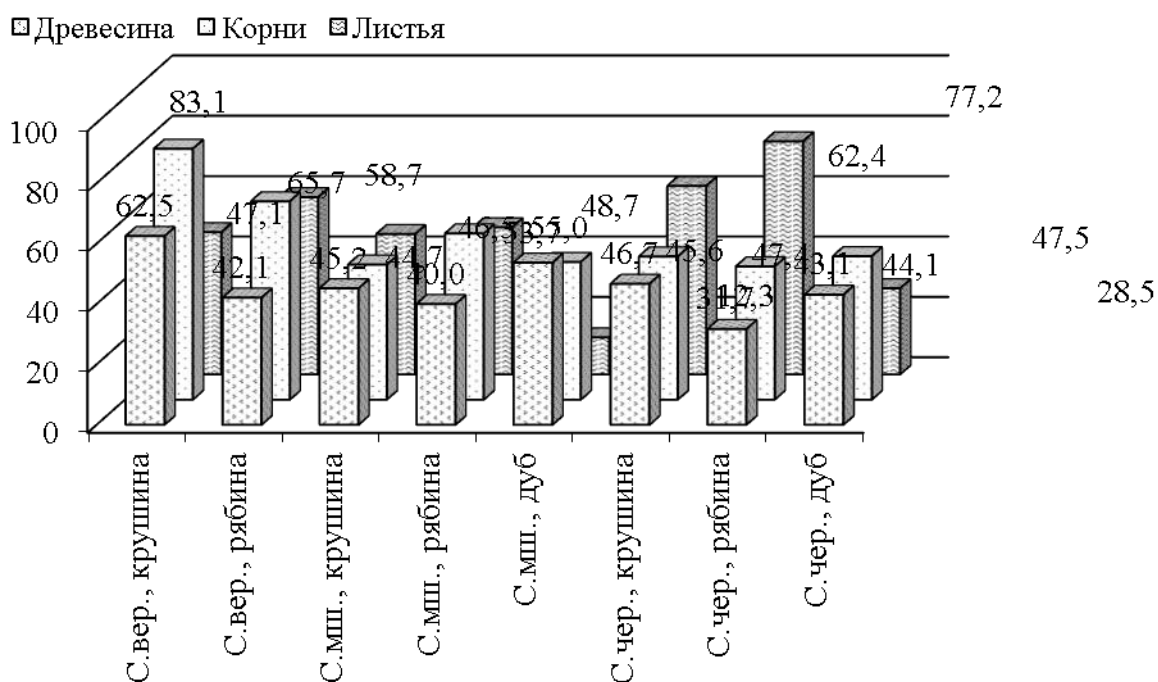


Рисунок 2 – Средние Кп ^{90}Sr в органы и ткани яруса подроста и подлеска суходольных сосняков, $\text{п} \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$

Общие тенденции накопления данного радионуклида компоненты подроста и подлеска не выявлены, о чем свидетельствуют следующие ряды снижения его Кп. Сосняк мшистый: древесина – дуб>крушина>рябина; корни – рябина>дуб>крушина; листья – рябина>крушина>дуб. В сосняке вересковом древесина и корни крушины превосходят по способности накопления ^{90}Sr рябину. Сосняк черничный: древесина – крушина>дуб>рябина; корни – дуб=крушина>рябина; листья – рябина>крушина>дуб.

Отмечено некоторое увеличение накопления ^{90}Sr древесиной и корнями подроста и подлеска в более сухих почвенных условиях. С повышением увлажненности почвы Кп ^{90}Sr в листья растут. Во всех типах леса древесина рябины накапливает его меньше других видов. Еще одна особенность рябины заключается в наибольшей по сравнению с другими видами аккумуляции ^{90}Sr в листьях.

Несмотря на более высокую удельную активность ^{137}Cs в почве, Кп в органы и ткани растений (рисунок 1) в среднем на порядок ниже, чем ^{90}Sr (рисунок 2). Это обусловлено тем, что высокая подвижность ^{90}Sr минимально зависит от почвенно-экологических условий, которые в большей степени воздействуют на распределение и фиксацию ^{137}Cs в почве.

Заключение. Спустя 28 лет после радиоактивных выпадений накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr различными частями растений подроста и подлеска в суходольных сосняках заповедника продолжает определяться видовой специфичностью растений их аккумулировать и в меньшей степени условиями местопроизрастания.

Видовая специфичность накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr различными частями растений подроста и подлеска различается по типам леса.

У видов подроста и подлеска прослеживается общая тенденция увеличения Кп ^{137}Cs и ^{90}Sr от древесины к корням. Между корнями и листьями выраженной направленности их изменения в подростово-подлесочном ярусе не выявлено.

С увеличением влажности почв прослеживается тенденция роста Кп ^{137}Cs в компоненты видов подроста и подлеска и снижения – ^{90}Sr . Независимо от условий место-

произрастания Кп ^{137}Cs в органы и ткани снижаются в ряду дуб>рябина>крушина. Кп ^{90}Sr в органы и ткани растений подроста и подлеска в среднем на порядок выше, чем Кп ^{137}Cs .

Литература

1. Кудин, М.В. Особенности лесообразовательных процессов в белорусском секторе зоны эвакуации (отчуждения) Чернобыльской АЭС : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.02 / М. В. Кудин ; Институт леса НАН Беларуси. – Гомель, 2011. – 23 с.
2. Юркевич И.Д., Ловчий Н.Ф., Гельтман В.С. Леса Белорусского Полесья (Геоботанические исследования). – Минск : Наука и техника, 1977. – 288 с.
3. Парфенов, В.И. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси / В.И.Парфенов, Б.И. Якушев, Б. С. Мартинович. – Мн. : Навука і тэхніка, 1995. – 578 с.
4. Якушев, Б.И. Динамика радиоактивного загрязнения почв и растений природно-растительных комплексов в зоне отселения ЧАЭС на территории Беларуси / Б.И. Якушев [и др.] // 10 лет Полесскому государственному радиационно-экологическому заповеднику: сб. ст. / Полесский государственный радиационно-экологический заповедник ; сост.: Т. М. Одинцова, К.М. Киреенко. – Мн., 1998. – С. 15-23.
5. Радиационный мониторинг лесного фонда. Закладка постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения = Радыяцыйны маніторынг ляснога фонда. Закладка пастаяннага пункта назірання. Парадак правядзення : ТКП 498-2013 (02080). – Введ. 03.10.13 (с отменой Методики организации и ведения радиационного мониторинга в лесах, утвержденной приказом Минлесхоза от 24.05.2006 г., № 113). – Минск : Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь, 2013. – 29 с.

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ДОМИНИРУЮЩИМИ ВИДАМИ РАСТЕНИЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

В.В. Головешкин

*Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», Хойники, Беларусь,
goloveshkin.victor@yandex.ru*

Введение. Одним из наиболее существенных факторов антропогенного воздействия на природу является загрязнения окружающей среды радионуклидами, выпавшими в результате испытаний ядерного оружия и аварий на ядерно-энергетических объектах [1]. Аккумуляция радиоактивных веществ растительными комплексами – важнейшая экологическая проблема, возникшая в связи с аварией на ЧАЭС

Загрязнение растительности связано с корневым потреблением элементов минерального питания путем поглощения радионуклидов из почвы. Этот процесс зависит от многих факторов, среди которых основными являются свойства радионуклидов и формы нахождения их в почве, физико-химические параметры почвы, биологических особенностей растений, погодно-климатические условия.

Основной целью наших исследований было определить уровни радиоактивного загрязнения почвы и растений пунктов постоянных наблюдений и изучить особенности накопления радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am) растительностью постоянных пунктов наблюдения.

Материалы и методы. Все пункты постоянных наблюдений (ППН) расположены на территории зоны отчуждения на расстоянии 10-12 км от ЧАЭС. Характеристика постоянных пунктов наблюдения представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика постоянных пунктов наблюдения

Название объекта	Но- мерПП Н	Тип почв
Залежные земли	1	дерново-подзолистая, супесчаная, слабоподзолен- ная, пахотная
Березовый лес	5	дерново-подзолистая, среднеподзоленная с отор- фованным гумусовым горизонтом
Сосновый лес	6	дерново-подзолистая, оглеенная, песчаная, слабоподзоленная
Вершина Ясевой горы	7	дерново-подзолистая, супесчаная, слабоподзоленная, старопахотная
Склон Ясевой горы	8	дерново-подзолистая, песчаная, слабоподзоленная,
Высокая пойма	9	дерново-подзолистая, супесчаная, слабоподзоленная, старопахотная
Низкая пойма	10	торфянисто-глеевая
Урез воды озера Персток	11	аллювиальная дерновая
Высокий берег озера Персток	12	дерново-подзолистая, супесчаная, слабоподзоленная, старопахотная

По условиям увлажнения почвы постоянных пунктов наблюдения № 1, № 6-9, №12 являются автоморфными, площадок № 5, № 10, №12 – гидроморфными. Отбор проб почвы для оценки плотности радиоактивного загрязнения производился методом вложенных квадратов. Отбор проб проводился стандартным пробоотборником – по четыре укола на каждую экспериментальную площадку, представляющую собой квадрат. При изучении накопления радионуклидов растительностью на постоянных пунктах наблюдения параллельно с объединенной почвенной пробой на глубину 20 см, также отбиралась смешанная проба травяной растительности на учетной площади 1 м².

Для получения количественных данных, характеризующих содержание радионуклидов в почве и растениях, использовались методики выполнения измерений, включенные в Перечень методик радиационного контроля, действующих на территории Республики Беларусь. Определение содержания ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²⁴¹Am в образцах проводилось методами гамма-спектрометрии.

Математическая и статистическая обработка результатов исследования осуществлялась на персональном компьютере с помощью пакетов прикладных программ.

Результаты исследований и их обсуждение. Сведения о содержании радионуклидов в почве и растительном покрове постоянных пунктов наблюдения представлены в таблице 2.

Анализ данных показал, что плотность радиоактивного загрязнения почвы экспериментальных площадок составляет ¹³⁷Cs – 1518 – 8483 кБк/м² (41,0 – 229,3 Ки/км²), ⁹⁰Sr – .207 – 2367 кБк/м² (5,6 – 64,0 Ки/км²), ²⁴¹Am – 27- 146 кБк/м² (0,73 – 3,94 Ки/км²) соответственно.

Величина удельной активности растений для ¹³⁷Cs составляла 529 – 97335 Бк/кг. Минимальная удельная активность ¹³⁷Cs в растительном покрове отмечалась на вершине Ясевой горы и составляла 529 Бк/кг. Максимальная удельная активность радионуклида была на уровне 97335 Бк/кг и наблюдалась в растениях на склоне Ясевой горы.

Удельная активность ⁹⁰Sr в растительном покрове также значительно различалась. Минимальная удельная активность радионуклида имела значение 3316 Бк/кг

(ППН-10), а максимальная – 22312 Бк/кг (ППН-12). Содержание ^{241}Am в растительном покрове было на уровне 3,5 – 226,0 Бк/кг.

Таблица 2 – Содержание радионуклидов в почве и растительном покрове на постоянных пунктах наблюдения

Название объекта	Видовой состав растений	Плотность радиоактивного загрязнения почвы, кБк/м ²			Содержание радионуклида в растительном покрове, Бк/кг		
		^{137}Cs	^{90}Sr	^{241}Am	^{137}Cs	^{90}Sr	^{241}Am
ППН-1	Мятлик луговой Хвощ полевой Зверобой продырявленный Конский щавель Пижма обыкновенная	4234	1924	87	847	15077	5,9
ППН-5	Осока пузырчатая	2316	972	56	47429	9581	23,3
ППН-6	Плевроциум Шребера	8483	1029	146	60855	12652	38,3
ППН-7	Мятлик луговой Вейник наземный	4292	1740	71	529	7815	8,3
ППН-8	Кладония оленья	2671	207	39	97335	3607	226,0
ППН-9	Вейник наземный Мятлик луговой	4343	786	86	6385	18476	10,7
ППН-10	Осока обыкновенная Вейник наземный Мятлик луговой Зверобой продырявленный Крапива двудомная Полынь горькая Тростник обыкновенный	4309	2367	77	777	3316	3,5
ППН-11	Тростник обыкновенный Мятлик луговой Вейник наземный Аир обыкновенный	1665	505	27	4079	4789	6,2
ППН-12	Осока обыкновенная Клевер луговой	1518	934	31	2602	22312	8,6

На основании полученных данных по удельной активности радионуклидов в почве и растительном покрове были рассчитаны коэффициенты перехода (Кп) радионуклидов в растения (таблица 3).

Результаты исследований показали, что коэффициенты перехода ^{137}Cs составляли от 0,1 (ППН-7) до 36,4 (ППН-8). Наиболее сильное накопление радионуклида выявлено у лишайника кладония оленья и осоки пузырчатой. Это связано с биологическими и физиологическими особенностями данных видов растений. Так, например, известно, что эпифитные лишайники в большей степени аккумулируют ^{90}Sr ; а напочвенные – ^{137}Cs [2]. Также известно, что растения семейства осоковых имеют способность в большей степени аккумулировать ^{137}Cs , чем ^{90}Sr .

Таблица 3 – Коэффициенты перехода радионуклидов из почвы в растительный покров на постоянных пунктах наблюдения

Название объекта	Коэффициент перехода, Бк/кг: кБк/м ²		
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	²⁴¹ Am
Залежные земли	0,2	7,8	0,07
Березовый лес	20,5	9,9	0,42
Сосновый лес	7,2	12,3	0,26
Вершина Ясевой горы	0,1	4,5	0,12
Склон Ясевой горы	36,4	17,4	5,74
Высокая пойма	1,5	23,5	0,12
Низкая пойма	0,2	1,4	0,05
Урез воды озера Персток	2,4	9,5	0,23
Высокий берег озера Персток	1,7	23,9	0,27

Значения параметров перехода ⁹⁰Sr практически на всех площадках, за исключением березового леса и склона Ясевой горы, были выше, чем ¹³⁷Cs и составляли 1,4 – 23,9. Эта закономерность может быть обусловлена тем, что в ближней зоне ЧАЭС, загрязненной преимущественно диспергированными частицами ядерного топлива, в настоящее время происходит процесс разрушения топливных частиц. В результате этого процесса радионуклиды, входящие в топливную матрицу, в частности ⁹⁰Sr, переходят в мобильную форму, что способствует интенсификации переноса ⁹⁰Sr в растительность. [3]. В отличие от ⁹⁰Sr значительная доля ¹³⁷Cs оказалась прочнофиксированной почвенным-поглощающим комплексом. Наибольшее поступление ⁹⁰Sr из почвы в растительный покров наблюдалось на ППН-12 (Кп ⁹⁰Sr – 23,9) и ППН-9 (Кп ⁹⁰Sr – 23,5).

Величина коэффициентов перехода ²⁴¹Am варьировала в пределах от 0,05 на низкой пойме до 5,74 на склоне Ясевой горы.

Заключение. Выполненные исследования показали, что аккумуляция радионуклидов различными видами растений имеет свои особенности и существенно различается по величине. Особенности накопления радионуклидов растениями луговых и лесных экосистем обусловлены их видовым составом и эдафическими свойствами их мест произрастания.

Литература

1. Экологические, медико-биологические и социально-экономические последствия катастрофы на ЧАЭС в Беларуси / Под ред. Е.Ф. Конопки. Минск: МЧС, Ин-т радиобиол. акад. наук Беларуси, 1996. – 280 с.
2. Нифонтова, М.Г. Лихено- и бриоиндикация радиоактивного загрязнения среды: автореф. дис. доктор. биол. наук: 03.00.16 / М.Г. Нифонтова; Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – Пермь, 2003 – 30 с.
3. Кашпаров В.А., Зварич С.И., Процак В.П., Журба М.А. Кинетика растворения чернобыльских топливных частиц. Растворение топливных частиц в естественных условиях в почве // Радиохимия, т. 42, № 6, 2000. С. 542-549.

ПАРАМЕТРЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

В.В. Головешкин, С.А. Калиниченко, А.Н. Чудинов

*Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», Хойники, Беларусь,
goloveshkin.victor@yandex.ru*

Введение. Основным реальным источником радиоактивного загрязнения почвенно-растительного комплекса являются глобальные радиоактивные выпадения из атмосферы долгоживущих радионуклидов после ядерных испытаний, а также выбросы техногенных радионуклидов, связанные с авариями на предприятиях ядерного топливного цикла. Основным источником поступления радионуклидов в наземные пищевые цепи является почва. В результате выпадений радионуклиды поступают на земную поверхность, аккумулируются в почве, включаются в биогеохимические циклы миграции и становятся новыми компонентами почвы. Почва является наиболее важным инерционным звеном, и от скорости миграции радионуклидов в почве во многом зависят темпы их распространения по всей цепочке. Отечественными и зарубежными учеными был получен обширный материал по интенсивности миграционных процессов, трансформации форм нахождения радионуклидов в почвах, по переходу их из почв в растения [1-10].

Изучение миграции радионуклидов в почве позволяет оценить время нахождения радионуклидов в корнеобитаемом слое, скорость перемещения радионуклидов в грунтовые воды, изменение мощности экспозиционной дозы.

Целью наших исследований было изучить особенности вертикального перераспределения и скорости миграции радионуклидов в почвах с различным режимом увлажнения основных фитоценозов ближней зоны аварии на ЧАЭС.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись пять типичных фитоценозов Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, характеризующиеся различной степенью увлажнения и уровнем радиоактивного загрязнения. Фитоценоз 1 – березняк: расположен в закрытой ложбине, где в весенний период грунтовые воды поднимаются до глубины 15 см от поверхности почвы. Почва дерново-подзолистая с расположенным под подстилкой оторфованным гумусовым горизонтом (5-15 см). Фитоценоз 2 – черноольшанник: расположен на берегу ручья. Почва торфянисто-подзолисто-глеявая. В черноольшаннике в весенний период уровень грунтовых вод составляет 25 см. Фитоценоз 3 – дубрава: расположена на берегу искусственного затопления, образованного в результате перекрытия Погонянского канала. Грунтовые воды в дубраве поднимаются до глубины 40 см. Почва дерново-подзолистая глеевая. Фитоценоз 4 – залежь: представлена суходольным лугом. Почва дерново-подзолистая, супесчаная, слабоподзоленная, пахотная. Глубина залегания грунтовых вод около 150 см. Фитоценоз 5 – сосняк: почва дерново-подзолистая, песчаная. Глубина залегания грунтовых вод – 250 см..

По условиям увлажнения почвы березняка и черноольшаника – гидроморфные, дубравы – полугидроморфные, залежи и сосняка – автоморфные. Отбор проб почвы проводился по почвенному разрезу послойно: верхний слой 0-10 см с интервалом 1 см, далее – с интервалом 5 см. Образцы подстилки отбирались по схеме 50x50 см. Образцы почвы отбирались на глубину 100 см.

В лабораторных условиях пробы подстилочного слоя и почвы высушивались при температуре 20-25 °С. По окончании пробоподготовки образцы помещались в сосуды «Маринелли» (объем 1 л), или "денты" (0,1 л) для последующего определения ра-

дионуклидов. Для получения количественных данных, характеризующих содержание радионуклидов в подстилочном слое и почве, использовались методики выполнения измерений, включенные в Перечень методик радиационного контроля, действующих на территории Республики Беларусь. Определение содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am в образцах проводилось методами гамма-спектрометрии.

Математическая и статистическая обработка результатов исследования осуществлялась на персональном компьютере с помощью пакетов прикладных программ.

Результаты исследований и их обсуждение. Миграция радионуклидов в почвах покрытых лесом имеет свою специфику, которая обуславливается наличием лесной подстилки. Этот компонент является мощным буфером на пути миграции радионуклидов вглубь почвы. Исследования, которые проводятся в белорусском секторе Чернобыльской АЭС уже на протяжении 28-ти лет, свидетельствуют о хорошей способности подстилки аккумулировать и удерживать радионуклиды. Длительное удержание радионуклидов в лесной подстилке объясняется наличием нескольких, медленно разлагающихся, слоев. Процесс разложения каждого слоя подстилки имеет свою длительность, что обеспечивает длительную (5-10 лет) изоляцию радионуклидов от минеральной части почвы. В зависимости от режима увлажнения почвы, на которых формируются лесные экосистемы, формируется разная толщина лесной подстилки. Исследования показали, что в настоящее время больше всего радионуклидов удерживается подстилкой соснового леса. Здесь сосредоточено до 13,4 % ^{137}Cs , 15,3 % ^{90}Sr и до 8,1 % ^{241}Am . Для лиственных лесов эти данные составляют 5,4-10,9 %, 8,1-11,8 %, 3,6 – 4,6 % соответственно. На залежи, где отсутствует устойчивый подстилающий слой (дернина), вся радиоактивность сосредоточена в верхнем гумусово-подзолистом горизонте.

В верхнем 5-сантиметровом слое минеральной части почвы сосредоточена основная доля ^{241}Am (61,7 – 88,4 %) и ^{137}Cs (45,5 – 76,7 %), а в десятисантиметровом слое содержится от 51,9 до 92,6 % ^{90}Sr . В полугидроморфных и гидроморфных почвах в слое 10-15 см содержится 1,7 – 4,4 % ^{137}Cs , 1,7 – 14,9 % ^{90}Sr , 0,6 – 1,6 % ^{241}Am . Для автоморфных почв эти данные составляют 1,3 – 2,5 %, 2,4 – 3,8 %, 2,0 – 2,5 % соответственно. В слой 15-20 см мигрировало в почвах с избыточным увлажнением до 2,9 % ^{137}Cs , 5,9 % ^{90}Sr , 1,1 % ^{241}Am . Для почв с автоморфным режимом увлажнения эти показатели имели значения 2,3 %, 2,0 и 2,5 % соответственно. В 20-25-сантиметровом слое почв фитоценозов сосредоточено 0,5 – 2,1 % ^{137}Cs , 0,8 – 3,4 % ^{90}Sr и 0,1 – 2,2 % ^{241}Am .

Во всех фитоценозах в слой 30-100 см мигрировало не более 4,4 % ^{137}Cs и 13,3 %, ^{90}Sr . ^{241}Am в этих слоях почвы не обнаружен. В автоморфных почвах (сосняк, залежь) максимум концентрации ^{137}Cs находится на глубинах 4,65 – 4,84 см, а в полугидроморфных и гидроморфных почвах на глубине 5,23 см и 4,17 – 8,17 см соответственно. Большой подвижностью обладает ^{90}Sr , что усиливается в условиях избыточного увлажнения почв. Глубина проникновения 50 % ^{90}Sr в почвах с избыточным увлажнением составляет 6,29 – 13,87 см, тогда как в автоморфных почвах 5,10 – 5,94 см. А вот положение центров запаса ^{241}Am мало зависит от условий увлажнения и находится в пределах 2,70 – 4,75 см.

Максимальная плотность загрязнения радионуклидами минеральной части почв лесных фитоценозов наблюдается в верхнем 0-1 сантиметровом слое: 9,8-34,3 % ^{137}Cs , 12,5-29,5 % ^{90}Sr и 14,5-45,7 % ^{241}Am . В почве залежи наибольшая плотность загрязнения находится в слое 1-2 см: 22,6 % ^{137}Cs , 19,9 % ^{241}Am и 12,4 % ^{90}Sr .

Скорость миграции центров запаса ^{137}Cs составила для автоморфных почв 0,17 – 0,19 см/год, для полугидроморфных – 0,40 см/год и гидроморфных почв 0,42 см/год. Следует отметить, что скорость вертикальной миграции ^{90}Sr в 1,2 – 2,4 раз превышает скорость миграции ^{137}Cs и составляет 0,33 – 0,35 см/год, 0,47 и 0,71 – 1,00 см/год соот-

ветственно. Скорость миграции центров запаса ^{241}Am находится на уровне 0,24 – 0,29 см/год, 0,44 и 0,22 – 0,57 см/год соответственно.

Для оценки влияния режима увлажнения на скорость вертикального распределения радионуклидов в почвах мы использовали расчетный показатель – коэффициент увлажнения. Коэффициент увлажнения – соотношение между количеством выпадающих атмосферных осадков за год или другое время и испаряемостью определенной территории. Коэффициент увлажнения является показателем соотношением тепла и влаги.

Методом корреляционного анализа данных, доказано, что величина скорости вертикальной миграции радионуклидов в почвах зависит от значения коэффициента увлажнения: расчетный коэффициент линейной корреляции Пирсона составлял 0,53 для ^{137}Cs и 0,91 для ^{90}Sr при уровне значимости менее 0,01 и критическом значении корреляции Пирсона 0,62 для ^{137}Cs и ^{90}Sr . Степень корреляционной связи для ^{137}Cs средняя ($r > 0,50-0,69$), а ^{90}Sr сильная ($r > 0,70$).

Заключение. Выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что на вертикальное распределение радионуклидов, как ^{137}Cs , ^{90}Sr , так и ^{241}Am существенное влияние оказывает режим увлажнения почв. В почвах с избыточным увлажнением глубина проникновения радионуклидов более значительна и зависит от степени насыщенности влагой, что усиливает процессы диффузионного и конвективного переноса. Полученные результаты указывают на возможность загрязнения грунтовых вод ^{90}Sr в почвах с высокой плотностью первоначального загрязнения и близким залеганием водоносных горизонтов.

Литература

1. Прохоров, В.М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико-химические механизмы и моделирование./В.М.Прохоров–М.:Энергоатомиздат,1981.– 98 с.
2. Тюрюканова, Э.Б. Экология стронция-90 в почвах. / Э.Б. Тюрюканова – М.: Атомиздат, 1976. – 210 с.
3. Шагалова, Э.Д. Миграция ^{90}Sr и ^{137}Cs в автоморфных дерново-подзолистых почвах Белоруссии/ Э.Д.Шагалова// Почвоведение.–1990.– № 10.–С.114–120.
4. Юдинцева, Е.В. Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. / Е.В. Юдинцева, И.В. Гулякин – М.: Атомиздат, 1968. – 472 с.
5. Юдинцева, Е.В. Формы ^{90}Sr и ^{137}Cs в дерново-подзолистой почве при известковании и применении удобрений / Е.В. Юдинцева, Т.Л. Жигарева, Л.И. Павленко // Почвоведение. – 1983. – № 9. – С. 41-46.
6. Алексахин, Р.М. О снижении содержания ^{137}Cs в продукции растениеводства, подвергшейся загрязнению после аварии на Чернобыльской АЭС. / Р.М. Алексахин С.В. Фесенко, Н.И. Санжарова, С.И. Спиридонов, Г.Т.Воробьев, Н.А. Яковлева // Доклады РАСХН, 1995. – В.. 3. – С. 20-21.
7. Анисимов, В.С. О формах нахождения и вертикальном распределении ^{137}Cs в почвах в зоне аварии на Чернобыльской АЭС / В.С.Анисимов, Н.И.Санжарова, Р.М.Алексахин // Почвоведение. – 1991. – № 9. – С. 31-40.
8. Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины. Научный рук. Ю.А. Израэль. М., ИГКЭ Росгидромета, СПб, Картографическая фабрика. ВСЕГЕИ. 1998.
9. Бобовникова, Ц.И. Химические формы нахождения долгоживущих радионуклидов и их трансформация в почвах зоны аварии на ЧАЭС / Ц.И. Бобовникова [и др.] // Почвоведение. – 1990. – № 10. – С. 20–25.
10. Salbu, B. Speciation of radionuclides -analytical challenges within environmental impact and risk assessments/B. Salbu//Journal of Environmental Radioactivity. – 2007. – № 96(1-3).-P.47-53.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Н.В. Гончарова

Белорусский государственный университет, Международный экологический институт им. А.Д.Сахарова, Минск, Беларусь, goncharova@iseu.by

Введение

Биологические эффекты ионизирующих излучений и действия стресс агентов иной природы имеют определенную идентичность в характере развития ответных реакций, затрагивающих основные метаболические процессы в организме, вместе с тем и модификация постлучевых реакций за счет факторов нерадиационной природы может быть весьма значительной. Так, при выращивании растений в разных по экологическим условиям регионах изменяется их радиочувствительность, что свидетельствует о неадекватных пострадиационных эффектах [1-4].

Количественные оценки действия модификаторов лучевого поражения радиопротекторов и радиосенсибилизаторов получают сопоставлением параметров дозовых кривых для соответствующих мер радиобиологического эффекта: выживаемости, уровня того или иного процесса, например торможения ростовой функции при действии модификатора и в его отсутствие. При этом определяют отношение доз, для которых степень проявления лучевого эффекта одинакова для биологической системы с модификатором и без него. Это отношение показывает степень влияния модификатора на лучевое поражение и называется фактором изменения дозы (ФИД). В самом деле, получаемая оценка означает, во сколько раз нужно изменить дозу облучения чтобы оказываемый ею эффект при наличии модификатора был таким же, как и в его отсутствие. Если модификатор ослабляет лучевую реакцию, то ФИД иногда называют фактором уменьшения дозы (ФУД).

Для радиопротекторов используют и ФИД, и коэффициент защиты (K_z), равный соотношению между значениями, которые принимает параметр лучевого поражения при радиопротекторном воздействии и без него при данной дозе облучения.

Для оценки радиопротекторного и радиосенсибилизирующего действия рассчитывают ФИД_д. В ряде случаев полезную информацию содержит изменение экстраполяционного числа при действии модификатора, в связи с чем рассчитывают ФИД по этому параметру (ФИД_п – изменение ударности мишени) [5].

Материалы и методы

В задачи данного исследования входили изучение влияния облучения на формирование продуктивности овса и оценка модифицирующих эффектов ионов меди (II), цинка (II) и кобальта (III).

Исследования проводили на овсе сорта Буг. Растения выращивали в контролируемых условиях (температура $-22-24$ °С, влажность – 60%, освещенность – 18-20 кЛк) в сосудах (масса почвы – 5 кг) с соблюдением правил проведения вегетационного опыта. Почва – дерново-подзолистая супесчаная, pH 5,3.

В качестве удобрений использовали азотно-фосфорно-калийную смесь из расчета (г/кг почвы): N-0,2, P₂O₅- 0,14 и K₂O-0,14.

Облучение овса проводили в одну из наиболее радиочувствительных фаз развития: первый митоз (24-часовые проростки) на установке Игур в дозе 2 Гр (мощность дозы излучения 3.2 Гр/ч). Семена овса замачивали в растворах CuSO₄ x 5 H₂O; CoSO₄ x 7 H₂O; ZnSO₄ в концентрации 10⁻⁵ и 10⁻³ М/л в чашках Петри и проращивали

24 часа, затем облучали на установке Игур в дозе 2 Гр (мощность дозы излучения 3.2 Гр/ч) и высаживали в горшки с грунтом.

Продуктивность овса оценивали по основным показателям структуры урожая. При сравнении вариантов опыта для статистической обработки результатов брали не менее 10 растений в трехкратной повторности.

Коэффициент модификации эффектов ионизирующего излучения на растения овса рассчитывали как соотношение величин показателя структуры урожая при предпосевной и в отсутствие предпосевной обработки семян ионами металлов.

Результаты исследования и их обсуждение

Действие ионизирующего излучения на вегетирующие растения приводило к угнетению ростовых процессов и снижению продуктивности в 2,25 раза (таблица 1).

Таблица 1 – Структура урожая овса после облучения 24 часовых проростков

Доза облучения, Гр	Показатель структуры урожая			
	высота растений, см	число зерен в метелке, шт	Продуктивность (в расчете на одно растение), г	масса 1000 зерен, г
0 (контроль)	42.5± 2.5	18.2 ±1.6	0.9±0.1	30.7±2.7
2.0	22.2±1.7	8.2 ±1.2	0.4±0.1	15.9±0.9

Снижение продуктивности происходило в первую очередь вследствие угнетения развития и формирования продуктивности главного побега (высота растений, озерненность метелки и качество зерновки), поэтому его вклад в урожай уменьшался, что согласуется с литературными данными о развитии постлучевых реакций у растений [6].

Ионы металлов, примененные для обработки семян овса оказывали различное влияние на ростовые процессы (табл.2). Так применение меди и цинка приводило к увеличению массы зерна, но число зерен при этом оставалось почти не измененным тогда как кобальт оказывал ингибирующее влияние как на озерненность, так и на массу зерна (снижение соответствующих показателей на 44.5-50.5%). Изменение этих показателей нашло отражение в продуктивности овса, выращенного из семян, предварительно обработанных ионами металлов.

В литературе способность ионов металлов модифицировать лучевое поражение растений доказана многочисленными опытами на проростках сельскохозяйственных культур. Механизм модификации авторы объясняют перераспределением состава клеточной популяции меристемы, сопровождающееся изменением соотношения клеток, находящихся в различных по радиочувствительности фазах клеточного деления, а также его торможением [7]. Однако подобные данные о показателях структуры урожая сельскохозяйственных культур отсутствуют.

Таблица 2 – Показатели роста и развития растений овса при предварительной обработке ионами металлов

Вариант опыта	высота растений, см	число зерен в метелке, шт
Контроль	42.5± 2.5	18.2 ±1.6
Медь	49.5 ± 1.3	19.2 ± 0.8
Цинк	46.9± 1.7	19.9± 2.7
Кобальт	27.8± 1.2	17.4± 1.8

Заключение. Установлено, что изученные нами ионы металлов модифицируют эффект действия ионизирующих излучений.

Показано, что коэффициент модификации эффектов облучения с помощью ионов металлов (соотношение величин кратности снижения показателя продуктивности с использования металлов) по указанным показателям структуры урожая овса составлял 1.2; 1.7 и 1.6 соответственно.

Полученные в результате исследований данные свидетельствуют о том, что ионы меди, цинка и кобальта обладают способностью модифицировать развитие постлучевых реакций у овса. Степень влияния на продуктивность облученных растений определяется свойствами металлов. Эффективное применение ионов металлов для защиты растений от действия острого гамма-облучения возможно только на основе экспериментальных данных с учетом концентраций препаратов, сроков и способов их применения для конкретных сортов сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs — threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context // Ed.by Clement C.H. ICRP Publication 118. Amsterdam — New York: Elsevier. — 2012.

2. Using an ecosystem approach to complement protection schemes based on organism-level endpoints./ Bradshaw C., Kapustka L., Barnhouse L., Brown J., Ciffroy P., Forbes V., Geras'kin S., Kautsky U., Brechignac F.// J. Environ. Radioact., – 2014, Vol. 136. P. 98-104.

3. Recommendations from the International Union of Radioecology to improve guidance on radiation protection./ Brechignac F., Bradshaw C., Carroll S., Jaworska A., Kapustka L., Monte L., Oughton D.// Integr. Environ. Assess. Manag., 2011, Vol. 7, P. 411-413.

4. Котеров А.Н. Биологические и медицинские эффекты излучения с низкой ЛПЭ для различных диапазонов доз/А.Н. Котеров, А.А. Вайнсон // Медицинская радиология и радиационная безопасность. — 2015. — Т. 60, № 3. — С. 5-31.

5. Гродзинский Д. М. Формирование радиобиологических реакций растений/ Д.М. Гродзинский., К.Д. Коломиец., И.Н. Гудков//К.: Навук.думка.- 1984. -216 с.

6. Гудков И. Н. Клеточные механизмы пострadiационного восстановления растений/И.Н.Гудков//К.: Навук.думка.- 1985. -223 с.

7. Защита растений от лучевого поражения в условиях хронического и острого гамма – облучения. Эффективность солей цинка, железа и марганца /Гудков И.Н., Гигинейшвили К.А., Гродзинский Д.М. // Радиационная биология. Радиозэкол.- 1990.-Т.30.- Вып.2.- С.166-169.

КОРРЕКЦИЯ РАДИОИНДУЦИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА У ВЗРОСЛЫХ И СТАРЫХ КРЫС

Е.Н. Горбань, Е.В. Подъяченко, Л.И. Малаш

ДУ “Институт геронтологии им. Д.Ф. Чеботарева» Национальной академии медицинских наук Украины, Киев, Украина

Реакцией организма на однократное облучение в сублетальных дозах является активация стресс-реализующих систем, в частности, многофазное повышение уровня глюкокортикоидов, оказывающих гипергликемический эффект [1]. Радиационно-индуцированные изменения уровня глюкозы в крови отражают активацию эндокринной системы и сопряженное с ней повышение во внутренней среде организма продук-

тов гликолиза [2]. Нарушение углеводного обмена, обусловленное действием ионизирующего излучения (ИИ), может приводить к развитию сахарного диабета (СД), о чем свидетельствует рост возникновения СД среди участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС и среди населения, проживающего на загрязненной радионуклидами территории [3].

Возрастные изменения нейрогуморальной регуляции функций эндокринных желез имеют большое значение в механизмах старения [4]. Риск заболевания СД при старении повышается. Поэтому большое значение имеет исследование возрастных изменений углеводного обмена, обусловленных воздействием ИИ, а также поиск и разработка профилактических и лечебных средств, которые бы эффективно уменьшали (или замедляли) радиационно-обусловленные диабетогенные нарушения.

К таким средствам относится интервальная гипоксическая тренировка (ИГТ), являющаяся способом моделирования горных условий в нормобарической равнинной атмосфере, которые повышают общую неспецифическую резистентность организма, облегчают перенос физических нагрузок, воздействия химических агентов и др. [5]. Процесс ИГТ сопровождается совершенствованием реакций, направленных на противодействие тканевой гипоксии [6]. Это используется организмом для сохранения гомеостаза, оптимизации качества регуляции их функций различных систем, в целом приводит к повышению устойчивости не только к действию гипоксии, но и к действию других стресс-факторов, как нерадиационного, так и радиационного генеза. В результате ИГТ усиливается процесс бескислородному образованию энергии путем гликолиза, ферменты которого активируются продуктами распада АТФ [7].

Цель работы. Изучить возможное радиопротекторное влияние ИГТ на углеводный обмен взрослых и старых крыс в относительно отставленный срок после воздействия однократного рентгеновского излучения (R-облучения) в сублетальной дозе.

Материалы и методы. Исследование проведено на 48 взрослых (7-8 мес) и 48 старых (23-24 мес) крысах-самцах популяции Вистар, разделенных на четыре группы: 1 – контрольная; 2 – крысы, однократно облученные с помощью рентген-установки "РУМ-17" в дозе 5 Гр, крыс брали в опыт через 17 суток после облучения; 3–крысы, подвергнутые хронической ИГТ (дыхание воздушной смесью, содержащей 12 об% O₂ в течение 2 ч в день, 5 дней в неделю в течение 2 недель); 4 – ИГТ + R-облучение, животных, подвергали однократному облучению через 1 сутки после окончания хронической ИГТ и брали в опыт через 17 суток после облучения.

Уровень инсулина (Инс) в крови определяли радиоиммунологическим методом [8]. Уровень глюкозы в крови натощак определяли глюкозооксидазным методом с помощью набора «Филисит диагностика» (Украина). Уровень гликозилированного гемоглобина (HbA_{1c}) в крови определяли фотометрическим методом с помощью набора фирмы «Реагент» (Украина). Для оценки состояния чувствительности тканей к Инс был использован расчетный показатель – индекс НОМА [9].

Статистическая обработка результатов осуществлена по методу Стьюдента для непарных измерений.

Результаты исследования и их обсуждение. По данным литературы и наших предыдущих исследований в первые часы после однократного воздействия R-облучения в летальных и сублетальных дозах наблюдается повышение уровня Инс в крови вслед за гиперкортизолемией с последующим снижением уровня Инс на фоне устойчивого повышения в крови уровня глюкокортикоидов [1, 10-12].

Через 17 суток после воздействия R-облучения в дозе 5 Гр уровень Инс в плазме крови взрослых крыс имел тенденцию к снижению (табл.). Не выявлено достоверных изменений уровня Инс в крови старых крыс в указанный срок после облучения.

Через 17 суток после облучения наблюдалось повышение уровня глюкозы в крови взрослых крыс. У старых крыс через 17 дней после R-облучения выявлена лишь тенденция к повышению уровня глюкозы по сравнению с контролем. По данным литературы в патогенезе отдаленных последствий лучевого воздействия имеет значение потеря клеточности островкового аппарата поджелудочной железы, что может вместе с многофазным повышением уровня глюкокортикоидов приводить к гипергликемии [1]. Повышение уровня глюкозы в крови взрослых крыс в указанный срок после облучения в сублетальной дозе также является наиболее вероятным следствием вторичной реакции коры надпочечников на действие ИИ, как результат патологических изменений, происходящих в процессе развития острой лучевой болезни [13].

Повышение уровня глюкозы в крови сопровождается активацией образования различных соединений глюкозы с белками. Уровень HbA1c отражает среднюю концентрацию глюкозы в организме за последние 2-3 мес, поскольку образующийся HbA1c аккумулируется внутри эритроцитов и сохраняется в течение всего срока их жизни [14].

Таблица – Уровни инсулина, глюкозы, гликозилированного гемоглобина в крови и индекса инсулинорезистентности НОМА у взрослых и старых крыс через 17 суток после однократного R-облучения, которому предшествовала интервальная гипоксическая тренировка (ИГТ) в течение 2 недель, (M ± m)

Группы животных	n	Инсулин, мкМО/мл	Глюкоза, ммоль/л	HbA1c, мкмоль/л	Индекс НОМА
Взрослые					
контроль	11	29,7 ± 4,4	4,40 ± 0,12	3,72 ± 0,46	5,80 ± 0,59
облучение	13	20,7 ± 2,8	4,91 ± 0,13 ^α	6,43 ± 1,24	4,52 ± 0,41
ИГТ	12	30,7 ± 5,4	4,04 ± 0,24	3,61 ± 0,37 ^β	5,51 ± 0,40
ИГТ+облучение	12	28,1 ± 5,8	4,47 ± 0,11 ^β	3,10 ± 0,37 ^β	5,58 ± 0,24
Старые					
контроль	11	25,2 ± 2,0	4,44 ± 0,31	6,96 ± 0,29	4,97 ± 0,39
облучение	13	25,5 ± 0,4	5,20 ± 0,22	13,42 ± 2,52 ^α	5,89 ± 0,19 ^α
ИГТ	12	24,8 ± 0,4	5,01 ± 0,20	7,69 ± 1,24 ^β	5,52 ± 0,56
ИГТ+облучение	12	25,2 ± 0,7	4,53 ± 0,11 ^{β,γ}	9,10 ± 2,37	5,07 ± 0,23 ^β

Примечания: α – вероятность различия по сравнению с контролем (P<0,05)

β – вероятность различия по сравнению с группой облучения (P<0,05)

γ – вероятность различия по сравнению с группой ИГТ (P<0,05).

Через 17 суток после облучения уровень HbA1c в крови взрослых крыс имел выраженную тенденцию к повышению, а у старых – был достоверно повышен по сравнению с контролем. Повышение гликозилирования белков является одним из главных патогенетических звеньев в развитии ангиопатий и СД, так как гликозилированные белки теряют свои функциональные способности.

Существуют прямые и косвенные методы оценки воздействия Инс *in vivo*. Косвенные методы (эндогенные) направлены на оценку эффективности действия эндогенного Инс. К ним, например, относится глюкозотолерантный тест. Многими исследователями проводилось изучение расчетных индексов оценки инсулинорезистентности (ИР), которые были бы достаточно просты для применения и требовали бы минимальных затрат. Один из таких показателей был предложен Matthews D.R. et al. – Индекс

НОМА (homeostasis model assessment – модель оценки гомеостаза). Чем выше индекс НОМА, тем ниже чувствительность тканей к Инс [9].

Не выявлено достоверных изменений индекса НОМА у взрослых крыс через 17 суток после облучения. У старых крыс через 17 суток после облучения выявлено повышение индекса НОМА, то есть повышение ИР. Повышение ИР у старых облученных крыс может развиваться в результате радиационно-индуцированного повреждения липидного матрикса плазматических мембран клеток, их проницаемости, активности мембраносвязанных ферментов, синтеза ДНК и аффинности рецепторов к их сигнальным субстратам, в результате активации процессов перекисного окисления липидов и снижения активности ферментов антиоксидантной защиты [15].

Результаты исследования свидетельствуют, что через 17 суток после воздействия ИГТ не наблюдалось существенных изменений показателей углеводного обмена как у взрослых, так и у старых крыс.

Хроническая ИГТ, проведенная перед облучением, предотвращала повышение уровня глюкозы в крови взрослых крыс через 17 суток после воздействия облучения. Поскольку повышение уровня глюкозы в крови взрослых крыс в указанный срок после облучения является, наиболее вероятно, следствием вторичной реакции коры надпочечников на действие ИИ, как результата патологических изменений, происходящих в процессе развития острой лучевой болезни, ее предотвращение с помощью ИГТ можно считать положительным вкладом в повышение радиорезистентности организма [13].

У старых облученных животных, предварительно подвергнутых ИГТ, уровень глюкозы в крови достоверно снижался по сравнению с группой облучения на 13%. Это может быть следствием изменений в системе утилизации кислорода, энергообразования, а именно увеличения анаэробного ресинтеза АТФ за счет активации гликолиза, что произошло в процессе адаптации к ИГТ.

Предотвращение с помощью ИГТ повышения концентрации глюкозы в крови, молекула которой имеет большой энергетический потенциал и легко окисляется, почему сопровождается усилением образования свободных радикалов, должно оказывать благоприятное влияние на динамику течения и последствия радиационно-индуцированной патологии.

Использованная модель ИГТ не приводила к достоверным изменениям уровня HbA_{1c} в крови взрослых облученных крыс по сравнению с контролем и достоверно снижала указанный показатель по сравнению с группой облученных животных почти в 2 раза. ИГТ предотвращала повышение уровня HbA_{1c} в крови старых облученных крыс через 17 суток после воздействия ИИ, что свидетельствует о ее радиопротекторном воздействии.

У взрослых облученных крыс, подвергнутых ИГТ, не обнаружено достоверных изменений индекса ИР НОМА по сравнению с группами контроля, облучения и действия ИГТ. У старых облученных животных ИГТ предотвращала повышение индекса НОМА, то есть развитие ИР, – указанный показатель не отличался от значения в контроле и достоверно снижался по сравнению с группой облученных старых крыс, без предварительного воздействия ИГТ, на 13%. Считается, что индекс НОМА наиболее информативен при оценке ИР при наличии нарушений углеводного обмена [16]. Установленное снижение ИР у облученных крыс, обусловленное предварительной ИГТ, может быть следствием того, что в результате воздействия ИГТ в мембранах усиливается функциональная активность некоторых мембранных белков (транспортёров, рецепторов, в том числе и инсулиновых), а также образуется некоторое дополнительное количество АТФ для обеспечения мембранных функций в рамках самих мембран за счет фосфорилирования АДФ с участием фосфатной группы мембранных фосфопротеинов или фосфолипидов.

Заключение. Через 17 суток после однократного R-облучения в сублетальной дозе выявлено повышение уровня глюкозы у взрослых крыс и уровня гликозилированного гемоглобина в крови и инсулинорезистентности (по индексу НОМА) у старых.

Через 17 суток после воздействия ИГТ не наблюдалось существенных изменений показателей углеводного обмена как у взрослых, так и у старых крыс.

Использованная модель ИГТ в течение 2 недель перед облучением у взрослых крыс: предотвращала повышение уровня глюкозы в крови; у старых животных – предотвращала повышение уровня гликозилированного гемоглобина в крови и индекса НОМА (повышение инсулинорезистентности), снижала уровень глюкозы через 17 суток после облучения.

Литература

1. Коваленко А.Н. Системные радиационные синдромы / А.Н. Коваленко, В.В. Коваленко – Николаев: Изд-во НГТУ им. Петра Могилы, 2008. – 248 с.

2. Колчинская А.З., Дыхание при гипоксии // Физиология дыхания / Отв. ред. И.С. Бреслав, Г.Г. Исаев. СПб.: Наука, 1994. – С. 589-624.

3. Горбачева Е.В. Распространенность сахарного диабета и диабетической ретинопатии среди участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, проживающих в Харьковской области / Е.В. Горбачева // Междунар. эндокринолог. журн. – 2011. – Т.33, №1. – С.15-19.

4. Фролькис В.В. Старение. Нейрогуморальные механизмы. – Киев: Наукова думка, 1981. – 320 с.

5. Гипокситерапия / В.В. Горанчук, Н.И. Сапова, А.О. Иванов – СПб: ООО «ЭЛБИ – СПб», 2003. – 536 с.

6. Александров С.Н. Патогенез сокращения продолжительности жизни облученных биологических объектов // В кн.: Проблемы радиационной геронтологии. / Под ред. С.Н. Александрова. – Москва: Атомиздат, 1978. – С. 193-207.

7. Патологія фізіологія: підручник. Зайко М.В., Биць Ю.В., Бутенко Г.М. та ін.; за ред. М.Н.Зайка і Ю.В.Биця. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Медицина, 2008. – 704 с.

8. Резников А.Г. Методы определения гормонов. – Киев: Наукова думка, 1980. – 400с.

9. Matthews D.R., Hosker J.P., Rudenski A.S. et. al. Homeostasis model assessment: insulin resistance and beta-cell function from fasting plasma glucose and insulin concentration in man // Diabetology. – 1985. – V. 28. – P. 412-419.

10. Горбань Є.М., Топольнікова Н.В. Вплив одноразового ікс-опромінювання на глюкокортикоїдну функцію надниркових залоз дорослих та старих щурів // Укр. радіол. журнал. – 2001. – Т. 9, Вип. 3. – С. 295-297.

11. Горбань Є.М., Осипов М.В., Топольнікова Н.В. Вплив одноразового R-опромінювання на інсулінорезистентність організму щурів різного віку // Одеський мед. журн. – 2008, № 5 (109). – С. 6-10.

12. Горбань Е.Н., Топольникова Н.В., Осипов Н.В. Возрастные особенности β -адренергической регуляции адаптационных процессов организма в условиях воздействия однократного облучения // Проблемы эндокринной патологии. – 2002. – Т.2. – С.58-65.

13. Поспишил М., Ваха И. Индивидуальная радиочувствительность, механизм ее проявления. – М: Энергоатомиздат, 1986. – 122 с.

14. Анализ методов определения уровня гликозилированного гемоглобина в лечебно-профилактических учреждениях города Санкт-Петербурга / А.П.Лихоносова, Н.П.Лихоносов. О.Г. Кузнецова // Междунар. эндокринолог. журн. – 2010. – Т.30, № 6. – С.23 – 32.

15. Михеев А.Н., Гуща Н.И., Малиновский Ю.Ю. Эпигенетические реакции клеток на действие ионизирующей радиации // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1999. – Т. 39, № 5. – С. 548-556.

16. Метаболический синдром. Под редакцией Г.Е. Ройтберг. – Москва: «МЕД-пресс-информ», 2007. – 224 с.

КОРРЕКЦИЯ РАДИОИНДУЦИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА У ВЗРОСЛЫХ И СТАРЫХ КРЫС

Е.Н. Горбань, Н.А. Утко, Е.В. Подъяченко

ДУ «Институт геронтологии им. Д.Ф. Чеботарева» Национальной академии медицинских наук Украины, Киев, Украина

Введение. Метаболические последствия аварии на Чернобыльской АЭС, обнаруженные у ее ликвидаторов и среди населения, проживающего на загрязненной радионуклидами территории, повышают риск возникновения метаболического синдрома (МС) [1, 2]. Ожирение может привести к развитию МС, поскольку жировая ткань играет ключевую роль в регуляции обмена липидов и чувствительности к инсулину клеток различных органов [3]. Ожирение также способствует повышению активности симпатической нервной системы, повышению тонуса кровеносных сосудов, сосудистого сопротивления, стимулирует гипертрофию кардиомиоцитов, стимулирует активность системы «ренин-ангиотензин» и приводит к возникновению гиперинсулинемии, инсулинорезистентности и гиперкортизолемию [4]. В то же время, при снижении массы тела подавляется прогрессирование атеросклероза, нормализуется или, по крайней мере, снижается артериальное давление и улучшаются контрольные показатели сахарного диабета [5].

Риск возникновения проявлений МС при старении повышается [6]. Поэтому большое значение имеет исследование возрастных изменений липидного обмена, обусловленных воздействием ионизирующего излучения (ИИ), а также поиск и разработка профилактических и лечебных средств, которые бы эффективно их уменьшали.

К таким средствам относится интервальная гипоксическая тренировка (ИГТ), являющаяся не чем иным, как способом моделирования горных условий в нормобарической равнинной атмосфере, которые повышают общую неспецифическую резистентность организма, облегчают перенос физических нагрузок, воздействия химических агентов и др. [7]. Процесс ИГТ сопровождается совершенствованием реакций, направленных на противодействие тканевой гипоксии [8]. Это используется организмом для сохранения гомеостаза, улучшения структурно-функциональной организации различных систем, оптимизации качества регуляции их функций, в целом приводит к повышению устойчивости не только к действию гипоксии, но и к действию других стресс-факторов, как нерадиационного, так и радиационного генеза.

Цель исследования. Изучить радиопротекторное влияние ИГТ на липидный обмен у взрослых и старых крыс в относительно отставленные сроки после однократного рентгеновского облучения (R-облучения) в сублетальной дозе.

Материалы и методы. Исследование проведено на 48 взрослых (7-8 мес) и 48 старых (23-24 мес) крысах-самцах популяции Вистар, разделенных на четыре группы: 1 – контрольная; 2 – крысы, однократно облученные с помощью рентген-установки "РУМ-17" в дозе 5 Гр, крыс брали в опыт через 17 суток после облучения; 3 – крысы, подвергнутые хронической ИГТ (дыхание воздушной смесью, содержащей 12 об% O₂ в течение 2 ч в день, 5 дней в неделю в течение 2 недель) 4 – ИГТ + R-облучение, животных, подвергали однократному облучению через 1 сутки после окончания хронической ИГТ и брали в опыт через 17 суток после облучения.

Уровни липопротеинов высокой плотности (ЛПВП), холестерина (ХС) в плазме крови и ткани печени определяли спектрофотометрически с использованием наборов BioSystems (Испания). Статистическая обработка результатов осуществлена по методу Стьюдента для непарных измерений.

Результаты исследований и их обсуждение. Через 17 суток после облучения наблюдалось повышение массы тела взрослых крыс по сравнению с контролем на 12%, что может свидетельствовать о проявлении признаков МС, обусловленных воздействием ИИ.

По данным литературы, при действии малых доз ИИ (1 и 2 Гр) изначально возникавший дефицит массы тела животных, достаточно быстро исчезал и к концу наблюдения масса тела даже превышала соответствующие значения у животных контрольной группы на 7-8% [9].

Через 17 суток после окончания 2-недельной ИГТ наблюдалось снижение массы тела взрослых и старых крыс на 13% и 14%, соответственно, у животных обеих возрастных групп (табл. 1). Но при этом не было выявлено достоверных изменений уровней ЛПВП и ХС в крови и ХС в ткани печени животных обеих возрастных групп, подверженных воздействию ИГТ по сравнению с контролем (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Масса тела и уровень липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) в плазме крови взрослых и старых крыс через 17 суток после однократного R-облучения в дозе 5 Гр, которому предшествовала интервальная гипоксическая тренировка (ИГТ) в течение 2 недель, (M ± m)

Группы животных	n	Масса тела, г		ЛПВП, ммоль/л	
		Взрослые	Старые	Взрослые	Старые
Контроль	11	260,8 ± 9,8	309,2 ± 16,7 ^a	0,70 ± 0,02	0,68 ± 0,03
Облучение	13	293,2 ± 8,8 ^б	289,6 ± 9,3	0,67 ± 0,02	0,83 ± 0,04 ^{a,б}
ИГТ	12	226,3 ± 9,8 ^{б,γ}	265,3 ± 4,1 ^{a,б,γ}	0,73 ± 0,07	0,77 ± 0,04
ИГТ + облучение	12	256,8 ± 10,4 ^{γ,δ}	280,3 ± 13,9	0,61 ± 0,04	0,73 ± 0,03 ^a

Примечания (к табл. 1 и 2):

^a – p < 0,05 по сравнению с группой взрослых животных.

^б – p < 0,05 по сравнению с группой контроля.

^γ – p < 0,05 по сравнению с группой облучения.

^δ – p < 0,05 по сравнению с группой ИГТ.

Таблица 2 – Уровень холестерина в плазме крови и ткани печени взрослых и старых крыс через 17 суток после однократного R-облучения в дозе 5 Гр, которому предшествовала интервальная гипоксическая тренировка (ИГТ) в течение 2 недель, ммоль / л (M ± m)

Группы животных	Кровь		Печень	
	Взрослые	Старые	Взрослые	Старые
Контроль	1,54 ± 0,03	1,51 ± 0,02	1,10 ± 0,04	1,33 ± 0,04 ^a
Облучение	1,58 ± 0,06	1,77 ± 0,08 ^б	1,81 ± 0,13 ^б	1,53 ± 0,05 ^б
ИГТ	1,71 ± 0,16	1,58 ± 0,03 ^γ	1,04 ± 0,02 ^γ	1,44 ± 0,04 ^a
ИГТ + облучение	1,47 ± 0,04	1,52 ± 0,03 ^γ	1,39 ± 0,09 ^{б,γ,δ}	1,34 ± 0,03 ^γ

Проведение ИГТ в течение 2 недель перед однократным R-облучением предотвращало повышение массы тела взрослых крыс: выявлено достоверное снижение массы тела на 12% по сравнению с группой облученных животных без предваритель-

ной ИГТ, что свидетельствует о ее положительном влиянии на липидный обмен в условиях действия ИИ.

Известно, что одним из основных метаболических регуляторов, функцией которого является регуляция аппетита и интенсивности энергетического обмена, является лептин, а также он играет центральную роль в обмене липидов. По данным литературы, по сравнению с жителями равнины горцы имеют пониженный уровень лептина [10]. Возможно, снижение массы тела у облученных животных, подвергнутых предварительному воздействию ИГТ, может быть также обусловленным изменением уровня лептина, что требует дальнейшего изучения.

У старых облученных животных не выявлено достоверных изменений массы тела по сравнению с контролем (табл. 1). Масса тела старых облученных крыс, предварительно подвергнутых воздействию ИГТ, достоверно не изменялась по сравнению с группой облученных крыс без предварительного воздействия ИГТ.

Нарушение обмена липидов и липопротеинов является одним из ключевых компонентов МС [3]. Для исследования радиационных повреждений организма используют такой интегральный биологический показатель, как содержание основного класса липидов в плазме крови – общего ХС. Он, как известно, является одним из основных участников процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и наиболее радиочувствительным компонентом в мембранах клеток-мишеней [11].

По данным литературы, у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС наблюдался повышенный уровень ХС, что связано с некоторыми нарушениями липидного обмена в печени. Это может служить причиной развития большинства болезней, наблюдаемых у лиц данной группы [12]. По данным экспериментальных исследований, у крыс, подвергнутых γ -облучению, обнаружена дозовая зависимость коэффициента скорости радиоиндуцированного повышения уровня общего ХС в плазме крови, которая является линейной для диапазона доз от 0,5 до 6 Гр [11].

По результатам наших исследований, через 17 суток после воздействия ИИ уровень ХС в плазме крови взрослых крыс достоверно не изменялся по сравнению с контролем. У старых облученных крыс выявлено достоверное повышение уровня ХС в плазме крови по сравнению с контролем на 17%.

Через 17 суток после воздействия ИГТ в течение 2 недель уровень ХС в плазме крови взрослых крыс не изменялся по сравнению с контролем, а также группой облучения. У старых облученных крыс ИГТ предотвращала повышению уровня ХС в плазме крови и достоверно снижала величину этого показателя по сравнению с группой облученных животных.

По данным литературы, высокогорная гипоксия изменяет метаболизм в сторону уменьшения энергетических затрат и повышения использования именно липидных субстратов для обеспечения энергетических потребностей. Перестройка энергетического метаболизма, в частности, обмена ХС и его фракций в ЛПВП и ЛПНП может играть благоприятную роль и уменьшать риск развития атеросклероза и гипертонической болезни. Так, было показано, что у горцев уровне ХС и ЛПНП в плазме крови снижены [13]. Вместе с тем, в случае недостаточности приспособительных механизмов к воздействию ИГТ, могут развиваться патологические нарушения, ведущим звеном которых является именно снижение энергообразования [13]. Одним из последствий энергодефицита в условиях воздействия стресс-факторов различного генеза является ослабление синтеза фосфолипидов и повышение уровня липидов в крови в результате расщепления жировой ткани.

Через 17 суток после облучения не выявлено достоверных изменений уровня ЛПВП в плазме крови взрослых крыс. У старых облученных крыс уровень ЛПВП

повышался по сравнению с контрольной группой на 22%, что возможно, является защитной реакцией организма на действие ИИ.

Через 17 суток после воздействия ИГТ в течение 2 недель уровень ЛПВП в плазме крови взрослых крыс достоверно не изменялся по сравнению с контролем и группой облучения. У старых облученных крыс ИГТ предотвращала повышение уровня ЛПВП в крови.

Через 17 суток после облучения уровень ХС в ткани печени взрослых и старых крыс повышался по сравнению с контролем, что является проявлением нарушения липидного обмена и признаком развития МС.

Возможно, причиной повышения уровня ХС в ткани печени облученных крыс является радиационно-индуцированная активация процессов ПОЛ. В результате оксидативного стресса может происходить некроз и апоптоз гепатоцитов с развитием жировой дистрофии в печеночной ткани [14]. Вместе с тем, в контрольных группах уровень ХС в ткани печени старых крыс был достоверно выше по сравнению со взрослыми – на 21%.

Проведение ИГТ в течение 2 недель предотвращало повышение уровня ХС в ткани печени, как у взрослых, так и у старых крыс в указанный срок после облучения. Уровень ХС в ткани печени взрослых облученных животных, которых предварительно подвергали воздействию ИГТ, был достоверно ниже по сравнению с облученных животных без влияния ИГТ. Но если у старых облученных животных ИГТ восстанавливала уровень ХС в ткани печени до уровня в контроле, то у взрослых облученных животных, предварительно подвергнутых ИГТ, указанный показатель был достоверно выше на 26% по сравнению с контролем.

Возможно, снижение уровня ХС в ткани печени облученных животных обеих возрастных групп, предварительно подвергнутых ИГТ, является следствием снижения в результате ИГТ радиационно-индуцированной активации процессов ПОЛ, что предотвращало некроз и апоптоз гепатоцитов с последующим развитием жировой дистрофии в печеночной ткани.

Заключение. Предварительная 2-недельная ИГТ, проведенная перед однократным R-облучением взрослых и старых крыс в дозе 5 Гр, предотвращала повышение массы тела взрослых животных через 17 суток после облучения, повышение уровня ХС в крови и в ткани печени старых животных и снижала уровень ХС в ткани печени взрослых крыс по сравнению с группой облученных животных, которых не подвергали ИГТ, что указывает на положительное влияние ИГТ на липидный обмен у облученных животных обеих возрастных групп.

Литература

1. Статистичний довідник. Показники здоров'я і надання допомоги населенню України, що постраждало внаслідок аварії на ЧАЕС. – К.: МОЗ України, Мінчорнобиль України. – 1999. – 400 с.

2. Ионизирующая радиация и инсулинорезистентность / [Зуева Н.А., Коваленко А.Н., Ефимов А.С., Тронько Н.Д.]. – Киев: Здоров'я, 2004. – 198 с.

3. Метаболический синдром. Под редакцией Г.Е. Ройтберг. – Москва: «МЕД-пресс-информ», 2007. – 224 с.

4. Lehto S., Ronnema T., Pyorala K. et. al. Cardiovascular risk factors clustering with endogenous hyperinsulinemia predict death from coronary heart disease in patients with type II diabetes // *Diabetologia*. – 2000. – V. 43. – P. 148.

5. Bjorntorp P. The regulation of adipose tissue distribution in humans // *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* – 1996. – V. 20. – P. 291-302.

6. Фролькис В.В. Старение. Нейрогуморальные механизмы. – Киев: Наукова думка, 1981. – 320 с.

7. Гипокситерапия / В.В. Горанчук, Н.И. Сапова, А.О. Иванов – СПб: ООО «ЭЛБИ – СПб», 2003. – 536 с.
8. Александров С.Н. Патогенез сокращения продолжительности жизни облученных биологических объектов // В кн.: Проблемы радиационной геронтологии. / Под.ред. С.Н. Александрова.– Москва: Атомиздат, 1978. – С. 193-207.
9. Гартман Е.В., Бобровницкий И.П. Метаболические реакции пострадиационного синдрома и их коррекция внутренним приемом минеральной воды "ДОНАТ Mg". – Москва: Изд-во РНЦ восстановительной медицины и курортологии. МЗ РФ, 2004. – 54 с.
10. Портніченко Г.В., Бічекуєва Ф.Х., Бакуновський О.М. та ін. Зміни обміну ліпідів та експресії регуляторних білків при впливі високогірної гіпоксії // Таврич. медико-біологіч. весник. – 2012. – Т. 15, № 3, ч. 2 – С. 370.
11. Манучехр Ватанха, Серкіз Я. І. Радіаційно-індуковані зміни вмісту ліпідів у плазмі крові після фракціонованого та тривалого опромінення лабораторних щурів γ -квантами ^{60}Co // Ядерна фізика та енергетика. – 2009. – Т. 10, № 3. – С. 310-316.
12. Чоботько Г.М. Перспективні дослідження вмісту загального холестерину крові людей, які зазнали дії іонізуючого опромінення в результаті аварії на Чорнобильській АЕС // Укр. радіол. журн. – 1998. – № 6. – С. 80-83.
13. Сутковой Д.А., Барабой В.А. Неспецифическая резистентность организма и влияние условий высокогорья. – В кн.: Адаптация и резистентность организма в условиях гор: Сб. науч. тр. Киев: Наук. думка, 1986. – С. 96-104.
14. Журавлева Л.В., Власенко А.В. Современные патогенетические аспекты влияния дислипидемии на развитие неалкогольного стеатогепатита у больных сахарным диабетом // Междунар. эндокринолог. журн. – 2010. – Т. 32, № 8. – С. 45-48.

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ТУБЕРКУЛЕЗОМ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ В НАИБОЛЕЕ ПОСТРАДАВШИХ ОТ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ РАЙОНАХ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Л.А. Горбач

*ГУ «Республиканский научно-практический центр «Мать и дитя», Минск, Беларусь,
larisa-horbach@yandex.ru*

Здоровье населения, проживающего в пострадавших от Чернобыльской катастрофы районах, на протяжении уже трех десятилетий, прошедших со дня аварии, является предметом пристального внимания медицинской общественности всего мира. Обусловлено это тем, что связанное с Чернобыльской катастрофой радиоактивное загрязнение окружающей среды и, как следствие этого, облучение людей не имеет аналогов.

Заболеваемость туберкулезом детей и подростков в доаварийный период существенно не отличалась в разных районах Беларуси [1]. Однако после Чернобыльской аварии был отмечен рост заболеваемости туберкулезом детей в районах с радиоактивным загрязнением[1].

Борщевский В.В. с соавторами в своих исследованиях показывает рост заболеваемости туберкулезом среди детского населения Гомельской области в 1993-1994 годах. Так, в 1994 году заболеваемость туберкулезом среди детского населения Гомельской области (11,4 на 100 тысяч человек) в 2,7 раза превысила аналогичный средний показатель по стране (4,2 на 100 тысяч человек)[1].

Полученные Борщевским В.В. с соавторами результаты согласуются с результатами исследований, проведенными Брылиной И.В. с соавторами. Она отмечает значительный рост заболеваемости туберкулезом среди детского населения Гомельской области после Чернобыльской аварии. Согласно ее данным заболеваемость туберкулезом детского населения Гомельской области увеличилась в 3,1 раза с 4,1 на 100 тысяч человек в 1985 году до 12,8 в 1996 году [2].

Согласно исследованиям Соколовского Е.И. и Брылиной И.В. в доаварийный период (1981-1985 гг.) в контролируемых районах Гомельской области ежегодные темпы снижения заболеваемости туберкулезом детского населения составили 7,6 %. В период после Чернобыльской аварии (1986-1990 гг.) прирост заболеваемости туберкулезом детского населения в этих же районах, но уже в условиях радиоактивного загрязнения, составил 7,8 %, а в последующее пятилетие (1991-1995 гг.) прирост заболеваемости увеличился до 45,8%. [3, 4].

В настоящее время уровень заболеваемости туберкулезом населения Республике Беларусь существенно ниже, по сравнению с другими странами бывшего Советского Союза. Однако, согласно Глобальному докладу по туберкулезу Всемирной организации здравоохранения, опубликованному в 2015 году, Республика Беларусь входит в перечень 27 стран с высоким бременем мультирезистентного туберкулеза [5].

В условиях высокой распространенности мультирезистентной туберкулезной инфекции, являющейся наиболее агрессивной, изучение заболеваемости туберкулезом населения в детском и подростковом возрасте является весьма актуальным. Это обусловлено еще и тем, что возникновение туберкулеза у детей является маркером экзогенного распространения инфекции среди всего населения.

Целью настоящего исследования было изучение заболеваемости туберкулезом детей и подростков, проживающих в городской и сельской местности наиболее пострадавших от Чернобыльской катастрофы районах Гомельской области за период 2004-2014 гг.

Материалы и методы. Мы сформировали базу данных обо всех случаях впервые выявленного туберкулеза у детей и подростков Гомельской области за период 2004-2014 годы. Критериями включения в исследование были: туберкулез, верифицированный бактериологическим методом и/или рентгенологическим методом, возраст пациента от 0 до 19 лет. Все дети и подростки были разделены на две группы. Первая группа включала детей и подростков, проживающих в наиболее пострадавших районах, вторая группа – детей и подростков, проживающих в менее пострадавших районах. Перечень наиболее пострадавших районов Гомельской области был составлен в соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь №845 от 9 июня 2000 года [6]. Он включал 13 районов: Брагинский, Буда-Кошелевский, Ветковский, Добрушский, Ельский, Калинковичский, Кормянский, Лельчицкий, Наровлянский, Речицкий, Рогачевский, Хойникский, Чечерский районы. Перечень менее пострадавших районов включал все остальные 8 районов Гомельской области, а также территорию города Гомеля. Помимо вышеуказанного деления детей и подростков сформированной нами базы данных, мы поделили анализируемые группы по критерию проживания в городской или сельской местности. Для этого нами был использован Общегосударственный классификатор Республики Беларусь «Система обозначений объектов административно-территориального деления и населенных пунктов».

Нами были вычислены интенсивные показатели заболеваемости туберкулезом детей и подростков, проживающих в городской и сельской местности наиболее пострадавших и менее пострадавших районов Гомельской области. Для вычисления мы использовали данные Национального статистического комитета Республики Беларусь о

численности городского и сельского населения по возрасту в районах Гомельской области и в Республике Беларусь.

Для исключения влияния разницы в половозрастном составе городского и сельского населения наиболее пострадавших и менее пострадавших районов нами был использован метод прямой стандартизации. Мы провели стандартизацию показателей заболеваемости туберкулезом по возрасту. В качестве стандарта мы использовали численность городского и сельского населения в возрасте от 0 до 19 лет Республики Беларусь за 2004-2014 годы.

Результаты исследования и их обсуждение. Заболеваемость туберкулезом детей и подростков, проживающих в городской местности, за период 2004-2014 годы снизилась. Данная тенденция отмечалась как в наиболее пострадавших районах, так и в менее пострадавших районах. Заболеваемость туберкулезом детей и подростков, проживающих в наиболее пострадавших районах, снизилась с 14,00 до 8,61 на 100 тысяч человек или в 1,63 раза. Заболеваемость туберкулезом детей и подростков, проживающих в менее пострадавших районах, снизилась менее значительно: с 5,04 до 4,01 на 100 тысяч человек или в 1,26 раза. Эти данные представлены на рисунке 1.

Как показало наше исследование, динамика заболеваемости туберкулезом детей и подростков, проживающих в сельской местности, за анализируемый период времени отличалась. В менее пострадавших районах заболеваемость туберкулезом детей и подростков увеличилась с 8,17 до 11,14 на 100 тысяч человек или на 36,35 %. В наиболее пострадавших районах отмечалась обратная тенденция. Заболеваемость туберкулезом в наиболее пострадавших районах снизилась с 14,61 на 100 тысяч человек до 0. По нашему мнению, это, скорее всего, свидетельствовало о недовыявлении туберкулеза среди детского и подросткового населения, проживающего в сельской местности наиболее пострадавших районов. Результаты этого исследования представлены на рисунке 2.



Рисунок 1 – Динамика заболеваемости туберкулезом детей и подростков, проживающих в городской местности наиболее пострадавших и менее пострадавших районов

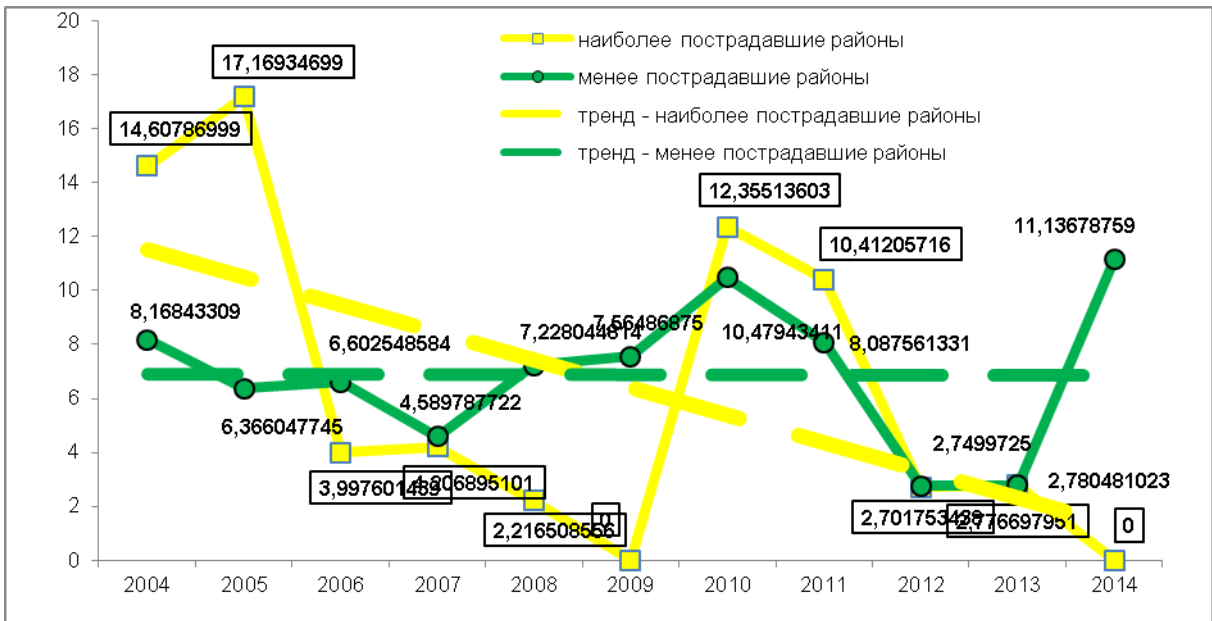


Рисунок 2 – Динамика заболеваемости туберкулезом детей и подростков, проживающих в сельской местности наиболее пострадавших и менее пострадавших районов

В ходе нашего исследования мы высчитали средние показатели заболеваемости туберкулезом среди детского и подросткового населения наиболее пострадавших и менее пострадавших районов за период 2004-2014 годы. Среди населения, проживающего в городской местности наиболее пострадавших районов, средний показатель заболеваемости туберкулезом составил 7,80 на 100 тысяч человек и был в 1,79 раза выше по сравнению с аналогичным показателем населения менее пострадавших районов (4,35 на 100 тысяч человек). Среди населения, проживающего в сельской местности наиболее пострадавших районах показатель заболеваемости туберкулезом детского и подросткового населения составил 6,88 на 100 тысяч человек и приближался к аналогичному показателю среди населения менее пострадавших районов (6,89 на 100 тысяч человек).

Для исключения влияния различий в возрастном составе детского и подросткового населения, проживающего в городской и сельской местности наиболее пострадавших и менее пострадавших районов, мы вычислили стандартизированные показатели заболеваемости туберкулезом за 2004-2014 годы. В качестве стандарта мы использовали численность детского и подросткового населения, проживающего в городской и сельской местности Республики Беларусь за период 2004 – 2014 годы. Эти данные представлены на рисунке 3.

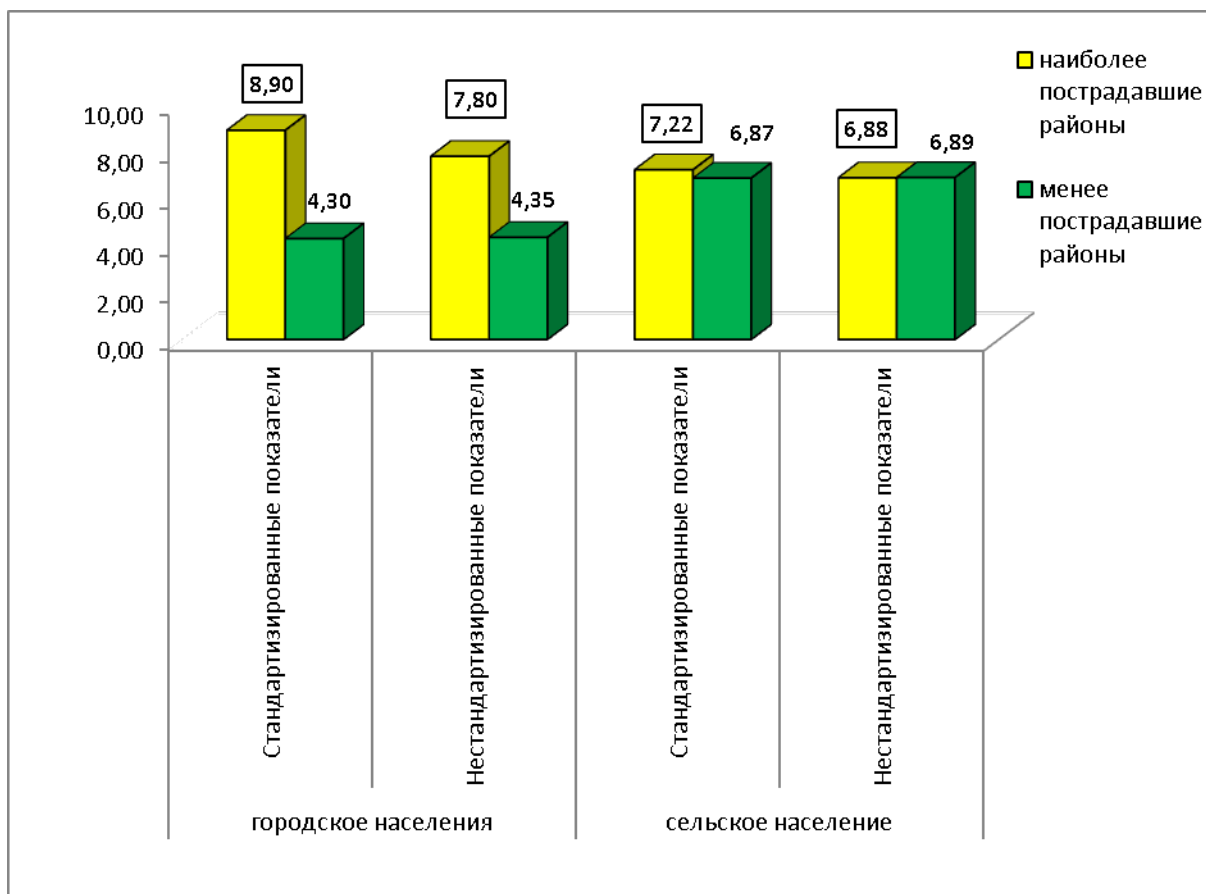


Рисунок 3 – Стандартизированные и нестандартизированные показатели заболеваемости туберкулезом детей и подростков, проживающих в городской и сельской местности наиболее пострадавших и менее пострадавших районов

Как следует из рисунка 3, после проведения стандартизации соотношение анализируемых показателей увеличилось. До стандартизации показатель заболеваемости туберкулезом в городской местности наиболее пострадавших районов был выше в 1,79 раза по сравнению с менее пострадавшими районами (7,80 и 4,35 на 100 тысяч человек), после стандартизации – в 2,07 раза (8,90 и 4,30 на 100 тысяч человек). Это указывало на более высокий уровень заболеваемости туберкулезом среди детского и подросткового населения, проживающего в городской местности пострадавших районов.

До стандартизации показатель заболеваемости туберкулезом в сельской местности наиболее пострадавших районов почти совпадал с аналогичным показателем заболеваемости туберкулезом менее пострадавших районов: 6,88 и 6,89 на 100 тысяч человек. После стандартизации показатель заболеваемости туберкулезом в наиболее пострадавших районах был на 5,09% выше по сравнению с аналогичным показателем заболеваемости туберкулезом менее пострадавших районов (7,22 и 6,87 на 100 тысяч человек). Это свидетельствовало о том, что при одинаковом составе детского и подросткового населения сравниваемых районов, более высокий уровень заболеваемости туберкулезом отмечался бы в сельской местности наиболее пострадавших районов по сравнению с менее пострадавшими.

Заключение. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Заболеваемость туберкулезом детей и подростков, проживающих в городской местности наиболее пострадавших и менее пострадавших районов Гомельской области, снизилась за период 2004-2014 годы.

2. Динамика заболеваемости туберкулезом детей и подростков, проживающих в сельской местности наиболее пострадавших и менее пострадавших районах, за этот же период времени отличалась. Заболеваемость туберкулезом среди детского и подросткового населения менее пострадавших районов увеличилась на 36,35 %, а среди детского и подросткового населения наиболее пострадавших районов снизилась с 14,61 на 100 тысяч человек до 0. Это свидетельствовало о недовыявлении туберкулеза среди детского и подросткового населения, проживающего в сельской местности наиболее пострадавших районов.

3. Средний показатель заболеваемости туберкулезом за 2004-2014 годы среди детского и подросткового населения, проживавшего в городской местности пострадавших районов, был выше в 1,79 раза по сравнению с аналогичным показателем населения менее пострадавших районов.

4. Средний показатель заболеваемости туберкулезом за 2004-2014 годы среди детского и подросткового населения, проживавшего в сельской местности пострадавших районов, почти совпадал с аналогичным показателем заболеваемости туберкулезом менее пострадавших районов: 6,88 и 6,89 на 100 тысяч человек. После стандартизации показатель заболеваемости туберкулезом наиболее пострадавших районов был на 5,09% выше по сравнению с аналогичным показателем заболеваемости туберкулезом менее пострадавших районов (7,22 и 6,87 на 100 тысяч человек).

5. Проведенное нами эпидемиологическое исследование указывало на более высокий уровень заболеваемости туберкулезом среди детского и подросткового населения, проживающего в городской и сельской местности наиболее пострадавших районов.

Литература

1. Борщевский, В.В. Тенденции в заболеваемости туберкулезом после Чернобыльской аварии в Беларуси / В.В.Борщевский, О.М.Калечиц, А.В. Богомазова// Меди-ко-биологические аспекты аварии на ЧАЭС. – № 1. – 1996.- С. 33-37.

2. Брылина, И.В. Особенности туберкулеза органов дыхания у детей Гомельской области после аварии на ЧАЭС / И.В.Брылина, Е.И. Соколовский, Д.Ю. Рузанов// Сборник. Материалы международного научного конгресса "Чернобыль-Вильседе VII". – Гомель. – 1997. – С. 67.

3. Соколовский, Е.И. Туберкулез у детей из загрязненных радионуклидами районов Гомельской области / Е.И.Соколовский, И.В. Брылина// Сборник «Туберкулез в современных социально-экономических и радиоэкологических условиях Беларуси». Гомель, 1997. С. 42-48.

4. Соколовский, Е.И. Туберкулез у детей Гомельской области до и после аварии на Чернобыльской АЭС. / Е.И.Соколовский, И.В. Брылина// Сборник «Чернобыль: Экология и Здоровье». – Гомель. – 1996. – С. 24-28.

5. Global Tuberculosis Report 2015. World Health Organization. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data (WHO/HTM/TB/2014.08). Geneva, Switzerland; 2015. 192 p.

6. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 9 июня 2000 г. № 845 «О некоторых мерах экономической поддержки организаций потребительской кооперации, расположенных в наиболее пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС районах республики». Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 5/3381. Собрание декретов, указов Президента и постановлений Правительства Республики Беларусь, 2000 г., № 16, С. 469.

МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ

А.Н. Гребенюк^{1,2}, А.Е. Антушевич², В.И. Легеза², А.В. Миляев¹

¹ООО «Специальная и медицинская техника», Санкт-Петербург, Россия,
grebenyuk_an@smt.ru

²ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова»,
Санкт-Петербург, Россия

Введение. Предупреждение радиационных поражений людей в ходе ликвидации чрезвычайных ситуаций на радиационно-опасных объектах достигается путем максимального уменьшения времени пребывания в зоне радиоактивного загрязнения (защита временем), удаления от наиболее опасных источников ионизирующих излучений (защита расстоянием), использования защитных свойств местности, сооружений и техники (защита экранированием), а также технических средств индивидуальной защиты (защитных костюмов, респираторов или противогазов) [1].

Важным элементом противорадиационной защиты при чрезвычайных ситуациях на радиационно-опасных объектах является проведение комплекса специальных медицинских мероприятий, направленных на сохранение жизни и здоровья людей в условиях действия поражающих факторов радиационной природы [1, 3]. Эти мероприятия получили наименование «медицинская противорадиационная защита». Медицинская противорадиационная защита является одним из важнейших элементов системы медицинского обеспечения персонала радиационно-опасных объектов, специалистов аварийно-спасательных формирований и населения, а ее цель – предотвращение возникновения детерминированных эффектов и сведение к минимуму стохастических эффектов облучения. В этой связи в развитых странах мира постоянно совершенствуется существующая система медицинской противорадиационной защиты и продолжают работы по созданию новых лекарственных средств, предназначенных для профилактики и ранней терапии радиационных поражений [6, 7].

В последние годы в СНГ произошли существенные изменения как в организации медицинской противорадиационной защиты, так и в номенклатуре противолучевых лекарственных средств [2–5]. В связи с этим, целью настоящего исследования явилось научное обоснование современной структуры медицинской противорадиационной защиты и определение перечня лекарственных средств, которые могут использоваться для профилактики и ранней (экстренной) терапии радиационных поражений.

Материалы и методы. Материалами исследования послужили публикации ВОЗ, МАГАТЭ, документы Министерства здравоохранения, сведения о производстве и регистрации лекарственных препаратов, которые могут использоваться для целей медицинской противорадиационной защиты. Для достижения поставленной цели использовались методы системного анализа и экспертных оценок.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате проведенной работы установлено, что в странах СНГ в настоящее время разработаны, зарегистрированы и выпускаются лекарственные средства, позволяющие осуществлять эффективную профилактику и лечения различных клинических форм радиационных поражений. Эти препараты должны использоваться в дополнение к техническим средствам индивидуальной и коллективной защиты при невозможности избежать сверхнормативного облучения. Решение об их применении должно приниматься на основе комплексной оценки радиационной обстановки, сопутствующих облучению условий деятельности, данных дозиметрического (радиометрического) контроля.

Основу современной структуры медицинской противорадиационной защиты должны составлять лекарственные препараты, которые могут использоваться с профилактическими, лечебно-профилактическими и лечебными целями (таблица).

Таблица – Классификация медицинских средств противорадиационной защиты

Средства профилактики	Радиопротекторы
	Средства стимуляции радиорезистентности организма
Лечебно-профилактические средства	Радиомитигаторы
	Средства профилактики и купирования первичной реакции на облучение
	Средства профилактики поражений от облучения инкорпорированных радионуклидов
Средства терапии	Средства лечения острого костномозгового синдрома острой лучевой болезни
	Средства лечения местных лучевых поражений кожи и слизистых оболочек

Как видно из таблицы, медицинская профилактика негативных последствий внешнего облучения должна обеспечиваться, прежде всего, применением *радиопротекторов* и *средств стимуляции радиорезистентности* организма.

К лечебно-профилактическим средствам относятся *радиомитигаторы*, способные оказывать противолучевой эффект, проявляющийся в снижении повреждающего действия ионизирующих излучений на клетки и ткани «критических систем», при введении в организм как перед, так и в ранние сроки после радиационного воздействия. Сюда же относятся *средства профилактики и купирования первичной реакции на облучение* – наиболее тяжело переносимого синдрома раннего периода острой лучевой болезни. Радиомитигаторы, средства профилактики и купирования первичной реакции на облучение, применяемые в ранние сроки (часы) после радиационного воздействия с целью устранения негативных симптомов поражения и ускорения восстановительных процессов в облученном организме, иногда объединяют в группу «средств раннего (догоспитального) лечения лучевых поражений».

Отдельную группу лечебно-профилактических препаратов составляют *средства профилактики внутреннего облучения и оказания неотложной помощи при попадании радиоактивных веществ внутрь организма*. Среди них выделяют средства, применение которых в ходе проведения санитарной обработки позволяет добиться снижения уровня радиоактивного заражения кожи и слизистых оболочек и этим предотвратить как развитие местных лучевых поражений, так и инкорпорацию радионуклидов.

Третья группа противолучевых средств включает препараты, предназначенные для *стационарного специализированного лечения* основных проявлений острого костномозгового (гематологического) синдрома, а также *средства и методы консервативной терапии местных лучевых поражений кожи и слизистых оболочек*.

Порядок применения медицинских средств противорадиационной защиты определяется условиями облучения и клинической формой радиационного поражения.

При планируемом облучении персонала радиационно-опасных объектов, аварийно-спасательных формирований и населения в дозах до 5 мЗв в год медицинские средства противорадиационной защиты не применяются.

Если есть уверенность, что доза облучения не превысит 1000 мЗв, следует применять поливитаминные препараты, адаптогены и другие средства стимуляции радиорезистентности организма. Оптимальная защита достигается в случае начала использо-

вания этих средств за 5-7 суток до предполагаемого облучения и длительного их приема в течение всего времени пребывания в зоне радиоактивного загрязнения.

Поливитаминовые препараты рекомендуется применять по 1 таблетке 3 раза в сутки после еды в течение 2-4 недель; предпочтение отдается комплексным препаратам, в состав которых входят водо- (витамин С) и жирорастворимые (витамины Е и А) антиоксиданты в терапевтических дозах. Наряду с поливитаминами в течение всего времени пребывания в зоне радиоактивного загрязнения целесообразно применение адаптогенов: курсами в течение 14-21 суток с перерывами на 2-3 недели по 20-30 капель за 30 мин до еды 2 раза в сутки (утром и днем).

При угрозе облучения в дозах от 500 до 1000 мЗв совместно с витаминами и адаптогенами нужно применять рибоксин (по 2 таблетки 2 раза в день в течение всего времени пребывания в зоне повышенного облучения). При возникновении тошноты следует использовать средства профилактики первичной реакции на облучение.

Если планируемые работы в зоне радиоактивного загрязнения сопряжены с опасностью облучения в дозе более 1000 мЗв, то специалисты аварийно-спасательных формирований за 10-15 мин до начала облучения должен принять радиопротектор (препарат Б-190), средство профилактики накопления радиойода в щитовидной железе (калия йодид) и противорвотный препарат (ондансетрон). В случае необходимости дальнейшего пребывания в опасной зоне при прогнозируемых дозах облучения свыше 1000 мЗв необходимо повторно принять радиопротектор и противорвотное средство.

Если предполагаемая доза облучения, время начала и продолжительность радиационного воздействия точно неизвестны, нужно принять средство профилактики первичной реакции на облучение и 1 таблетку калия йодида. После уточнения дозы и сроков облучения при необходимости применяют радиопротекторы (при планируемом остром облучении в дозе свыше 1000 мЗв) или средства стимуляции радиорезистентности (при пролонгированном низкоэнергетическом облучении).

При возникновении после облучения рвоты следует внутримышечно ввести средство купирования первичной реакции (ондансетрон, метоклопрамид и т.п.). В возможно более ранние сроки после облучения проводят инфузии плазмозамещающих препаратов (полиглюкин, гемодез и др.), применяют неселективные энтеросорбенты (активированный уголь, смектит диоктаэдрический и др.). При поглощенной дозе более 1 Гр в первый час после облучения необходимо подкожно ввести средство экстренной терапии – беталейкин в дозе 1 мкг в 2 мл физиологического раствора натрия хлорида.

При чрезвычайных ситуациях на радиационно-опасных объектах персоналу, спасателям и населению, вне зависимости от ожидаемых доз внешнего облучения, следует проводить йодную профилактику: калия йодид по 1 таблетке 1 раз в день в течение 7-10 суток. При угрозе инкорпорации радиоцезия целесообразно назначение ферроцина, трансураниевых элементов – пентацина. Профилактика инкорпорации осуществляется также использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания, запрета употребления непроверенной пищи и воды, удаления радиоактивных веществ с одежды и кожных покровов (путем проведения санитарной обработки).

Заключение. Наибольшая эффективность медицинских средств противорадиационной защиты достигается при их комплексном использовании со средствами индивидуальной защиты и убежищами, а также при условии грамотной организации мероприятий защиты [1, 3, 6]. Современные средства медицинской противорадиационной защиты обеспечивают не только профилактику и лечение самых тяжелых проявлений лучевой патологии, но и резко увеличивают шансы пораженных на сохранение жизни и здоровья в отдаленный период радиационной аварии.

Литература

1. Аветисов, Г.М. Руководство по организации санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий при крупномасштабных радиационных авариях / Г.М. Аветисов, С.Ф. Гончаров, М.И. Грачев и др.; под ред. Л.А. Ильина. – М.: ВЦМК «Защита», 2000. – 244 с.
2. Гребенюк, А.Н. Перспективы использования радиопротекторов для повышения эффективности медицинской противорадиационной защиты Вооруженных сил / А.Н. Гребенюк, В.И. Легеза // Воен.-мед. журн. – 2013. – Т. 334, № 7. – С. 46–50.
3. Гребенюк, А.Н. Принципы, средства и методы медицинской противорадиационной защиты / А.Н. Гребенюк, В.В. Зацепин, А.А. Тимошевский // Медицина катастроф. – 2007. – № 3 (59). – С. 32–35.
4. Гребенюк, А.Н. Радиомитигаторы: перспективы использования в системе медицинской противорадиационной защиты / А.Н. Гребенюк, В.И. Легеза, Р.А. Тарумов // Воен.-мед. журн. – 2014. – Т. 335, № 6. – С. 39–43.
5. Гребенюк, А.Н. Современные возможности медикаментозной профилактики и ранней терапии радиационных поражений / А.Н. Гребенюк, В.В. Зацепин, В.Б. Назаров, Т.Н. Власенко // Воен.-мед. журн. – 2011. – Т. 332, № 2. – С. 13–17.
6. Seed, T.M. Radiation protectants: current status and future prospects / T.M. Seed // Health Physics. – 2005. – Vol. 89, N 5. – P. 531–545.
7. Xiao, M. Pharmacological countermeasures for acute radiation syndrome / M. Xiao, M.H. Whitnall // Current Molecular Pharmacology. – 2009. – № 2. – P. 122–133.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ИНКОРПОРИРОВАННОГО ^{137}Cs НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КЛЕТКЕ – АКТУАЛЬНАЯ ПОСТЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ ПРОБЛЕМА

А.И. Грицук¹, А.Н. Коваль¹, С.М. Сергеенко¹, Н.А. Грицук²,
В.Т. Свергун¹, В.В. Матвеев³

¹УО «Гомельский медицинский институт», Гомель, Беларусь, gritsuk@inbox.ru

²ОАО «Современные медицинские технологии», Санкт-Петербург, Россия

³Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

Ряд актуальных проблем современной радиобиологии сформулирован [1] в виде нескольких тезисов:

1. «Главный вызов, который стоит перед радиобиологией – она должна способствовать пониманию механизмов действия радиации на различных уровнях биологической организации от атомов до молекул, клеток, органов, тканей и целого организма.

2. стало очевидным, что повреждение ДНК не единственный механизм... и что радиационное повреждение нелинейно и не пропорционально дозе.

3. у биологических систем может быть много механизмов защиты от повреждения и систем восстановления к нормальному устойчивому состоянию. Были установлены два типа метаболической защиты»

Основой существования живых систем – постоянное образование и утилизация энергии обеспечивающих в живых организмах антиэнтропийную функцию [2]. Наиболее эффективным механизмом энергетического обмена является аэробный метаболизм реализуемый в матриксе митохондрий (Мх), утилизирующих до 85% кислорода потребляемого клеткой. Этот процесс тонко регулируется на уровне электронтранспорт-

ной цепи и системы окислительного фосфорилирования. Мх выполняют также массу других незаменимых клеточных функций – биосинтезы, внутри- и внеклеточный сигналинг, депо ионов K^+ и Ca^{2+} , регуляция рН- и редокс-гомеостаза, продукция и нейтрализация активных форм кислорода, апоптоз и др. Поэтому, Мх, будучи мишенью радиационных воздействий, являются информативным индикатором радиационных повреждений, которые, как было показано ранее, проявляются в виде митохондриальной дисфункции [4].

Наиболее актуальной радиобиологической проблемой последствий аварии на ЧАЭС нам представляются эффекты, вызванные инкорпорацией радионуклидов [3]. Основным дозообразующим радионуклидом на «постчернобыльском» пространстве считается ^{137}Cs , который будучи аналогом калия, оказывает существенное влияние на многие внутриклеточные в т.ч. митохондриальные процессы в тканях и органах с высоким уровнем метаболизма. Это хорошо согласуется с данными клинико-эпидемиологических исследований о значительном росте заболеваемости населения проживающего на территориях пострадавших от аварии на ЧАЭС [5].

В оценке влияния инкорпорированного ^{137}Cs на животный организм нет единого мнения. Одни авторы [7] отрицают негативное действие сверхмалых доз радиации полученных от инкорпорации ^{137}Cs , в то время как другие [3] признают негативное действие инкорпорированных радионуклидов на организм человека.

Если действие больших доз острого и хронического внешнего облучения на энергетический обмен в разных тканях исследованы достаточно хорошо, то эффекты хронического облучения инкорпорированным радиоцезием в малых и сверхмалых дозах практически не исследованы. В связи с этим, изучение влияния инкорпорированного ^{137}Cs на митохондриальное окисление различных тканей организма приобретают особую значимость и становятся одной из наиболее актуальных научно-практических проблем здравоохранения регионов пострадавших в результате аварии на ЧАЭС [3].

Изучение и понимание медико-биологических эффектов инкорпорированного ^{137}Cs невозможно без четкого представления о его внутриклеточном распределении. Имеющиеся данные о субклеточном распределении стабильного и радиоактивного цезия немногочисленны. Результаты исследований субклеточного распределения цезия при его пероральном и парентеральном поступлении в организм, однозначно свидетельствуют о кардиотропности ионов Cs^+ , а также о том, что при естественном (пероральном) поступлении радионуклида, доля его распределения в Мх, значительно выше, чем при парентеральном [3].

Так, методом нейтронно-активационного анализа было показано, что при естественном поступлении стабильный изотоп цезия $^{133}Cs^+$ имеет тропность к миокарду и мышечной ткани [8]. Согласно этим результатам, при его естественном поступлении, суммарное содержание ^{133}Cs в миокарде человека и животных практически одинаково. Расчет величины градиента концентрации $^{133}Cs^+$ в Мх миокарда человека, проведенный на основе данных о его субклеточном распределении, составил 1,7, что свидетельствует об активном накоплении цезия в Мх, соответствует значению градиента ионов K^+ в матриксе Мх, подтверждая, тем самым, роль Мх как внутриклеточного депо ионов K^+ и идентичность тканевых и внутриклеточных трафиков ионов K^+ и Cs^+ .

Кардиотропность этого радионуклида подтверждается экспериментами с парентеральным введением ^{137}Cs голубям, показавших максимальное накопление его в миокарде, а затем в порядке уменьшения в поджелудочной железе, печени, органах брюшной полости, красных и белых мышцах. Со временем белые мышцы аккумулируют большее количество ^{137}Cs , чем другие ткани, за счет более устойчивого его накопления и медленного выведения [9].

Коэффициент проницаемости для ионов щелочных металлов распределяется следующим образом: $P_{K^+} > P_{Cs}$ и $P_{K^+} > P_{Rb}$, то есть ионам с большими кристаллографическими размерами соответствуют меньшие значения коэффициентов проницаемости. Энергозависимое накопление в Мх ^{137}Cs в присутствии ионофора валиномицина (10^{-8} М) определяется активностью ферментов дыхательной цепи, при этом концентрация накопленного изотопа после достижения состояния равновесия сохраняется постоянной [10].

В серии экспериментальных работ было показано, что митохондриальное окисление различных тканей и органов (миокард, скелетные мышцы, печень, селезенка и др.) очень чувствительно к инкорпорации малых количеств ^{137}Cs [4, 11, 12]. В миокарде это проявляется в виде изменений его интегрального метаболического параметра – скорости потребления кислорода, а также изменения степени сопряжения окислительного фосфорилирования, активности системы креатинфосфокиназы, причем характер и направленность этих изменений зависит от продолжительности поступления радионуклида, уровня накопления и полученной при этом дозы. Указанные метаболические нарушения в миокарде сопряжены с изменением его ультраструктуры в виде массового набухания Мх, просветления их матрикса, исчезновения обширных околядерных популяций Мх, наличия участков очагового распада миофибрилл [11]. Вызванное инкорпорацией ^{137}Cs нарушение энергетического обмена и ультраструктуры миокарда, сопровождаются, как показали данные ЭКГ и эхокардиографии изменением электрической и сократительной активности миокарда, что по характеру изменений соответствует развитию первой стадии метаболической кардиомиопатии [13, 14].

Объяснить высокое поражающее действие инкорпорированного ^{137}Cs на Мх миокарда (поглощенная доза 16-2000 мкГр), сопоставимое с таковым при общем внешнем облучении в дозах 0,5-1 Гр, можно с позиции гипотезы ассоциации-индукции (ГАИ) Герберта Линга, согласно которой внутриклеточный K^+ сорбируется анионными группами АСП и ГЛУ белков [15]. Известно, что в (кардио-)миоцитах приблизительно 60% всех свободных карбоксильных групп белков, способных связывать K^+ , расположены в А-дисках миофибрилл, представленных главным образом сократительными (актин, миозин) и регуляторными белками. В связи с этим, согласно ГАИ Линга, около 60% внутриклеточного K^+ , а при инкорпорации радионуклида и $^{137}Cs^+$ локализуется в сократительном аппарате, а также в белках мембран (ионные каналы, рецепторы и др.), примембранного пространства, в матриксе Мх, инициируя путем их повреждения нарушения энергетического обмена, ультраструктуры, электрической и сократительной активности.

С учетом способности ядерного компартмента депонировать ионы K^+ ($^{137}Cs^+$) и также создавать внутриклеточный градиент их концентрации, предложенный патогенетический механизм повреждения миокарда при инкорпорации $^{137}Cs^+$ должен быть дополнен и усугублен развитием феномена геномной нестабильности кардиомиоцитов. В пользу приведенных данных о компартментализации $^{137}Cs^+$ внутри (кардио-)миоцита свидетельствует длительный период полувыведения ^{137}Cs из организма человека – у детей около 50 дней, у взрослых – до 100 дней.

Литература

1. Feinendegen, L.E. Biological system components / Ludwig E. Feinendegen, Antone L. Brooks, and William F. Morg / Health Phys. – 2011. – V. 100, N. 3. – 269 P.
2. Шредингер, Э. Что такое жизнь? Физический аспект живой клетки. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – 92 с.

3. Грицук, А.И. Цезий, митохондрии и проблемы кардиологии // А.И. Грицук, А.Г. Мрочек, Весці Нацыянальнай Акадэміі навук Беларусі. Серыя медыцынскіх навук. – 2008, №4. – С.63–75.

4. Грицук, А.И. и др. Тканевое дыхание печени крыс при облучении в сверхмалых дозах инкорпорированными радионуклидами цезия / А.И. Грицук, С.М. Сергеевко, А.Н. Коваль // Авиакосм. и экол. мед.. – № 5, 2002. – С. 60-62.

5. Health effects of Chornobyl accident: Monograph in 4 parts / ed. A. Vozianov, V/ Bebeshko, D Vazyuka. – Kyiv: DIA, 2003. – 512 p.

6. Буланова, К.Я. Радиация и Чернобыль: Кардиомиоциты и регуляция их функции / К.Я. Буланова, Л.М. Лобанок, Е.Ф. Конопля. – Минск: Белорус. наука, 2008. – 279 с.

7. Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 160 с.

8. Wester P.O. Concentration of 17 elements in subcellular fractions of beef heart tissue determined by neutron activation analysis // Biochem. Biophys. Acta, 1963. – Vol. 109. – P.268–283.

9. Eapen J, Narayanan N Gross and subcellular distribution of cesium-137 in pigeon (*Columba livia*) tissues with special reference to muscles // J. Radiat. Res. (Tokyo), 1971. – Jun; Vol. 12, No. 2. – P. 51–5.

10. Moore C., Pressman B. C. // Biochem. Biophys. Res. Commun., 1964. – Vol. 15. – P. 562–567.

11. Грицук, А.И. Влияние инкорпорированных радионуклидов цезия на ультраструктуру МХ кардиомиоцитов и процессы тканевого дыхания / А.И. Грицук, А.И. Вернер, Т.Г. Матюхина, В.Т. Свергун и др. // Весці Нацыянальнай Акадэміі навук Беларусі. Серыя медыка-біялагічных навук, 2002. – № 2. – С. 63–70.

12. Грицук, А.И., Влияние витаминов А, Е, С на дыхательную активность лимфоцитов селезенки / А.И. Грицук, А. Кадер, А.Н. Коваль, С.М. Сергеевко, В.Т. Свергун // Вопросы питания. – т. 77, № 1. – 2008. – С. 26-29.

13. Грицук, Н.А. Влияние инкорпорации ^{137}Cs на показатели митохондриального окисления миокарда и динамику эхокардиографических параметров у крыс. / Грицук Н.А., Грицук А.И., Конопля Е.Ф. // Весці НАН Беларусі. Сер. мед. навук. – 2008.– № 2. – С. 105–111.

14. Грицук, Н.А. Митохондриальное окисление в кардиомиоцитах и электрокардиографические показатели у крыс при инкорпорации ^{137}Cs . / Н.А. Грицук // Весці НАН Беларусі. Сер. мед. навук. – 2009.– № 3. – С. 63–67.

15. Линг, Г.Н. Физическая теория живой клетки. Незамеченная революция / Г.Н. Линг. – СПб: Наука. – 376 с.

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ НОРМАТИВНО ЧИСТОЙ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА НА ЗЕМЛЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ В РЕЗУЛЬТАТЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС

Г.З. Гуцева, А.Н. Никитин

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, Беларусь, guzewa@mail.ru

Введение. В результате аварии на Чернобыльской АЭС 23% территории Беларуси подверглось загрязнению радионуклидами. В послеаварийный период основной задачей сельскохозяйственного производства на загрязненных радионуклидами землях

является производство сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов. О путях загрязнения сельскохозяйственных растений и их урожая известно достаточно много. Многочисленными исследованиями: Алексахина Р.М. [1], Агееца В.Ю. [2], Ильязова Р.Г. [3, 4] и др. экспериментально доказано, что радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных растений и их урожая может проходить двумя путями: аэральным, когда выпадающие из воздуха радиоактивные элементы осаждаются на органах растений и корневым, когда в процессе почвенного питания радионуклиды поглощаются из загрязненной почвы корневой системой и поступают в надземные органы растений.

Для снижения концентрации радионуклидов в сельскохозяйственных растениях могут быть использованы различные приемы, которые разделяют на две большие группы. К первой группе относятся общепринятые в агротехнике возделывания культур мероприятия, направленные на увеличение плодородия почвы, повышение урожайности и одновременно способствующие уменьшению перехода радиоактивных веществ из почвы в растения. К этой группе приемов относятся: внесение органических удобрений; внесение минеральных удобрений; известкование почв; использование для питания и защиты растений биологических препаратов; подбор культур и сортов, которые в силу своих биологических особенностей способны в меньших количествах накапливать радионуклиды [2].

Ко второй группе относятся специальные приемы, применение которых наряду с уменьшением поступления радионуклидов в растения иногда приводит к определенному уменьшению урожайности растений и некоторому снижению плодородия почвы: использование природных минералов; применение нетрадиционных химических препаратов промышленного производства [2].

Применение агрохимических приемов в зависимости от типа почвы и биохимических особенностей растений, позволяет значительно снизить содержание радионуклидов в урожае.

Материалы и методы. Исследования проводились путем постановки полевого стационарного опыта на загрязненных пахотных угодьях ОАО «Хальч» Ветковского района Гомельской области. Плотность загрязнения ^{137}Cs территории в регионе исследования составляет 4 Ки/км^2 (149 кБк/м^2).

Метеорологические условия в период проведения опытов в целом были благоприятными для возделывания сельскохозяйственных культур.

Полевой опыт размещался на дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на водно-ледниковых песках почве. Супесь рыхлая (песчаная). Почвы отличаются малой емкостью поглощения и низким содержанием элементов питания.

Почва опытного участка ОАО «Хальч» Ветковского района характеризуется следующими агрохимическими показателями: нейтральной реакцией почвенной среды ($\text{pH} - 6,1$), средним содержанием подвижного калия ($\text{K}_2\text{O} - 178 \text{ мг/кг}$), высоким содержанием подвижного фосфора ($\text{P}_2\text{O}_5 - 340 \text{ мг/кг}$), средним содержанием обменного кальция ($\text{Ca} - 726 \text{ мг/кг}$), средним содержанием обменного магния ($\text{Mg} - 281 \text{ мг/кг}$) и средним содержанием гумуса ($2,14 \%$). Таким образом, учитывая интервалы оптимальных параметров агрохимических показателей дерново-подзолистых супесчаных почв, можно охарактеризовать агрохимические показатели исследуемого участка как оптимальные.

Объектами исследования являлись: ячмень сорта «Бурштын» и салат сорта «Одесский кучерявец».

Схема эксперимента
ячмень, салат

- 1 Контроль
- 2 Хлористый калий (KCl)

- 3 ЕМ-1
- 4 Бокаши
- 5 ЕМ-1 + бокаши
- 6 Хлористый калий (*KCL*) + ЕМ-1

Данная схема предусматривала: 12 вариантов, в трехкратной повторности, 36 делянок. Площадь делянки $2,7 \times 1,9 = 5,1 \text{ м}^2$. Учетная площадь делянки $2,4 \times 1,7 = 4 \text{ м}^2$. Расположение делянок в эксперименте рендомизированное.

Удобрения вносились согласно схемы опыта, под предпосевную культивацию. В качестве минерального удобрения был использован хлористый калий, в качестве органических удобрений – бокаши.

Внесение активированного препарата ЕМ-1 (производства ЕМ Research Organization) проводилось четырехкратно, начиная с посева и с периодичностью три недели, путем опрыскивания почвы, согласно схемы опыта.

Посев производился в оптимальные сроки. Салат, с нормой высева 3-4 г/м², в рядки с междурядьем 25 см. После высева проводили ручную прополку и прорывку салата, из расчета 20 штук растений на м². Уборка культуры осуществлялась на 75 день, вручную, поделяночно.

Посев ячменя проводился вручную, с нормой высева 4 млн.шт./га в рядки с междурядьем 30 см. Прополка культуры проводилась вручную по мере засоренности сорной растительностью. Уборка осуществлялась в фазу полной спелости, вручную.

Для определения размеров накопления ¹³⁷Cs проводился отбор сопряженных почвенных и растительных проб.

Результаты исследования и их обсуждение. Одним из эффективных приемов защитных мероприятий в растениеводстве является применение сбалансированных доз минеральных удобрений, а также замена их биопрепаратами.

В результате многолетних исследований установлено снижение поступления радионуклидов в растительную продукцию при внесении калийных удобрений. Это обусловлено, как антагонизмом цезия и калия в почве, так и позитивным влиянием калия на величину урожая, особенно на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах, бедных этим элементом [1, 2].

По данным наших исследований, внесение в почву калийных удобрений позволило снизить накопление ¹³⁷Cs (таб. 1, 2).

В варианте с внесением *KCL* поступление ¹³⁷Cs в вегетативные органы салата снижается относительно контроля на 13% а в биомассу ячменя – на 29%. На данном варианте снижается также и КП.

Таблица 1 – Поступление ¹³⁷Cs в вегетативные органы салата сорта «Одесский курчявец»

Вариант опыта	Содержание ¹³⁷ Cs в растениях, Бк/кг	Загрязнение почвы ¹³⁷ Cs, кБк/м ²	Коэффициенты перехода (КП), Бк/кг:кБк/м ²
контроль	30,15 ± 2,45	155,92 ± 4,85	0,19 ± 0,03
<i>KCL</i>	25,93 ± 1,02	156,22 ± 5,96	0,17 ± 0,05
ЕМ-1	26,73 ± 1,21	146,82 ± 3,46	0,18 ± 0,02
бокаши	26,87 ± 1,61	149,54 ± 9,01	0,18 ± 0,02
ЕМ-1+бокаши	23,35 ± 1,63	138,89 ± 6,46	0,17 ± 0,01
<i>KCL</i> + ЕМ-1	23,95 ± 1,33	145,80 ± 6,58	0,16 ± 0,02

Таблица 2 – Поступление ^{137}Cs в биомассу ячменя сорта «Бурштын»

Вариант опыта	Содержание ^{137}Cs в биомассе, Бк/кг	Загрязнение почвы ^{137}Cs , кБк/м ²	Коэффициенты перехода (КП), Бк/кг:кБк/м ²
контроль	19,93 ± 2,76	126,16 ± 6,51	0,16 ± 0,01
<i>KCL</i>	14,07 ± 3,87	145,38 ± 3,52	0,10 ± 0,04
ЕМ-1	17,30 ± 1,40	167,32 ± 5,50	0,10 ± 0,04
бокаши	15,87 ± 1,90	169,73 ± 5,16	0,09 ± 0,04
ЕМ-1+бокаши	13,20 ± 2,30	170,64 ± 1,73	0,08 ± 0,02
<i>KCL</i> + ЕМ-1	10,30 ± 1,16	171,06 ± 3,28	0,06 ± 0,02

Внесение биологического препарата ЕМ-1, так же позволяет снизить содержание радионуклидов в продукции. Так, внесение биологического препарата ЕМ-1 в сочетании с бокаши, позволило снизить содержание ^{137}Cs в зеленой массе салата на 23%, а в биомассе ячменя на 34 %, относительно контрольных вариантов. Наибольшее снижение накопления радионуклида наблюдалось и в варианте с внесением ЕМ-1 препарата на фоне калийных удобрений, в вегетативных органах салата содержание ^{137}Cs снизилось на 23 %, а в биомассе ячменя на 48 % , относительно контроля.

Нами были рассчитаны КП (Бк/кг:кБк/м²) для вегетативной массы салата сорта «Одесский кучерявец» и для биомассы ячменя сорта «Бурштын» по всем вариантам опыта. Минимальные коэффициенты перехода, полученные в вариантах опыта «ЕМ-1+бокаши» и «*KCL*+ ЕМ-1» так же свидетельствуют о снижении перехода ^{137}Cs в зеленую массу салата и биомассу ячменя при применении препарата ЕМ-1.

Анализируя видовые различия по накоплению в растениях ^{137}Cs , многочисленными авторами отмечается, что в большинстве случаев накопление радионуклидов в овощных культурах выше, чем в зерновых, в результате экспериментов установлено, что вегетационные органы растений накапливают больше ^{137}Cs , чем семена [2].

По результатам наших исследований (рис. 1), в вегетативных органах салата (стебли, листья, побеги) ^{137}Cs накапливается в большем количестве, чем в биологической массе (солома, зерно) ячменя.

В вегетативных органах салата накапливается в среднем в 1,6 раз больше радионуклида, чем в биомассе ячменя.

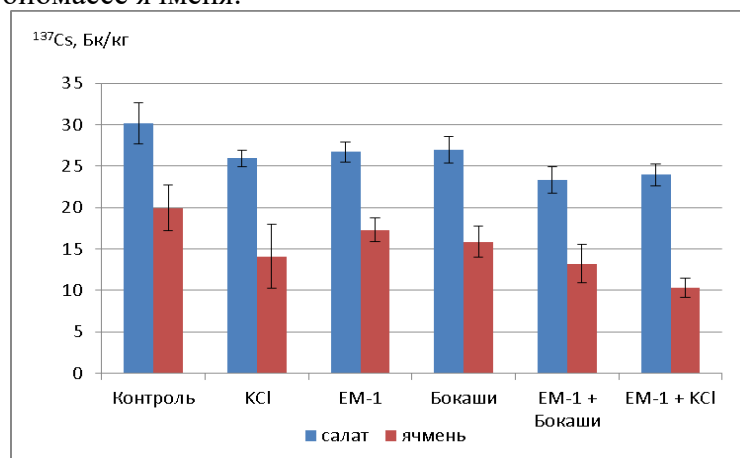


Рисунок 1 – Накопление ^{137}Cs в растениях салата и ячменя

Заключение. Применение биологического препарата ЕМ-1 при возделывании ячменя и салата является эффективным защитным мероприятием на почвах загрязненных ^{137}Cs , поскольку позволяет снизить накопление радионуклида в растениях. Менее всего накопление радионуклида растениями салата и ячменя происходит при применении ЕМ-1 по фону калийных удобрений.

Установлены видовые различия в накоплении ^{137}Cs в растениях. В вегетативных органах салата сорта «Одесский кучерявец» накапливается в среднем в 1,6 раз больше радионуклида, чем в биомассе ячменя сорта «Бурштын».

Литература

1. Алексахин, Р.М. Чернобыльская катастрофа и агропромышленное производство / Р.М. Алексахин // Аграр. наука. – 1996. – № 3. – С. 5-7.
2. Агеец, В.Ю. Система радиоэкологических контрмер в агросфере Беларуси / В.Ю. Агеец ; Ком. по проблемам последствий катастрофы на ЧАЭС, Респ. науч.-исслед. унитар. предприятие "Ин-т радиологии". – Минск, 2001. – 249 с. 3. Шкляр, А.Х. Климатические ресурсы Белоруссии и их использование в сельском хозяйстве / А.Х. Шкляр. – Минск :Вышэйш. шк., 1983. – 432 с.
3. Анненков, Б.Н. Радиационные аварии и ликвидация их последствий в агросфере / Б.Н. Анненков, А.В. Егоров, Р.Г. Ильязов ; под ред. Б.Н. Анненкова. – Казань : Акад. наук РТ, 2004. – 408 с.
4. Экологические и радиобиологические последствия Чернобыльской катастрофы для животноводства и пути их преодоления / под ред. Р.Г. Ильязова. – Казань :Фэн, 2002. – 330 с.

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

А.А. Дворник¹, А.М. Дворник², Р.А. Король¹, С.О. Гапоненко¹

¹ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, Беларусь, aadvor-nik@gmail.com

²УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины», Гомель, Беларусь

Введение. Среди чрезвычайных ситуаций природного характера лесные пожары занимают одно из ведущих мест. Лесные пожары на загрязненных радионуклидами территориях являются особенно опасными, поскольку наряду с основными поражающими факторами лесного пожара имеет место и радиационный фактор. Вопрос профилактики и ликвидации пожаров обострился после аварии на ЧАЭС, в результате которой загрязненными радионуклидами оказались свыше 4 млн. га земель лесного фонда Беларуси, Украины и России.

Научные исследования по данной тематике уже долгое время проводятся в исследовательских организациях СНГ, Европы и США. В публикациях [1, 2, 3], посвященных проблемам лесных пожаров в зонах радиоактивного загрязнения, особое внимание уделяется воздушному переносу загрязняющих веществ и их влиянию на здоровье человека. Указывается на достоверное увеличение объемной активности долгоживущих радионуклидов в воздухе в летние месяцы [4]. В течение пожароопасного сезона вероятность возникновения лесных пожаров многократно возрастает [2]. На рисунке 1 представлена долгосрочная динамика лесных пожаров в Гомельской области (включая территорию ПГРЭЗ).

Таким образом, цель настоящей работы – оценить риски повышения индивидуальных доз облучения у лиц участвующих в пожаротушении и населения при лесных пожарах на радиоактивно загрязненных территориях.

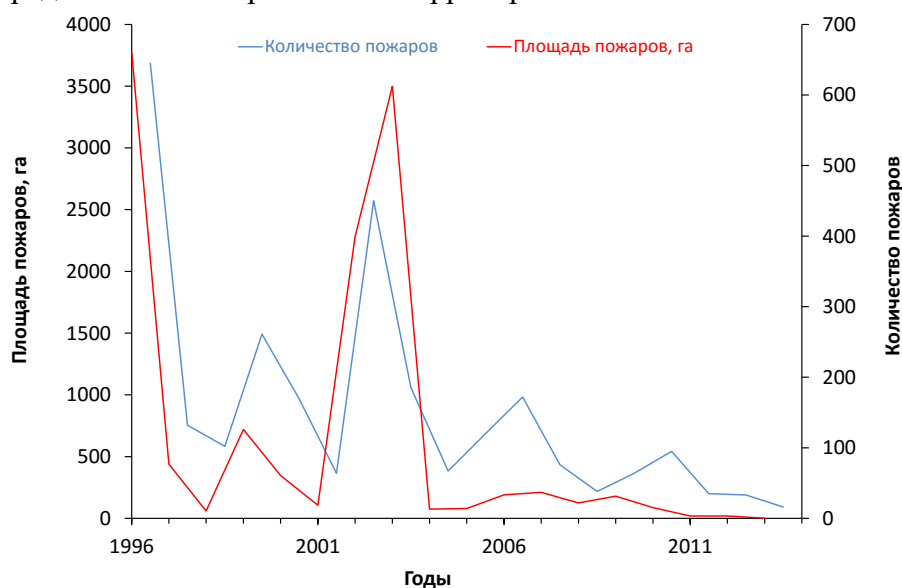


Рисунок 1 – Динамика возгораний в Гомельской области

Материалы и методы. Методика исследования включала отбор образцов лесного напочвенного покрова (лесной подстилки и растительности), проведение огневого эксперимента, спектрометрические измерения, а также статистическую обработку данных и моделирование. Более подробно методология экспериментов описана в публикациях [5, 6].

Эффективная доза внутреннего облучения населения за счет ингаляционного поступления радионуклидов с дымовыми аэрозолями определяется их удельной активностью.

Средние значения индивидуальной годовой эффективной дозы $E_{внутр, инг}$ (мЗв/год) внутреннего облучения взрослых за счет ингаляции радионуклидов следует рассчитывать по формуле:

$$E_{внутр} = V_{дых} \cdot d_{inh-j} \cdot C_i \cdot t_{пож}, \quad (1)$$

где $V_{дых}$ – стандартный объем дыхания для взрослого человека, м³/ч, $V_{дых} = 8,1 \cdot 10^3$ м³/год – стандартный объем дыхания для взрослого человека, $V_{дых} = 0,92$ м³/ч, $V_{дых} = 14,1$ м³/ч, при интенсивной физической нагрузке;

C_i – удельная активность i -го радионуклида в облаке, кБк/кг;

d_{inh-j} – дозовый коэффициент для j -го радионуклида, мЗв/Бк,

$d_{inh-^{137}Cs} = 4,8 \cdot 10^6$, мЗв/Бк;

$t_{пож}$ – время тушения пожара, ч.

Результаты исследования и их обсуждение. Чтобы определить зависимость расчетной дозы облучения от уровня радиоактивного загрязнения территории, необходимо зафиксировать основные показатели пожара и изменять только уровень радиоактивного загрязнения. С данной целью нами были рассчитаны возможные сценарии формирования доз облучения участников пожаротушения.

Исходные данные: насаждение – сосняк мшистый, состав – 10С, возраст – 50 лет, запас горючих материалов – 2,96 кг/м², влажность – 30 %, низовой лесной пожар сильной интенсивности, площадь сгорания – 0,5 га.

Результаты модельных расчетов показаны на рисунке 2. Для сравнения приводятся значения ингаляционных доз облучения участников пожаротушения (Ингал.Доза Пож) и лиц (наблюдателей), не участвующих в пожаротушении (Ингал.Доза Набл) и контрольный уровень ингаляционной дозы облучения персонала. Контрольный уровень ингаляционной дозы облучения для населения рассчитан на основании допустимой среднегодовой объемной активности для населения ($DOA_{\text{нас}}=29,0 \text{ Бк/м}^3$).

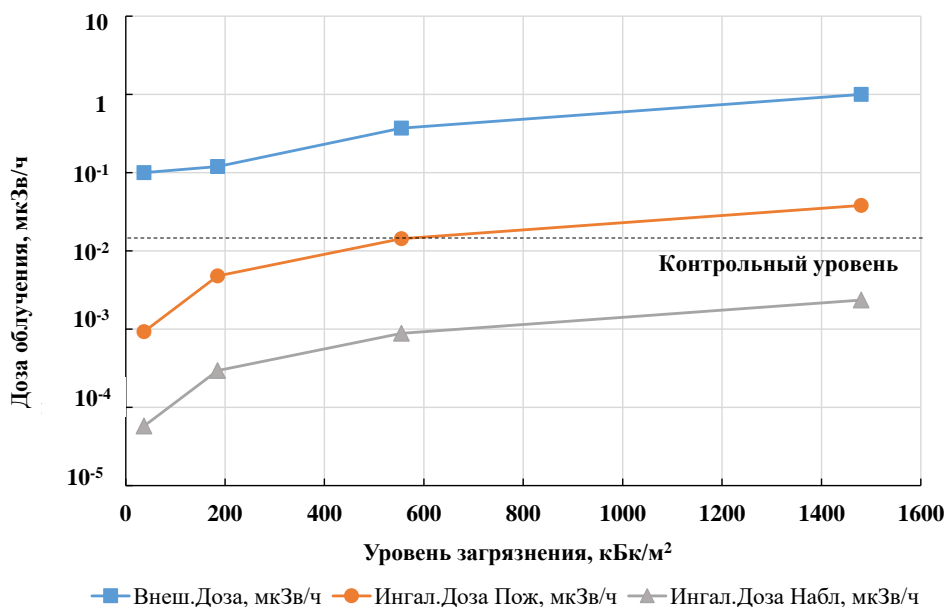


Рисунок 2 – Зависимость доз облучения от уровня радиоактивного загрязнения лесных насаждений

Основной вклад в дозу облучения участников пожаротушения дает внешнее облучение. Вклад ингаляционных доз облучения участников пожаротушения составляет около 4 % от суммарной дозы. Ингаляционная доза облучения лиц, не участвующих в пожаротушении (наблюдатель) составляет менее 1 % от суммарной дозы.

При переносе радиоактивных дымовых аэрозолей объемная активность дымового облака снижается с увеличением расстояния от очага пожара. Ингаляционные дозы облучения населения, проживающего в населенных пунктах, от дымовых аэрозолей резко падают с удалением населенного пункта от очага пожара.

Заключение. Таким образом, на основании модельных расчетов показано, что основной вклад в дозу облучения участников пожаротушения дает внешнее облучение. Вклад ингаляционных доз облучения участников пожаротушения составляет около 4 % от суммарной дозы. Контрольный уровень ингаляционной дозы облучения персонала может быть превышен при тушении пожара в насаждении с уровнем радиоактивного загрязнения 15 Ки/км^2 и выше. Контрольный уровень ингаляционной дозы облучения населения, проживающего в населенных пунктах на расстоянии 7 км и ближе от очага пожара, может быть превышен при возникновении пожара в лесных насаждениях с уровнем загрязнения 10 Ки/км^2 и выше

Литература

1. Hao, W.M., Vegetation fires, smoke emissions, and dispersion of radionuclides in the Chernobyl exclusion zone / W.M. Hao, O.O. Bondarenko, S. Zibtsev, D. Hutton // Developments in Environ. Sci. – 2009. – vol. 8. – pp. 265-275.
2. Zibtsev, S.V. Fires in nuclear forests: silent threats to the environment and human security / S.V. Zibtsev, J.G. Goldammer, S. Robinson, O.A. Borsuk // Unasylyva. – 2015. – vol. 66. – pp. 40-51.

3. Forest fires in the territory contaminated as a result of the Chernobyl accident: radioactive aerosol resuspension and exposure of fire-fighters / V.A. Kashparov [et al.] // J. Environm. Radioactivity. – 2000. – Vol. 51. – pp. 281-298.

4. Kulan, A. Seasonal ^7Be and ^{137}Cs activities in surface air before and after the Chernobyl event / A. Kulan // J. Environm. Radioactivity. – 2006. – vol. 90. – pp. 140-150.

5. Дворник, А.А. Модель формирования вторичного радиоактивного загрязнения прилегающей территории под влиянием лесных пожаров / А.А. Дворник, А.М. Дворник // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2015. – №1. – С. 77-81.

6. Дворник, А.А. Радиационная опасность продуктов сгорания горючих компонентов лесных фитоценозов / А.А. Дворник, А.М. Дворник // Экологический вестник. Науч.-практ. журнал, – 2015. – №1 (31). – С. 31-37.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

А.М. Дворник¹, А.А. Дворник²

¹УО «Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины», Гомель, *amdvor-nik@yandex.ru*

²ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель

Введение. С момента Чернобыльской катастрофы прошло 30 лет. Много это или мало? С точки зрения продолжительности человеческой жизни — это почти половина. С точки зрения последствий ядерной катастрофы — это незначительный период. Лесные экосистемы выполняют свои природные функции и являются естественным барьером на пути потоков радионуклидов и препятствуют их вторичному перераспределению. Леса проявили себя, как аккумулятор радиоактивных выпадений, накопив большое количество радионуклидов. За 30 лет площадь загрязненных лесных земель снизилась с 25 % до 18 %.

Ликвидация последствий радиационных аварий проходит три необходимые стадии:

- сбор и накопление экспериментальных данных, оценка масштабов загрязнения;
- выявление и анализ основных закономерностей поведения радионуклидов в различных природных средах, моделирование и прогнозирование развития радиационной ситуации;
- разработка эффективных мероприятий ликвидации последствий радиоактивного загрязнения.

Для изучения поведения радионуклидов в лесных экосистемах в Институте леса Национальной академии наук Беларуси под руководством академика В.А, Ипатьева создан коллектив ученых, который с первых дней катастрофы начал радиационные исследования. Среди них были доктора наук И.М. Булавик, А.М. Дворник, А.Н. Переволоцкий, кандидаты наук Н.И.Булко, Т.А. Жученко, Н.В. Митин и другие. Позже радиоэкологические исследования были продолжены УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», РНИУП «Институт радиологии» МЧС Республики Беларусь.

Результаты исследования поведения радионуклидов в лесных экосистемах опубликованы в 5 монографиях, сотнях статей в научных журналах, сборниках и конференциях, реализованы в виде методик, практических рекомендаций, патентов.

Исследования выполнялись в рамках крупных научных программ:

- государственной программы преодоления последствий катастрофы на ЧАЭС;
- государственной программы фундаментальных исследований Национальной академии наук Беларуси;
- государственной программы «Леса Беларуси»;
- государственной программы «Радиация и экосистемы», «Природно-ресурсный потенциал»;
- международное сотрудничество Европейская комиссия, Беларусь, Российская Федерация, Украина Project **ЕСР-5**, Project **INCO-COPERNICUS FORECO**;
- международных грантов Великобритании, Японии.

Широко развивалось сотрудничество с зарубежными учеными из США, Канады, Великобритании, Японии, Италии, Германии, Бельгии.

В данной работе мы хотели изложить результаты наших исследований по моделированию поведения радионуклидов в лесных экосистемах.

Материалы и методы. С целью выяснения основных закономерностей поведения радионуклидов в лесных экосистемах и прогнозирования динамики радионуклидов создана базовая математическая модель. Она строится на детальном изучении процессов перераспределения радионуклидов в лесном биогеоценозе, используя экспериментальные данные базовой сети лесных стационаров долговременного наблюдения. Полученные на них экспериментальные данные имеют высокую статистическую обеспеченность, что значительно повышает достоверность научных результатов.

Исследования проводились как в ближней зоне загрязнения, 30 км вокруг ЧАЭС (ПГРЭЗ), так и дальней – территория Ветковского спецлесхоза, 150-200 км от ЧАЭС. Объекты подбирались с учетом плотности радиоактивного загрязнения территории, типа леса и его возрастных особенностей.

В отличие от традиционных методик, требующих сбора экспериментальных данных с целью моделирования в течение нескольких сезонов, нами разработана сбора данных за один сезон. Используя методологический подход, выполнено научное обоснование и создана сеть лесных стационаров долговременного наблюдения и населенных пунктов для проведения комплексной радиоэкологической оценки лесных экосистем после ядерных аварий.

На объектах определены запасы лесных горючих материалов (ЛГМ) и уровень их загрязнения ^{137}Cs для различных типов сосновых лесов. В соответствии разработанному нами методу сделана оценка динамики уровня загрязнения подстилки ^{137}Cs с течением времени. Отбор дымовых аэрозолей и радиоактивных продуктов сгорания (РПС) и аэрозолей проводился при помощи устройства для сжигания твердых материалов и отбора проб для анализа веществ, находящихся в дыме.

Для оценки переноса радионуклидов с дымом лесных пожаров, случившихся на загрязненной радионуклидами территории, нами предложен новый способ такой оценки. Предлагаемый метод основан на проведении комплексного сравнительного анализа контролируемых параметров: данных радиационного контроля атмосферного воздуха, метеорологической обстановки в пунктах наблюдения, лесопожарной обстановки и радиационного контроля лесных экосистем.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате наших исследований на основе общего методологического подхода создана система математических моделей для комплексной радиоэкологической оценки лесных экосистем после крупномасштабных ядерных аварий, включающая в себя радиоэкологию загрязненных лесов и их влияние на население, прогнозирование и оценку эффективности системы защитных мероприятий, направленных на снижение радиационного риска.

Система математических моделей включает в себя следующие модули:

- радиоэкологическую модель *FORESTLIFE* для расчета уровней загрязнения компонентов лесных насаждений;
- дозовую модель *FORESTDOSE_EXTERNAL* для расчета доз внешнего облучения;
- дозовую модель *FORESTDOSE_INTERNAL* для расчета доз внутреннего облучения от потребления даров леса;
- радиационно-пирологическую модель *FORESTFIRE* для расчета пирологических характеристик лесного пожара и параметров переноса дымового облака;
- дозовую модель *FORESTDOSE* для расчета доз внешнего и внутреннего облучения участников пожаротушения и расчета доз внутреннего облучения населения прилегающей территории.

Прогнозная математическая модель *FORESTLIFE* миграции радионуклидов в лесных насаждениях различного типа, позволяющая достоверно рассчитывать динамику поведения радионуклидов на основе ограниченного количества исходных данных: плотность загрязнения, тип леса и его возраст.

В дозовой модели *FORESTDOSE_EXTERNAL* для расчета доз внешнего облучения пространственная конфигурация источника излучения представлена в виде трех функциональных блоков: блок почвы; блок стволовой древесины; блок кроны.

В дозовой модели *FORESTDOSE_INTERNAL* для расчета доз внутреннего облучения от потребления даров леса использует три принципиальных положения:

- структура лесного окружения конкретного населенного пункта;
- средневзвешенную активность пищевой продукции леса,
- потребление пищевой продукции леса населением.

Радиационно-пирологическая модель *FORESTFIRE* для расчета пирологических характеристик лесного пожара и параметров переноса дымового облака является составной и построена по модульному принципу. В модели выделяется три основных подмодели: блок расчета радиоактивного загрязнения ЛГМ (модель *FORESTLIFE*), блок расчета пирологических характеристик лесного пожара и параметров переноса дымового облака (модель *FORESTFIRE*), блок расчета доз внешнего и внутреннего облучения участников пожаротушения и блок расчета доз внутреннего облучения населения прилегающей территории (модель *FORESTDOSE*).

В качестве исходных данных используются радиационно-лесоводственные характеристики сосновых насаждений, а также площадь и интенсивность пожара и скорость ветра.

На основе данной модели разработана информационно-аналитическая система *FORESTLIFE* и ее компьютерное приложение. Она создает научную основу для разработки системы принятия решений по управлению лесным хозяйством на загрязненных радионуклидами территориях, оценки, анализа и прогнозов последствий ядерных аварий, принятия защитных действий и контрмер.

Заключение. В результате систематического изучения лесных экосистем, загрязненных радионуклидами после аварии на Чернобыльской АЭС, разработана система их радиоэкологической оценки после крупномасштабных ядерных аварий, включающая в себя методологию комплексных исследований, методы прогнозирования, математические модели, описывающие динамику уровней загрязнения лесных экосистем и доз облучения населения от леса и лесных продуктов, радиационно-пирологические характеристики лесных пожаров и дозы облучения участников пожаротушения и населения прилегающих территорий.

РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВЫБРОСОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ НА ПРИРОДНУЮ ФЛОРУ

С.А. Дмитриева, Т.О. Давидчик

*ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича
НАН Беларуси», Минск, Беларусь, karyology_dmitrieva@mail.ru*

Введение. К настоящему времени накоплен большой объем экспериментальных данных, свидетельствующих о том, что ионизирующие излучения способны вызывать разнообразные, как правило, неблагоприятные изменения на всех уровнях организации живой материи – от молекулярного до биоценотического. В связи с Чернобыльской катастрофой накоплен огромный пласт научной информации о влиянии радиоактивных выбросов на биоту. Большое внимание уделено изучению ее растительного компонента, который выполняет важную роль в обеспечении стабильности и пластичности природных экосистем. В данном кратком сообщении мы представляем основные результаты проведенного нами мониторинга эффектов пролонгированного воздействия радиоактивных выбросов на природную флору.

Материалы и методы. В качестве модельных объектов для изучения цитогенетических эффектов воздействия выбросов Чернобыльской катастрофы послужили 32 вида растений природной флоры. Популяционные сборы семян для цитогенетических исследований осуществлялись на постоянных пробных площадях Института экспериментальной ботаники НАНБ и на прилегающих к ним территориях. Цитогенетический анализ корневых меристем осуществлялся с помощью ана-телофазного метода. Наряду с абберациями хромосом (мостами и фрагментами) учитывали цитогенетические нарушения, не связанные с повреждением хромосом: отстаивание хромосом при расхождении к полюсам делящихся клеток, их слипание и выброс за пределы веретена деления, а также полиплоидию и многополюсность клеток. Контролем служили семена, собранные на территории Березинского биосферного заповедника, в основном в зоне абсолютной заповедности. Для выявления и оценки радиоадаптации и связанных с ней отдаленных генетических последствий использовался тест «дополнительное (провокационное) облучение семян», которое проводилось на гамма-установке в широком диапазоне доз – от 10 до 100 Гр с интервалом 5,10 Гр.

Результаты исследования и обсуждения. Цитогенетический мониторинг природных популяций растений в связи с Чернобыльской катастрофой проводился нами с 1986 по 1990 гг. Установлено, что при уровне гамма-фона от 0,2 до 28,8 мР/ч или суммарной активности почвы от 7,9 до 3180 Ки/км² (по состоянию на июль 1986, 1987 гг.) наблюдается повышенная частота аббераций хромосом. Характерная особенность мутагенных эффектов – множественные поражения (главным образом массовая фрагментация) хромосом, что обусловлено воздействием плотно ионизирующих радионуклидов [1, 2].

Четко выраженная зависимость между мощностью дозы и вызываемыми эффектами отсутствует. Положительная корреляция наблюдалась лишь у некоторых видов в отдельные годы. Однако в семенах с наиболее загрязненных участков чаще всего отмечалась и более высокая частота абберантных клеток, что свидетельствует о наличии тенденции к прямой связи. Причины отсутствия дозовой зависимости разнообразны. Среди них важнейшим являются воздействие экологических факторов, в том числе и разнообразных загрязнителей окружающей среды, способных существенно модифицировать мутационные процессы, специфика радиоактивного загрязнения, представленного комплексом радионуклидов со сложным спектром излучения и различной биоло-

гической эффективностью, которые к тому же неравномерно распределены по поверхности почвы, различное отношение внешнего и внутреннего (за счет инкорпорированных радионуклидов) облучения. Последнее было эффективно, чем внешнее (в эквивалентных дозах). Инкорпорирующая же способность растений видоспецифична и в значительной мере зависит от свойств почвы.

Динамика мутационных изменений, несмотря на некоторые специфические для каждого вида особенности, имеет ряд общих черт. В первый послеаварийный вегетационный период различия между опытными и контрольными популяциями в целом были не велики и статистически значимы лишь для некоторых видов. Во второй вегетационный период наблюдалось резкое возрастание уровня мутаций, затем происходил постепенный его спад и к 1990 г. различия между опытом и контролем у большинства видов становились статистически недостоверными. В дальнейшем отчетливо проявляется волновая кинетика мутагенеза, т.е. частота aberrаций хромосом в отдельно взятых популяциях то возрастает, то снижается до уровня спонтанного мутирования, а иногда и ниже.

Исследуемые виды не одинаково чувствительны к радиационному фактору. По нашему мнению, на уровень хромосомных мутаций существенное влияние оказывает экологические особенности вида, в частности его экологическая амплитуда. Так, у видов с более узкой экологией (*Mucelis muralis*, *Hypochoeris radiata*) частота спонтанных мутаций составляет около 0,5 %, тогда как у широко распространенных растений (*Leontodon autumnalis*, *Achillea millefolium* и др.), приспособленных к произрастанию в различных местообитаниях, этот показатель значительно выше и составляет 3-4 %. На воздействие повышенного радиационного фона и те, и другие виды реагировали примерно одинаковым увеличением частоты aberrаций хромосом. Однако у видов с широкой экологической амплитудой уровень интродуцированных хромосомных мутаций быстрее достигает спонтанного уровня мутирования, чем у видов с узкой экологической амплитудой. Вероятно, это происходит за счет более совершенных адаптационных и восстановительных механизмов, присущих широко распространенным видам. Такие виды обычно характеризуются высокой численностью особей в популяциях, широким возрастным спектром, повышенной гетерозиготностью и изменчивостью по многим признакам. В экстремальных ситуациях у них открываются широкие возможности для действия отбора, элиминирующего чувствительные формы и не наносящего большого ущерба популяциям.

У растений, подвергшихся хроническому облучению, отмечены разнообразные морфологические (радиоморфозы) и физиологические отклонения. К их числу относятся искривления, фасциации и опухолевидные разрастания побегов, асимметрия и курчавость листьев, спиралевидное закручивание корней, усиление роста боковых побегов, кустистость, карликовость, гигантизм, повышенная увядаемость в жаркую погоду, пигментные нарушения (хлороз побегов), преждевременное опадение листьев и др. Частота, спектр, степень пораженности и динамика фенотипических аномалий определяются дозовыми нагрузками и биологическими особенностями вида. При более высоких дозовых нагрузках возрастает степень отклонений и расширяется их спектр. Чаще всего встречаются отклонения, обусловленные ослаблением или снятием апикального доминирования стебля, что связано с повышенной радиочувствительностью интенсивно пролиферирующих меристемных тканей. Радиоморфозы, преимущественно наблюдаются у многолетних растений, что, по-видимому, обусловлено возрастанием дозы, накапливаемой органами возобновления, а также более низкой интенсивностью отбора в сравнении с однолетниками.

Глубокие фенотипические аномалии сочетались обычно с пониженной жизнеспособностью особей и уменьшением их численности в популяциях. Однако количество таких

чувствительных видов невелико. Значительно сокращают свою численность или исчезают из природных сообществ виды растений, которые находятся в Беларуси на пределе своего естественного распространения. Однако исчезающие виды не являются доминантами или содоминантами природных растительных сообществ, а занимают в них подчиненное положение. Поэтому их элиминация, скорее всего, существенно не отразится на функционировании природных сообществ.

Для более обоснованных заключений об ответных реакциях растений на действие радиоактивных выбросов нами проведено дополнительное острое облучение семян растений, которое представляет собой тест на выявление радиоадаптации и потенциальных генетических изменений. В настоящее время известно, что адаптация как общебиологическое явление, зарегистрирована по отношению к воздействию разнообразных антропогенных факторов [3-5].

Предварительные исследования на разных объектах показали, что адаптация к радиоактивным выбросам по состоянию на 14-летний период после катастрофы произошла, что, возможно, обусловлено непродолжительностью периода хронического облучения. Установлено, что в условиях хронического облучения радиоадаптация проявляется в расчленении исходных популяций на радиоустойчивую и радиочувствительную фракции. По нашему мнению, волновая кинетика мутаций, наблюдаемая спустя 5-6 лет после Чернобыльской катастрофы, обусловлена, скорее всего, наличием и поведением радиочувствительной фракции. При оптимальных или близких к ним экологических условиях радиочувствительная фракция сохраняется и обуславливает повышенную частоту мутаций, определяемую в популяционных сборах семян. При неблагоприятных природных условиях она элиминируется, что проявляется в снижении частоты индуцированных хромосомных aberrаций до уровня спонтанного мутирования.

Радиоактивное загрязнение природных экосистем республики, которое в связи с его высокой интенсивностью можно квалифицировать как новый экологический фактор, способно вызывать микроэволюционные структурные изменения кариотипов, что проявляется в гетероморфизме отдельных пар хромосом и анеуплоидии.

Заключение. Полученные нами результаты свидетельствуют о том, что степень генетической опасности неодинакова для разных представителей природной флоры. Радиочувствительность видов определяется сложным комплексом эволюционно сложившихся механизмов, составляющих специфику каждого вида. При оценке радиорезистентности по тесту «aberrации хромосом» основную роль в определении ответных реакций играют экологические особенности вида, в частности, его экологическая амплитуда. У видов, приспособленных к существованию в широком диапазоне экотопов и обладающих высокими адаптационными способностями, быстрее достигается функциональное соответствие популяций измененным условиям среды, а индуцированный уровень мутаций скорее приближается к контрольному, чем у видов с узкой экологией.

В целом уровни загрязнения на большей части территории 30-километровой зоны и за ее пределами не представляют реальной опасности для большинства представителей природной флоры данного региона. Угроза исчезновения существует, вероятно, лишь для отдельных, наиболее радиочувствительных видов. Однако количество таких видов невелико и в фитоценозах они занимают подчиненное положение, поэтому их элиминация едва ли существенно отразится на нормальном функционировании природных сообществ.

Литература

1. Дмитриева С.А. Кариология флоры Беларуси. Дисс. на сиск. уч. степени докт. биол. наук. Минск, 2000 – 485 с.

2. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси (в связи с аварией на Чернобыльской АЭС) / В.И. Парфенов, Б.И. Якушев, Б.С. Мартинович и др. Минск: Наука и техника, 1995. – 582 с.

3. Соколов М.С. Исследования по пестицидам в национальной части международной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» // Изв. Акад. наук СССР. Сер. биол. – 1977. – № 6. – С. 942-946

4. Grant W.F. Pesticides subtle promoters of evolution // Symp. Biol. Hung. – 1972. – № 12. – P. 43–50.

5. Irving G.W. Agricultural pest control and the environment // Science. – 1970. – Vol. 168. – P. 1419.

УСТОЙЧИВОСТЬ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ К ДЕЙСТВИЮ ТЯЖЕЛЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ И В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА

О.В. Ермакова, О.В. Раскоша

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия, ermakova@ib.komisc.ru

Введение. Изменение среды обитания определяет темпы и формы генетических преобразований организма. В условиях повышенного радиационного фона жизнедеятельность организмов переходит на новый функциональный уровень, что сопровождается как изменением некоторых относительно стабильных показателей гомеостаза, так и его чувствительность к действию других факторов среды обитания – реактивности. Каждому индивидууму и виду присущ определенный тип реактивности, как проявление общей биологической индивидуальной изменчивости, в основе которой лежат процессы мутагенеза и трансгенерационной передачи индуцированных повреждений потомству. На территориях с техногенно- и природно-повышенным радиационным фоном в максимальной степени формирование и реализация этих процессов имеет место при сочетанном действии повышенного радиационного фона и дополнительного действия факторов различной нерадиационной природы.

Оценка последствий хронического радиационного воздействия на популяции млекопитающих проведена на полевке-экономке (*Microtus oeconomus* Pall.) – фоновом обитателе исследуемых территорий, с помощью комплекса морфологических и генетических показателей, характеризующих ответную реакцию организма на разных уровнях биологической организации. Более ранними исследованиями показано, что у полевок-экономок, обитающих на территориях с повышенным содержанием радионуклидов и подвергшихся длительному действию малых доз внутреннего и внешнего облучения, изменяются морфологические показатели активности щитовидной железы (ЩЖ), наблюдается достоверное повышение частоты клеток с микроядрами в ЩЖ [1, 2], а также микронуклеированных клеток костного мозга [3]. При исследовании генотоксических эффектов в популяциях грызунов, обитающих в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа, другими авторами обнаружены подобные нарушения: выявлено повышение уровня хромосомных aberrаций в клетках костного мозга лесных (*Apodemus uralensis* Pall.) и полевых мышей (*Apodemus agrarius* Pall.), а также рыжих полевок (*Clethrionomys rutilus* Pall.) по сравнению с животными, отловленными на территориях с фоновым уровнем радиоактивности [4].

Важным свойством адаптивных механизмов являются резервные возможности органов и тканей, от которых зависит интенсивность ответной реакции и скорость вос-

становительных процессов и, следовательно, готовность организма адекватно отреагировать на новое непредвиденное воздействие. Есть предположение, что повышенный радиационный фон может модифицировать клеточные и тканевые процессы, приводить к нестабильности генома, изменению метаболических процессов, проявляющихся на всех уровнях структурной организации, что в конечном итоге ведет к изменению чувствительности организма к действию дополнительных факторов. Для выявления устойчивости ЩЖ животных после действия ионизирующей радиации в малых дозах был проведен эксперимент на полевках-экономках, отловленных на территориях с различным уровнем радиоактивного загрязнения, с дополнительными нагрузками: нерадиационные воздействия (холод и уретан) и острое облучение (3 Гр).

Материал и методы. Отлов полевков-экономок проводили на участках с нормальным и повышенным содержанием естественных радионуклидов (зона средней тайги, Ухтинский район Республики Коми). Средняя мощность дозы внешнего гамма-излучения на участке отлова составляла 17,3 пКл/кг·с и варьировала в пределах от 3,6 до 144 пКл/кг·с (50-2000 мкР/ч), тогда как в контроле ее среднее значение было 0,90 пКл/кг·с. Суммарная поглощенная доза облучения для группы животных, обитающих на радиевом участке, изменялась от 1.2 до 24.0 сЗв/мес. *В первом эксперименте* в качестве дополнительного воздействия использовали холод. Для этого отловленных животных разделили на две группы: первую содержали при комнатной температуре (+20°C), вторая в течение двух часов находилась в морозильной камере при температуре -5°C. Время пребывания в неволе от момента отлова до начала холодового воздействия не превышало одних суток. *Во втором эксперименте* в качестве дополнительного воздействия использовали уретан – один из широко исследованных канцерогенов-промоторов. Половозрелым полевкам-экономкам с чистых и загрязненных радионуклидами территорий внутрибрюшинно вводили 10 %-ный раствор уретана (1 мг/г массы тела). Другой группе животных вводили эквивалентное массе тела количество 0.9 % раствор NaCl. Декапитацию проводили через двое суток после воздействий. В каждую группу входили полевки с контрольного и радиевого участков. *В третьем эксперименте* половозрелых животных, привезенных с контрольного и радиевого участков через 3 мес. после содержания в виварии подвергали дополнительному острому облучению на установке «Исследователь», мощность дозы – 1Гр/мин.

Результаты и их обсуждение. Морфометрический анализ ткани ЩЖ показал, что реакция фолликулярного эпителия на холодовую нагрузку у животных, отловленных на участках с повышенной радиоактивностью, и чистых территориях оказалась неодинаковой. После двухчасового пребывания при низкой температуре в ЩЖ животных контрольного участка появились признаки резорбции коллоида, наблюдалось увеличение объемной плотности тиреоидного эпителия (на 9%), что свидетельствовало об активизации функции ЩЖ. Остальные компоненты ЩЖ (содержание коллоида, состояние стромы и сосудов, высота фолликулярного эпителия) не показали статистически значимых различий от контроля. Морфологические изменения, обнаруженные в ЩЖ полевков контрольного участка, судя по имеющимся сведениям [5], было не что иное, как обычно наблюдаемая реакция, проявляющаяся в активизации тиреоидной функции при кратковременном холодовом воздействии у лабораторных животных. Ответная же реакция ЩЖ полевков, длительное время обитающих на территориях с повышенной радиоактивностью, отличалась от таковой контрольных животных. Сравнение структурных компонентов ЩЖ животных радиевого участка, с холодовой нагрузкой и без нее, не привела к отличиям ни по одному из изученных параметров. На гистологических препаратах ЩЖ наблюдались крупные фолликулы без признаков резорбции коллоида, кровеносные сосуды были несколько расширены.

Анализ результатов, полученных нами при оценке спонтанных и химически индуцированных (уретаном) изменений у мышевидных грызунов, обитавших в условиях нормального радиационного фона, свидетельствует об увеличении количества клеток с микроядрами в 4.7 раза после введения уретана. У животных радиевого участка выявленные эффекты взаимодействия с уретаном отличались от результатов, полученных при аналогичном воздействии в контроле. При воздействии дополнительного острого облучения в дозе 3 Гр более радиорезистентными также оказались животные с радиевого участка. Таким образом, хроническое облучение в условиях среды обитания способствует изменению чувствительности животных к действию дополнительных факторов химической и радиационной природы и повышает устойчивость животных с радиоактивных территорий. Подобные изменения – повышение устойчивости к действию дополнительных факторов у животных, испытывающих длительное воздействие повышенной радиоактивности, описывается в ряде работ других авторов [6,7,8].

Наши исследования показывают, что обеспечение пребывания организма в условиях хронического облучения, идет за счет напряжения адаптивных возможностей эндокринной системы – одной из ключевых интегральных и регуляторных систем организма, направленной на сохранение и поддержание гомеостаза. Используя комплекс морфометрических параметров, а также данные об изменении профиля тиреоидных гормонов, нами показано, что длительное пребывание на территориях с повышенным содержанием радионуклидов вызывает у полевок-экономок снижение функции щитовидной железы с морфологическими проявлениями дистрофии и деструкции паренхимы. Компенсацией является активация фолликулогенеза и, как результат, гиперплазия органа. Обнаруженные изменения сочетаются с морфологическими признаками усиления активности адrenoцитов пучковой зоны коры надпочечников. Наряду с явлениями гиперфункции в надпочечниках обнаружены признаки очаговой альтерации и воспаления, а в ряде случаев гиперплазии с формированием микроаденом. Характерно, что явления пострадиационной альтерации и гиперплазии адrenoцитов наиболее выражены на фоне подъема функциональной активности органа [9]. Интересные и важные в научно-практическом плане данные получены при анализе репродуктивной активности изученного вида животных. Установлено, что на территориях с повышенным уровнем радиоактивности полевки-экономки характеризуются высокими показателями эмбриональной и постэмбриональной смертности, а также укорочением репродуктивного периода. Эти внутрипопуляционные сдвиги компенсируются более высокой интенсивностью размножения и повышением плодовитости самок, что в определенной мере способствует сохранению численности популяции. На органном уровне эта компенсация проявляется в увеличении в яичниках доли растущих, зрелых фолликулов и желтых тел. Обнаруженные у родителей изменения проявляются в потомстве (в F₂ и F₃), полученном в условиях вивария от полевок из природных популяций.

Заключение. Примененные тесты с дополнительной нагрузкой позволили выявить, что реактивность ЩЖ животных, обитающих в разных радиоэкологических условиях, неодинакова, устойчивость изученных клеточных систем у полевок, испытывающих хроническое облучение в малых дозах, к действию дополнительных химических, физических и радиационных факторов более высокая по сравнению с контрольными животными. По всей вероятности, при длительном обитании популяции полевок-экономок в условиях повышенного радиационного фона (более 100 поколений) происходит перестройка работы системы защиты клеток. Малые дозы облучения, в 10-20 раз превышающие фоновые значения, могли являться адаптирующим фактором и затормозить реакцию ЩЖ на дополнительные воздействия по сравнению с животными контрольного участка. Наблюдаемые изменения, предположительно, способствуют более

устойчивому существованию в неблагоприятных условиях среды обитания популяций этих мелких млекопитающих.

Литература

1. Материй, Л.Д. Морфофункциональная оценка состояния организма мелких млекопитающих в радиоэкологических исследованиях (на примере полевки-экономки) / Л.Д. Материй, О.В. Ермакова, А.И. Таскаев. – Сыктывкар. – 2003. – 164 с.

2. Раскоша, О.В. Влияние хронического радиационного воздействия в разные периоды онтогенеза на частоту встречаемости микроядер в клетках щитовидной железы / О.В. Раскоша, О.В. Ермакова, Н.Н. Старобор // Известия Самарского НЦ РАН. – 2013. – Т. 15. – № 3 (3). – С. 1138–1141.

3. Цитогенетические показатели соматического мутагенеза млекопитающих в условиях хронического низкодозового облучения / С.А. Костенко, О.В. Ермакова, С.Н. Сушко, Е.В. Федорова, П.П. Джус, Л.А. Башлыкова, Ю.Ф. Курыленко, О.В. Раскоша, А.О. Савин, А.С. Шафорост // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2015. – Т. 55. – № 1. – С. 35–42.

4. Grigorkina, E. Radioadaptation of rodents in the zone of local radioactive contamination (Kyshtim Accident, Russia): 50 years on / E. Grigorkina, G. Olenov // Radioprotection. – 2009. – V. 44. – № 5. – P. 129–134.

5. Ткачев, А.В. Влияние холода на структуру щитовидной железы / А.В.Ткачев, И.В. Беруль // Нейзоэндокринные корреляции. – Владивосток. – 1978. – С. 52–64.

6. Ильенко, А.И., Ревизия радиорезистентности десятого поколения рыжих полевок (*Clethrionomys glareolus*) – цериофоров / А.И. Ильенко, Т.П. Крапивко. // Доклады АН СССР. – 1991. – № 2. – С. 498–500.

7. Фетисов, А.Н. Морфометрическая характеристика и сравнительная радиостойчивость популяции прудовика большого (*Limnea stagnalis*) из водоемов с различными радиоэкологическими условиями / А.Н. Фетисов, А.И. Смагин, А.В. Рубанович // Радиобиология. – 1993. – Т. 33. – № 1. – С. 160–165.

8. Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг / С.А. Гераськин, Е.И. Сарапульцева, Л.В. Цаценко и др. – Издательский центр «Академия». – 2010. – 208 с.

9. Ermakova, O.V. Comparative Morphological Analysis of Peripheral Endocrine Glands of Small Mammals Inhabiting Areas with High Levels of Radioactivity and Exposed to Chronic Irradiation in Model Experiments / O.V. Ermakova // Biophysics. – 2011. – V. 56. – № 1. – P. 135–139.

К ВОПРОСУ О РОЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЛУЧЕВОГО ПАТОГЕНЕЗА ПОЛОВЫХ ЖЕЛЕЗ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ РЕПРОДУКТИВНОГО ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В ЗОНАХ С ПОВЫШЕННЫМ РАДИАЦИОННЫМ ФОНОМ

И.А. Жукова, О.Н. Аблековская

*УО «Белорусский государственный педагогический университет
имени Максима Танка», Минск, Беларусь*

Введение. Репродуктивное здоровье является одной из важнейших составляющих здоровья в целом и занимает центральное место в развитии человека. Так, в раннем онтогенезе оно создает основу не только для воспроизведения потомства, но и для обеспечения здоровья по прошествии репродуктивных лет жизни, как мужчин, так и

женщин, отражает последствия, передаваемые от поколения к поколению [1]. Этот факт, несомненно, способствует повышенному интересу исследователей к проблеме влияния различных факторов внешней среды на развивающийся организм, основные периоды эмбриогенеза которого связаны с миграцией клеток, интенсивной клеточной пролиферацией и дифференцировкой, что и определяет его высокую чувствительность. В настоящее время это приобретает особую значимость в условиях нарастающей экологической нагрузки в виде антропогенных и техногенных факторов, в том числе и радиоактивного фактора, который на сегодняшний день является одной из важных по эффективности действия составляющих среды обитания людей и животных. Обусловлено это возрастанием природного радиационного фона, увеличением использования ионизирующего излучения (ИИ) практически во всех сферах жизнедеятельности человека (так, например, медицинская рентгенология занимает одно из ведущих мест в диагностике заболеваний). Для нашей страны свой значимый вклад внесла, к сожалению, и авария на Чернобыльской АЭС. В связи с этим, как нам представляется, немаловажное практико-ориентированное значение приобретает изучение вопросов, касающихся становления половых желез в пренатальном периоде в условиях действия ИИ в дозах, которые можно было бы сопоставить с дозами, получаемыми населением, проживающим в зонах с повышенным радиационным фоном. Проведение таких исследований с использованием различных современных методов может способствовать решению конкретных вопросов прогнозирования состояния репродуктивного здоровья людей и животных в поколениях.

В этом плане особую актуальность приобретает исследование кровеносных капилляров (КК) яичника и семенника. Необходимо подчеркнуть, что в пренатальном периоде онтогенеза эти сосуды обеспечивают регуляцию питания органа, его структурное и функциональное становление. Определяется это тем, что даже минимальное снижение поступления крови к развивающимся органам приводит к возникновению дегенеративных процессов, аномалий развития, что в конечном итоге может привести к гибели плода [2]. При этом гемокапилляры являются и наиболее радиочувствительным звеном в системе кровообращения [3]. Следует заметить, что в дефинитивном организме состояние этих микрососудов также определяет дееспособность органа

Исходя из этого, нами проведено исследование с целью изучения особенностей реакции КК гонад плодов белой крысы в условиях внешнего облучения в относительно небольшой дозе.

Материалы и методы. Работавыполнена на беспородных лабораторных крысах-самках с датированным сроком беременности, которых подвергали однократному внешнему облучению в дозе 0,5 Гр на 14-е и 15-е сутки гестации на установке ИГУР-1 (источник Cs-137, мощность дозы $9,08 \times 10^{-4}$). Облучение в указанные сроки обусловлено тем, что это наиболее критические по радиочувствительности дни антенатального онтогенеза половых желез [4]. Контролем служили интактные животные соответствующего возраста. Животных декапитировали на 20-е сутгестации, из матки извлекались плоды. Исследуемый материал (яичник и семенник) готовили для электронномикроскопического исследования по методике Уикли (1975). Ультратонкие срезы готовили на ультрамикротоме «LKB» (Швеция), изучение и фотографирование выполняли на электронном микроскопе JEM-100 CX (Япония) при рабочем увеличении от 5800 до 36000 раз. Стереометрический анализ проводился с негативных изображений профилей КК с помощью проекционной установки при конечном увеличении 10140 раз. Помимо общей структуры КК изучали состояние энергетических, пластических возможностей и транспортные функции их эндотелиальных клеток. Цифровой материал, полученный в результате исследования, обрабатывался с помощью статистического пакета «Статистика для Windows» с

использованием параметрических методов оценки данных. Работа выполнена на базе ГНУ «Институт радиобиологии» НАН Беларуси.

Результаты исследования и их обсуждение. Как показали результаты электронно-микроскопического исследования, значительная часть микроциркуляторных нарушений при облучении обусловлена первичным поражением эндотелиоцитов КК. Так, при однократном внешнем облучении в дозе 0,5 Гр на 15-е сутки эмбрионального развития общие размеры КК семенника плодов (в отличие от таковых яичника) по сравнению с контролем существенно не изменились. Максимальный и минимальный диаметры сосудов заметно не отличались от контрольных значений, однако отмечалась некоторая тенденция к уменьшению их площади сечения и значительно уменьшилась площадь сечения просветов КК (на 25%; $P < 0,01$).

Что же касается КК яичника, то здесь имеет место противоположная реакция, которая проявляется в тенденции к увеличению площади сечения КК, связанной с возрастанием их максимального и минимального диаметров (на 10%; $P < 0,01$). Подобная реакция со стороны размеров КК не может трактоваться однозначно. Так, в согласии с другими авторами мы полагаем, что расширение просветов сосудов является одним из признаков местного неблагополучия в капиллярном звене. Но возможно также, что такая реакция имеет и адаптационно-компенсаторный характер, направленный на поддержание процессов дальнейшего развития органа в условиях действия излучения. Такое нарастание указанного функционального напряжения со стороны КК в дальнейшем может сменяться их угнетением.

Следует отметить, что в просвете КК обеих желез наблюдались цитоплазматические отростки (в КК семенника несколько чаще), которые достигали противоположную стенку сосуда, соединяясь при этом друг с другом. Подобные изменения могут явиться одним из условий тромбообразования и предвестника облитерации капилляров, что не может не оказать отрицательного влияния на кровоток и, следовательно, на метаболизм органов.

Более выраженный характер носит реакция энергообразующих органелл (митохондрий) эндотелиоцитов КК – облучение вызывает значительное сокращение их количества в обоих случаях. Если в эндотелиоцитах семенника их количество достоверно уменьшилось на 21% ($P < 0,01$), то в яичнике – почти в два раза больше (на 40 %; $P < 0,001$). При этом в обеих экспериментальных группах имеет место и уменьшение их объемной плотности в клетке – до 15% ($P < 0,05$) в семеннике и до 41% в яичнике ($P < 0,01$). Подобное сокращение количества этих органелл независимо от органа – результат развития в них деструктивно-дегенеративных процессов, в частности, просветления матрикса в них, деструктивного изменения крист. Подобные изменения являются аналогичными изменениям этих органоидов в клетках гемокапилляров ряда органов (например, миокарда) как при воздействии ИИ, так и при других патологических состояниях. Иногда в некоторых эндотелиоцитах яичника встречались отдельные гигантские митохондрии причудливой формы с сохраненной структурой мембраны и крист. Можно думать, что их возникновение связано с развитием адаптационно-компенсаторных процессов в системе энергообеспечения клетки.

Большую радиочувствительность при воздействии радиации в критические периоды развития проявляют и другие органеллы клеток терминальных сосудов яичника. Это касается структур, обеспечивающих трансэндотелиальный перенос веществ – микровезикул. Так, если в эндотелиоцитах семенника общее число микровезикул и количество различных их фракций осталось на уровне контрольных значений, то в клетках КК яичника обнаруживаются следующие сдвиги. Они проявляются, главным образом, в снижении численности мембраносвязанных люминальных микровезикул (МВЛ) – на

35% ($P < 0,001$). Число базальных микровезикул (МВБ) также снижается. Уменьшается при этом и значение индекса МВЛ/МВБ (на 26%; $P < 0,05$).

Анализ индекса цитоплазмально-ядерных отношений (ЦЯО), определяющего и уровень метаболических процессов в клетке, также указывает на проявление большей чувствительности эндотелиоцитов яичника к лучевому фактору в критические периоды его развития. Так, в этом случае он достоверно возрастает в 1,3 раза ($P < 0,05$) в сторону увеличения цитоплазмы, в то время как в случае семенника этот показатель демонстрирует только тенденцию к его некоторому увеличению. По-видимому, здесь имеет место определенное напряжение синтетических процессов в ответ на действие лучевого фактора. Аналогичное изменение индекса ЦЯО при облучении отмечают и другие исследователи.

В ядрах многих эндотелиоцитов КК семенника наблюдалась дисконкомплексация хроматина: он концентрировался по периферии ядра в виде глыбок, а также в местах образования ядрышек. В эндотелиоцитах гемокapилляров яичника подобные изменения встречались несколько чаще, но при этом наряду с угнетением их функциональной активности встречаются клетки, в которых происходит развитие компенсаторных процессов, направленных на поддержание функции ядра. Структурным выражением ее являются инвагинации ядерной мембраны, приводящие к значительному увеличению последней и, в свою очередь, увеличению поровых комплексов в ней.

Заключение. Таким образом, на основании полученных данных можно заключить, что внешнее острое облучение в дозе 0,5 Гр на 14-е и 15-е сут антенатального развития оказывает заметное влияние на структуру и функции эндотелиоцитов гемокapилляров семенника и яичника 20-суточных плодов. Подобные нарушения эндотелиальных клеток сосудов микроциркуляторного русла половых желез в дальнейшем могут вызвать задержку развития и функционального становления половых желез, привести к развитию дистрофических процессов, нарушить процессы формирования их специфических тканей, привести к гормональной дисфункции и сокращению фонда половых клеток.

Полученные данные имеют не только теоретическое значение, расширяя современные представления о радиочувствительности клеток зародыша в условиях действия ИИ, способствуя тем самым накоплению фактического материала по биологическому действию радиации в сравнительно малых дозах, но и могут быть использованы для объяснения возможных причин женского и мужского бесплодия, преждевременного старения, гормональной дисфункции.

Литература

1. Либерман, А.Н. Радиация и репродуктивное здоровье. – СПб., 2003. – 226 с.
2. Куприянов, В.В. Становление системы микроциркуляции в раннем онтогенезе // Вопросы морфометрич. анализа в системе микроциркуляции: Сб. ст. / Под ред. В.В. Куприянова. – 1978. – Т. ХСV, вып. 4. – С. 3–16.
3. Воробьев, Е.И., Степанов Р.П. ионизирующие излучения и кровеносные сосуды. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.
4. Шахнадирова, Л.В., Палыга, Г.Ф. Отдаленные последствия γ -облучения яичников крыс в процессе эмбрионального развития / Л.В. Шахнадирова, Г.Ф. Палыга // Радиобиология. – 1989. – Т. ХХIХ, вып. 1. – С. 175–178.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ РАЗРУШЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ ТОПЛИВНЫХ ЧАСТИЦ, ВЫПАВШИХ НА ТЕРРИТОРИЮ БЕЛОРУССКОЙ ЧАСТИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

В.Н. Забродский, Ю.И. Бондарь, В.Н. Калинин, В.И. Садчиков

Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», Хойники, Беларусь, vzaabrot-ski@tut.by

Введение. Почти 30 лет прошло с момента катастрофы на ЧАЭС, повлекшей загрязнение ближней зоны осколками ядерного топлива (топливными частицами). За прошедшее время состав и строение топливных частиц (ТЧ) подверглись детальному изучению с использованием современных физико-химических методов. При этом изучались как макрообразцы почв, содержащие статистически значимые количества частиц, так и индивидуальные частицы. Для определения скорости растворения ТЧ в окружающей среде использовались методы, основанные на ацетатном [1] и карбонатном [2] выщелачивании с определением доли сохранившихся ТЧ по ^{90}Sr [1], ^{154}Eu [1], ^{236}U [3], Pu [2, 4].

Материалы и методы. В настоящей работе представлены результаты исследований проб почвы и донных отложений, отобранных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ). Образцы почвы отбирались как в местах с максимальной плотностью радиоактивного загрязнения, так и на периферии зоны отчуждения ЧАЭС. Пробы донных отложений, за исключением одной пробы из Борщевского затопления, отбирались с оз. Персток.

Оценка степени разрушения топливных частиц, выполнялась методом карбонатного выщелачивания по методике, описанной в работе [2]. Преимуществом наших данных по сравнению с данными вышеперечисленных работ является то, что они получены сравнительно недавно и характеризуют процесс разрушения ТЧ за более длительный временной промежуток. Действительно, если в вышеупомянутых работах других авторов анализировались пробы, отобранные в конце прошлого тысячелетия, то в нашей работе исследовались пробы, отобранные в 2008-2013 гг. Содержание Pu определялось путем концентрирования плутония на анионообменной смоле с последующим приготовлением мишени из фторида неодима для альфа-спектрометрических измерений. Масса анализируемой пробы изменялась от 0,5 г (в случае использования для растворения микроволновой печи) до 10 г почвы при ее выщелачивании на песчаной бане. Микроволновая печь использовалась для растворения проб, содержащих повышенное количество радионуклидов (образцы М, D, D35, В). При этом величина стандартного относительного отклонения удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ в исходных почвенных пробах при их параллельном анализе изменялась от 6 до 31 %, а в случае донных отложений от 12 до 42 %.

Согласно используемой нами методике доля Pu , находящегося в виде ТЧ (F), рассчитывается по формуле:

$$F = A_r / (A_r + A_s),$$

где: A_r – активность плутония в твердом остатке, Бк;

A_s – активность плутония в растворе (пропорциональна доле окисленных (разрушенных) топливных частиц), Бк.

Результаты исследования и их обсуждение. На рисунке 1 приведены доли $^{239+240}\text{Pu}$, находящегося в матрице ТЧ в пробах почвы и донных отложений и степень разброса экспериментальных значений. Численно разброс характеризуется удвоенным стандартным отклонением среднего результата 3-х параллельных определений.

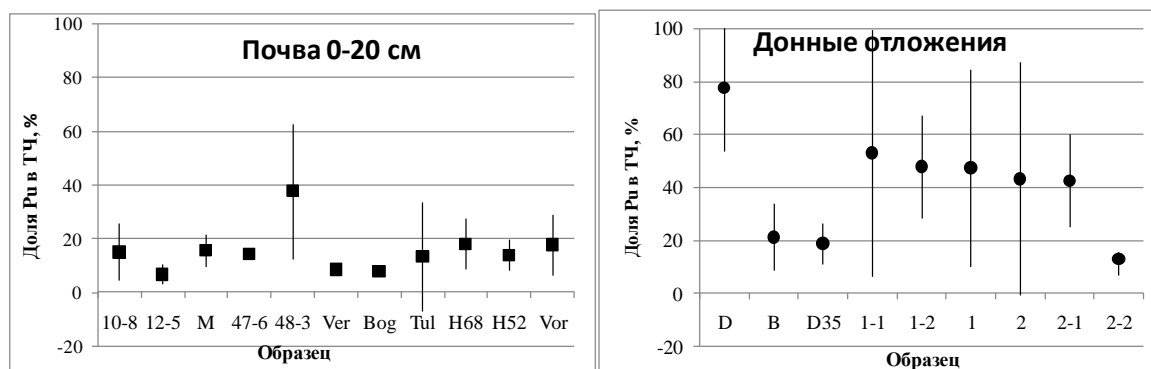


Рисунок 1 – Доля $^{239+240}\text{Pu}$ в матрице топливных частиц, присутствующих в почве и донных отложениях

Как видно из рисунка 1 наибольшая доля активности Pu в составе ТЧ, приходится на донные отложения озера Персток. Более низкая степень разрушения ТЧ, находящихся в донных отложениях, объясняется меньшей скоростью окислительных процессов в анаэробной среде на дне озера [6].

В работах Кашпарова было достаточно убедительно показано [1, 7], что медианный диаметр топливных частиц соответствует размерам зерен чернобыльского ядерного топлива и составляет 6 мкм. Использование этих данных, характеризующих геометрические размеры ТЧ, позволяет оценить как их массовую концентрацию в почвенном слое 0 – 20 см, так и количество частиц, выпавших на 1 м². С этой целью предлагается следующая последовательность действий.

1. Определение содержания Pu в пробе с использованием радиохимических методов.
2. Определение содержания UO₂ чернобыльского происхождения в почве. Эта задача выполняется с использованием базы данных УкрНИИСХР [8], содержащей сведения о концентрации Pu в исходном ядерном топливе.
3. Далее будем исходить из предположения одинаковости геометрической формы и размера ТЧ, а именно из того, что все ТЧ имеют форму шара с диаметром равным 6 мкм. Знание диаметра частиц позволяет оценить массу одной ТЧ (согласно нашим расчетам 1,22E-9 г, исходя из плотности UO₂, равной 10,82 г/см³) и далее рассчитать количество ТЧ, находящихся в 1 кг почвы.
4. Учет степени растворения ТЧ. В результате вышеописанных расчетов мы получаем концентрацию ТЧ в почве на момент их выброса. Действительно, до сих пор в наших расчетах мы использовали суммарную концентрацию Pu, вне зависимости от того находится ли плутоний в матрице UO₂ или вышел из нее в результате частичного или полного растворения частицы. В настоящее время большая часть ТЧ уже растворилась и для оценки концентрации реально присутствующих в окружающей среде ТЧ надо использовать результаты определения степени деструкции ТЧ, полученные методом карбонатного выщелачивания.

Нами были выполнены такие расчеты для образцов почвы и донных отложений, характеризующихся различным содержанием Pu. Например, почва, отобранная вблизи б.н.п. Масаны (код «М»), характеризовалась высоким значением удельной активности $^{239+240}\text{Pu}$ (более 3400 Бк/кг), а почва, взятая с более отдаленного от ЧАЭС участка – Вербовичского лесничества (код «Ver»), имела значительно более низкое значение удельной активности $^{239,240}\text{Pu}$ (менее 2 Бк/кг). Соответственно изменяется и массовая концентрация ТЧ и их поверхностная плотность: от 33000 кг⁻¹ (9,0E+6 м⁻²) для Масанов, до 9 кг⁻¹ (2200 м⁻²) в Вербовичском лесничестве.

О существенных концентрациях ТЧ в почве сообщалось в ряде исследований: [9] – 8×10⁶ м⁻²; [10] – 5000 кг⁻¹; [11] – от 1000 до 10000 м⁻². Из упомянутых публикаций рас-

смотрим более детально работу [10], в которой результаты гамма-спектрометрического определения содержания ^{137}Cs в верхнем 0-2 см слое почвы (проба «EZ») обрабатывались методом Монте-Карло. Место отбора пробы «EZ» и места отбора проб «10-8», «12-5», «М» (изучены в настоящей работе) находятся друг от друга на расстоянии не более 500 м. Несмотря на то, что в работе [10] обрабатывались результаты определения ^{137}Cs , а в настоящей работе – результаты определения $^{239+240}\text{Pu}$, количественные данные о концентрации ТЧ в почве являются величинами одного порядка. Таким образом, можно заключить, что принятое нами предположение о равенстве среднего диаметра ТЧ 6 мкм справедливо и подтверждается экспериментально различными методами.

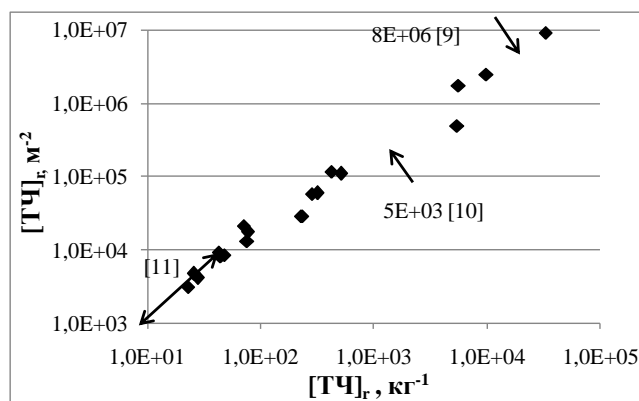


Рисунок 2 – Сопоставление массовой (кг^{-1}) и поверхностной (м^2) концентраций ТЧ, полученных в настоящей работе, с литературными данными [9-11]

Известно, что для описания процесса растворения ТЧ используется уравнение кинетики 1-го порядка [2, 3, 5, 7]:

$$dF/dt = -kFt \text{ или } F = F_0 \exp(-kt),$$

где: t – время, прошедшее с момента чернобыльских выпадений;

k – постоянная трансформации топливных частиц, год^{-1} ;

F и F_0 – доли радионуклидов, находящихся в матрице ТЧ в момент времени t и в исходных выпадениях ($t = 0$).

Согласно приведенной формуле и полученным экспериментальным данным ($k=0,09\pm 0,02$) 99 % ТЧ в почве растворятся через 53 года с момента катастрофы. В случае ТЧ, находящихся в донных отложениях ($k=0,026\pm 0,007$), этот процесс займет более 180 лет.

Заключение. Дана количественная оценка степени разрушения топливных частиц, выпавших на территории белорусской части зоны отчуждения ЧАЭС. Установлено, что степень разрушения топливных частиц в пробах почвы, отобранных в различных районах зоны отчуждения, изменяется в относительно узком диапазоне 6 – 18 %, хотя плотность радиоактивного загрязнения почвы трансурановыми элементами при этом изменяется более чем на три порядка. С использованием экспериментальных и литературных данных по медианному диаметру ТЧ чернобыльского происхождения рассчитаны массовые и поверхностные концентрации топливных частиц, выпавших на территорию ПГРЭЗ. Если в наиболее загрязненных районах концентрация ТЧ достигает $3,3 \times 10^4 \text{ кг}^{-1}$ ($9 \times 10^6 \text{ м}^2$), то на периферии ПГРЭЗ соответствующие величины равны $8,6 \text{ кг}^{-1}$ ($2,2 \times 10^2 \text{ м}^2$).

Литература

1. Dissolution of particles of irradiated nuclear fuel in the temporary storages of radioactive waste in Chernobyl zone: sources for radionuclides migration. V.A.Kashparov et al. In: Oughton, D.H., Kashparov, V.A. (Eds.) Radioactive Particles in the Environment. Series C: Environmental Security. 2009. Springer. – P. 139-156.

2. Матусевич Ж.Л. Определение степени деструкции топливных частиц западного и северного следов чернобыльского выброса / Матусевич Ж.Л. // Вести Национальной академии наук Беларуси. -2001. № 2. – С. 140-142.
3. Determination of irradiated reactor uranium in soil samples in Belarus using ^{236}U as irradiated uranium tracer / V.P.Mironov et al. // J. Environ. Monit. – 2002. – 4. – P. 997-1002.
4. Забродский В.Н. Степень разрушения топливных частиц чернобыльского происхождения на территории ПГРЭЗ / В.Н.Забродский, Ю.И.Бондарь, В.Н.Калинин // Матер. межд. научн. конф. «Радиация и Чернобыль: Наука и практика». Гомель, Институт радиобиологии НАН Беларуси, 13-14 октября 2011 г. Минск. Институт радиологии. 2011. – С. 51-57.
5. The use of ^{236}U as a tracer of irradiated uranium / V.P.Mironov et al. // In: Oughton, D.H., Kashparov, V.A. (Eds.) Radioactive Particles in the Environment. Series C: Environmental Security. 2009. Springer. – P. 221-232.
6. Fuel particles in the Chernobyl cooling pond: current state and prediction for remediation options / A.Bulgakov et al. // J. Environ. Radioact. – 2009. – 100, – P. 329–332.
7. Кашпаров, В.А. Кинетика растворения чернобыльских топливных частиц II. Растворение топливных частиц в естественных условиях в почве / В.А.Кашпаров, С.И.Зварич, В.П.Процак //Радиохимия. – 2000. – Т. 42, № 6. – С. 542-549.
8. Электронная база данных «Горячие частицы». УкрНИИСХР, 2001 г. Справочная информация ИАЭ им. И.В.Курчатова об удельной активности чернобыльского ядерного топлива.
9. Deposition and distribution of Chernobyl fallout fission products and actinides in a Russian soil profile / P.Carbol, D.Solatie, N.Erdmann et al. // J. Environ. Radioact. – 2003. – 68, – P. 27–46.
10. Identification and characterization of radioactive 'hot' particles in Chernobyl fallout-contaminated soils: the application of two novel approaches / J.A.Entwistle, A.G.Flowers, G.Nageldinger, J.C.Greenwood // Mineralogical Magazine – 2003. – 67. – P. 183-204.
11. Hot Particles / B.Salbu // In: Special Session Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident. Proc. Symp., Vienna, 16–20 Oct. 1989, – 1990. – Vol. 2. IAEA.

ДИНАМИКА ПЕРЕХОДА ^{137}Cs В ДРЕВЕСИНУ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ПО ДАННЫМ 2003-2015 гг.

В.Н. Забродский, Ю.И. Бондарь, М.В. Кудин, Н.В. Блинова

Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», Хойники, Беларусь, vzabrotski@tut.by

Введение. Одним из способов оценки динамики перехода радионуклидов в растительность является анализ данных по изменению коэффициентов переноса радионуклидов со временем. В случае зерновых и картофеля в литературе [1] представлены данные, указывающие, что максимальные значения коэффициентов переноса, зарегистрированные в 1986 г., снижались в течение 6 лет вплоть до выхода на плато. В литературе отсутствуют столь же единодушные мнения по поводу коэффициентов переноса радионуклидов в лесную растительность. В том же источнике [1], со ссылкой на [2], указывается на возможное достижение квазиравновесия спустя несколько лет после атмосферного выпадения радиоактивных осадков. В то же время в работе [3], в которой анализируются работы почти за 20-летний период с момента Чернобыльской катастрофы, указывается на отсутствие еди-

ного мнения по многолетней динамике содержания радионуклидов в элементах древостоя и противоречивость полученных на то время данных.

Цель настоящей работы – обсуждение результатов анализа проб древесины и почвы, собранных в лаборатории спектрометрии и радиохимии Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) с 2003 по 2015 гг. с точки зрения оценки динамики перехода ^{137}Cs в древесину лесных насаждений.

Материалы и методы. Обследование лесных насаждений с целью определения возможности использования древесины в народном хозяйстве является одним из основных направлений деятельности лаборатории. Выбор участков для радиационного обследования на территории зоны ограниченной хозяйственной деятельности производится из хозяйственных соображений. Всего за 2003-2015 гг. было обследовано более 3500 выделов общей площадью более 13,5 тыс. га. При этом площадь каждого выдела колебалась от десятых долей до десятков гектар. Как правило, с каждого выдела отбирались пробы почвы и древесины. Следует отметить, что согласно нормативному документу [4], в соответствии с которым проводилось обследование, каждая проанализированная проба представляет собой усредненную пробу с трех деревьев одинакового класса технической годности. После пробоподготовки, заключающейся в гомогенизации и доведении древесины до воздушно-сухого состояния, производилось гамма-спектрометрическое определение содержания ^{137}Cs в пробе. Для этого использовался гамма-бета спектрометр МКС-АТ 1315 (Атомтех, Беларусь).

Результаты исследования и их обсуждение. Составить представление о уровнях радиоактивного загрязнения различных категорий древесины и коры лесных насаждений, произрастающих на территории зоны ограниченной экспериментально-хозяйственной деятельности ПГРЭЗ, можно с помощью рисунка 1. Согласно представленным не нем данным наибольшая доля проб коры приходится на интервал с повышенным содержанием ^{137}Cs . И наоборот, древесина, очищенная от коры, одновременно очищается и от ^{137}Cs , и наибольшая доля проб деловой окоренной древесины приходится на интервал с невысокой удельной активностью 60-370 Бк/кг. Таким образом:

- Максимум распределения в коре и лубе смещен в сторону более высоких значений удельной активности.
- Максимум распределения в деловой окоренной древесине смещен в сторону более низких значений удельной активности.
- Пробы неокоренной древесины – деловая неокоренная, дровяная от деловой и дровяная от дровяной – имеют распределение близкое к прямоугольному.

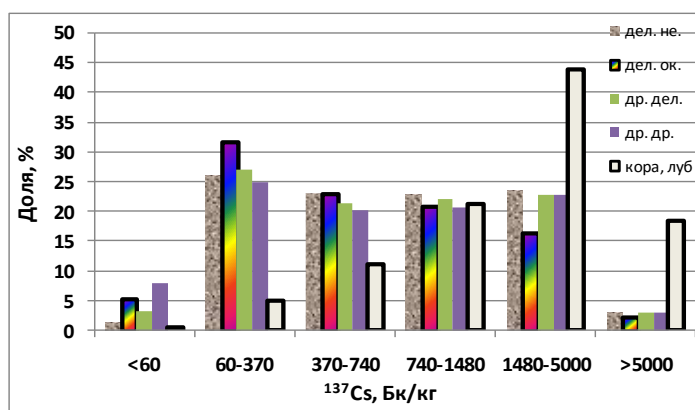


Рисунок 1 – Процентное распределение проб древесины по удельной активности ^{137}Cs . Виды проб, отбираемых в соответствии с [4]: деловая неокоренная, деловая окоренная, дровяная от деловой, дровяная от дровяной, кора и луб

Согласно результатам, представленным на рисунке 1, удельная активность ^{137}Cs в древесине колеблется в пределах двух порядков ее величины. В таких же пределах изменяется и плотность загрязнения участков пробоотбора (от 100 до 10000 кБк/м²) (рисунок 2А). Представляло интерес построить аналогичное распределение проб по величинам коэффициента перехода ^{137}Cs в древесину. На рисунке 2Б представлено распределение проб сосны (дровяная от дровяной и деловая неокоренная) по величинам коэффициента перехода. Можно отметить схожесть формы кривых распределения для различных видов проб – дровяной от дровяной и деловой неокоренной. Такой же вид имеют и кривые распределения по величинам коэффициентов переноса и других видов проб – деловой окоренной, дровяной от деловой, коры и луба. Более того, если ограничиться данными, накопленными в течение каждого календарного года, то вид распределения сохраняется.

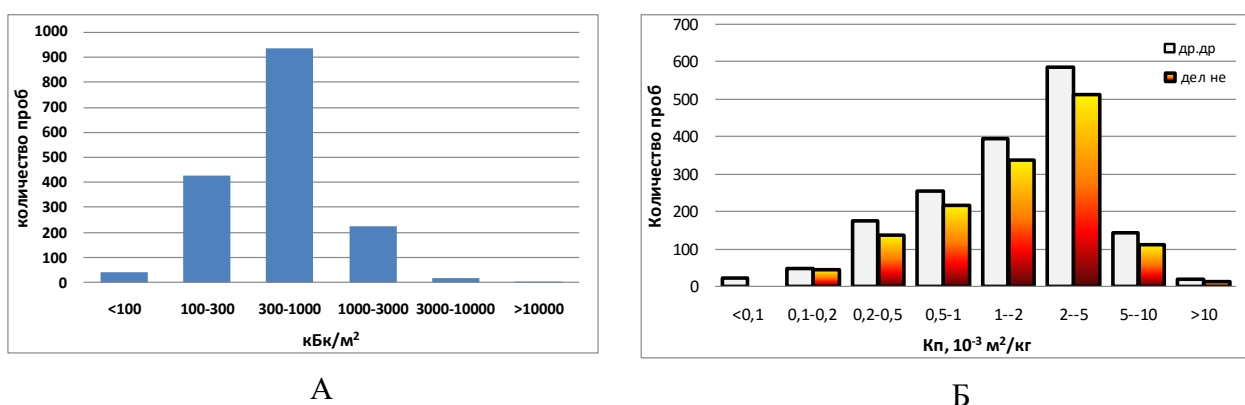


Рисунок 2. А – Распределение мест отбора проб древесины сосны по плотности загрязнения; Б – Распределение проб сосны (дровяная от дровяной и деловая неокоренная) по величинам коэффициента перехода, Кп, 10⁻³ м²/кг

Согласно полученным данным (рисунок 2 Б), вне зависимости от плотности загрязнения территории, большая часть проб характеризуется коэффициентами перехода, колеблющимися в интервале от 2 до 5 (10⁻³ м²/кг). То есть, в диапазоне плотности загрязнения от 100 до 10000 кБк/м² коэффициенты перехода не зависят от степени радиоактивного загрязнения территории. Объяснением может быть увеличение доли доступного растением ^{137}Cs при увеличении его брутто-содержания в почве. В работе [5] указывается на существование равновесия между мобильной (обменной и водорастворимой) и фиксированными формами ^{137}Cs в почве. В частности, данные, полученные при изучении долговременной трансформации форм радионуклидов в почве, указывают на существование процесса ремобилизации, противодействующего процессу фиксации радионуклидов почвой. Предполагается, что при попадании обменных форм ^{137}Cs в почву их количество уменьшается не до нуля, (как происходит при неравновесной фиксации), а до определенной неизменной доли, не зависящей от суммарного количества радионуклида и не изменяющейся значительно на протяжении нескольких лет. Возможность установления равновесного соотношения между мобильными и фиксированными формами радионуклидов в почве обсуждается также авторами [6]. По их мнению, со временем, по мере высвобождения радионуклидов из топливных частиц происходит приближение соотношения мобильных и фиксированных форм радионуклидов к равновесному, которое должно установиться после полного разрушения частиц. По мнению авторов работы [7] максимальное количество мобильных форм ^{137}Cs в почве наблюдалось через 1,5 – 2 года после Чернобыльской аварии, а далее их доля уменьшалась, что повлекло за собой уменьшение поступления этого нуклида в растения. Несмотря на то, что этот вывод был сделан 20 лет назад, данные рисунка 3 подтверждают

его актуальность и в настоящее время. На данном рисунке представлены результаты анализа проб топливной древесины (дровяная от дровяной), причем количество ежегодно определяемых проб, колебалось от 55 до 320.

Заклучение. Вопросы переноса радионуклидов в лесных экосистемах нашли свое отражение в ряде публикаций МАГАТЭ [1, 8, 9].

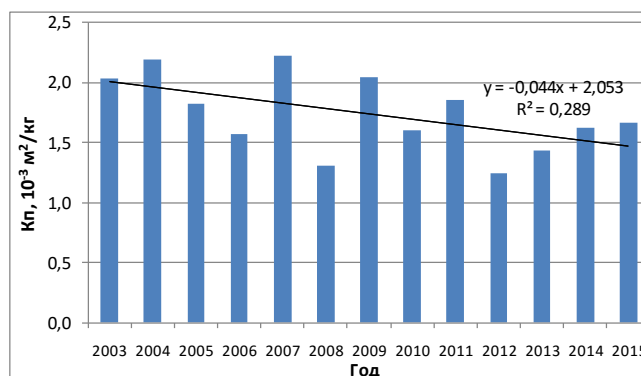


Рисунок 3 – Динамика изменения годовых медианных значений $\text{Кп } ^{137}\text{Cs}$ в древесину сосны

Представляло интерес сопоставить полученные нами коэффициенты переноса ^{137}Cs из почвы в древесину с уже опубликованными данными. Согласно [1] степень перехода радиоактивного цезия из лесных почв в древесину изменяется от 0,3 до 3 ($10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$). В источнике [8] приводится среднее геометрическое (из 22 результатов) значение коэффициента переноса ^{137}Cs в древесину сосны, равное 1,7 ($10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$) с диапазоном колебаний от 0,11 до 21 ($10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$). Согласно полученным в настоящей работе данным среднее (из 1637 результатов) значение коэффициента переноса составляет 2,4 ($10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$) при минимальном и максимальном значениях 0,03 и 23,3 ($10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$), соответственно. В работе [9] приводятся данные по коэффициентам накопления, рассчитываемым как отношение удельной активности радионуклида в сырой ткани к его удельной активности в сухой почве. Для хвойных насаждений в случае цезия они колеблются от 0,0012 до 1,8. Для сопоставления данных [9] с полученными нами коэффициентами перехода последние пересчитывались в коэффициенты накопления исходя из предположения, что все приходящееся на единицу площади радиоактивное загрязнение сосредоточено в слое почвы 0-20 см, масса которого составляет 300 кг. Применялся также коэффициент, рекомендуемый в работе [9], для перехода от массы высушенной древесины к сырой массе (равен 0,5). Полученные нами значения коэффициента накопления колеблются в интервале 0,003 – 3,5; а его среднее значение равно 0,36 (0,15 в [9]).

Литература

1. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: 20-летний опыт / Докл. эксп. груп. "Экология" Черноб. форума 2006. – МАГАТЭ. Вена. 2008. – 180 с.
2. Щеглов А.И., Цветкова О.Б., Кляшторин А.Л. Биогеохимическая миграция техногенных радионуклидов в лесных экосистемах. 2001. Наука. Москва
3. Булавик, И.М. Проблемные вопросы радиозэкологических исследований в лесах / И.М.Булавик, А.Н.Переволоцкий // Тез. докл. Межд. научн. сем. «Радиозэкология Чернобыльской зоны» 2006 г. Славутич, Украина. С. 21-23.
4. ТКП239-2010 (02080) Радиационный контроль. Обследование лесосек. Порядок проведения. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. Минск.
5. Physico-chemical and hydraulic mechanisms of radionuclide mobilization in aquatic systems /A.V.Konoplev [et al.] // The radiological consequences of the Chernobyl accident.

A.Karaoglou [et al.] (Ed). Luxemburg: Office Official Publ. EC. EUR 16544 EN – 1996. – XXIV, 1192 pp.

6. Соботович Э.В., Бондаренко Г.Н., Долин В.В. Развитие геохимии техногенеза после Чернобыльской катастрофы. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/32252/03-Sobotovich.pdf?sequence=1> Доступен 09.03.2016

7. Бондаренко Г.Н., Кононенко Л.В. Кинетика трансформации форм нахождения стронция-90 и цезия-137 в почвах – Минералогический журнал. – 1996. – Т. 18, № 3. – С. 48-57.

8. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Technical Reports Series No. 472. IAEA. Vienna. 2010. – 194 p.

9. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer to wildlife. Technical Reports Series No. 479 International Atomic Energy Agency. Vienna, 2014. – 217 p.

GENE REGULATION OF APOPTOSIS IN PERIPHERAL BLOOD LEUKOCYTES OF CHERNOBYL CLEANUP WORKERS

I.N. Ilienکو, D.A. Bazyka

SI “National Research Centre for Radiation Medicine NAMS of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, bazyka@yahoo.com

Introduction. Numerous studies performed after the Chernobyl accident demonstrate a substantial increase in somatic and oncologic pathology rates and radiation risks, and radiation induced destabilization of the human genome is supposed to be a background of such effects [1, 2]. Search for unique and permanent "signature" in the human genome, which could be left by ionizing radiation, revealed and confirmed changes in gene expression after chronic radiation exposure [3], which increase the risk of developing a chronic non-cancer diseases [4] and cancer [5]. It is claimed, that involving of gene chains may differ, depending on the type of radiation and range of dose. Thus, significance of changes in gene expression in humans at the remote period after radiation exposure remains unclear. Genome changes resulting from influence of low-LET ionizing radiation can modify the fundamental cell-tissue processes, including the acceleration of cell aging (regulation of telomere length, cell cycle arrest), apoptosis and/or compensatory proliferation, violation of signal transduction and cell transformation [6]. Indisputably important is the way of implementing genetic changes. The cellular senescence, apoptosis and blast transformation is key and interrelated reactions of cells in the presence of stress factors [7]. Dysregulation of basic homeostatic systems with a gradual depletion of adaptation reserves promotes sustainable systemic changes in the immune system due to ionizing radiation. Scientific studies confirm violation of gene regulation of apoptosis after influence of various endogenous and exogenous factors, including ionizing radiation [8]. Gene regulation of apoptosis initiates a process of delicately tuned balance of pro- and anti-apoptotic mechanisms with its late stages regulated by the clearly defined set of genes. The key point among them is *TP53*, which is responsible for the regulation of the cell cycle and in not mutated state acts as a suppressor of malignant transformation [9]. It is shown that enhancers and inhibitors of apoptosis or directly affecting cell death mechanisms, or indirectly – by influencing the regulation of transcription [10]. Therefore, it is necessary to study the modifying effects of ionizing radiation on systemic violations of apoptosis gene regulation at the transcriptional and translational levels in a remote post-irradiation period.

Patients and Methods. Study groups included 310 Chernobyl cleanup workers (male) with average external dose exposure of 360.82 ± 32.3 mSv ($M \pm SD$) (mean age 58.9 ± 0.6) and control group of 77 non-exposed male individuals (mean age 52.9 ± 0.64). The main group of Chernobyl cleanup workers was divided into 3 subgroups by external dose irradiating: I – $0 < D \leq 100$ mSv, II – $100 < D \leq 500$ mSv and III – $D > 500$ mSv. A study was performed on peripheral blood (PB) white blood cells.

Real-time polymerase chain reaction (relative quantification of gene expression). The relative expression of *BAX*, *BIRC5*, *FASLG*, *MADD*, *MAPK14*, *TP53*, *TP53I3* genes was performed by polymerase chain reaction (PCR) with real-time reverse transcription. RNA was purified by the automated workstation QIAcube (QIAGEN, Germany) for nucleic acids purification with spin-column kit for RNA purification – NucleoSpin RNAII (Macherey–Nagel, Germany) using the DNase processing. cDNA was synthesized from purified RNA samples with the High Capacity cDNA Reverse Transcription Kit (Applied Biosystems, USA). Amplification of cDNA was performed using robotic systems 7900 HT Fast Real-Time PCR System with TagMan Low Density Array Plate (Applied Biosystems, USA). The data were analyzed using the SDS 2.3 software and RQ Manager. Relative levels of gene expression (RQ) was calculated according to the $\Delta\Delta C_t$ comparative method, where $\Delta\Delta C_t = (C_{t\text{sample}} - C_{t\text{ref}})_{\text{control}} - (C_{t\text{sample}} - C_{t\text{ref}})_{\text{irradiated}}$ and the expression ratio is $2^{\Delta\Delta C_t}$.

Flow cytometry study. Expression of CD95, bcl2, p53 proteins and molecules of phosphatidylserine was investigated by flow cytometry using monoclonal antibodies: CD95 FITC Mouse Anti-Human, bcl-2 PE Mouse Anti-Human, FITC Mouse Anti-p53 Antibody Set and FITC Annexin-V Apoptosis Detection Kit I (BD, USA) by standard protocol for surface and intrastain flow cytometry technology. Analysis was performed on laser flow cytometers FACScan and FACSCalibur (BD, USA).

Results. A significant increase in expression of FAS-receptor was shown in subgroups of cleanup workers compared with controls. It should be noted that the average level of expression of CD95 antigen increased in direct proportion to the dose. The highest value recorded in the group of cleanup workers exposed to doses over 500 mSv. Analysis of intracellular expression of anti-apoptotic protein bcl-2 in PB lymphocytes of cleanup workers showed reduced expression of this marker in all dose subgroups to the control. So the general direction of change of key regulators of apoptosis in PB lymphocytes at a remote period after exposure is an increase of a degree of cell preparedness to start altruistic death process and a reduced functional status of proteins supporting an anti-apoptotic system. It depends also on a dose of exposure. Dose correlations in dose subgroups of cleanup workers revealed connection only with anti-apoptotic protein bcl-2 (bcl-2 vs Dose: I subgroup – $r=0.39$, II subgroup – $r=0.17$, III subgroup – $r=0.23$) ($p < 0.05$). Results of a study of expression of pro- and anti-apoptotic proteins: CD95 and bcl-2 are presented in table. 1.

In order to quantify the cell transit by the stages of apoptosis we performed a differential analysis of apoptosis of lymphocytes in the remote period after radiation. The decrease of cells in the early stages of apoptosis with Annexin+PI- phenotype was demonstrated in the third subgroup of cleanup workers compared to the control. Subgroups I and II subgroups are characterized by the growth of this index. The relative level of cells in the later stages of apoptosis in dose subgroups was not changed. Thus, the character of changes of apoptosis at low and high dose is different. Changing the balance of pro- and anti-apoptotic proteins in a dose range up to 500 mSv depends on the dose and accompanied by the entry of cells into apoptosis. At high doses there is a block of dose-dependent switching of anti-apoptotic proteins that is not accompanied by the group level increased number AnnexinV+PI- cells, indicating the incompleteness of apoptosis.

Table 1 – Percentage of lymphocytes expressing CD95 antigen and anti-apoptotic bcl2 protein at different dose intervals

PARAMETERS	PERCENTAGE OF POSITIVE CELLS (M±SD) BY GROUP			
	CONTROL	CHERNOBYL CLEAN-UP WORKERS		
		I subgroup (0<D≤100)	II subgroup (100<D≤500)	III subgroup (D>500)
CD95+	19,26±9,32	29,18±9,85	32,56±9,81	35,20±9,68
t-value	-	-6,41	-9,07	-8,51
P	-	<0,0001*	<0,0001*	<0,0001*
bcl2+	37,84±8,21	32,31±6,09	33,65±8,01	32,66±12,31
t-value	-	3,76	2,83	2,58
P	-	<0,05*	<0,03*	<0,01*

Investigation of the expression of *FASL* gene involved in regulation of FAS-pathway of apoptosis showed overexpression of this gene in the PB leukocytes of cleanup workers exposed to the doses higher than 500 mSv, showing the same direction changes of apoptosis on the transcriptional and translational levels. However, a significant increase of *FASL* gene expression was not accompanied, at group level, by an increased number of AnnexinV+PI- cells at the early stages of apoptosis, indicating incompleteness of programmed cell death. The explanation could be a depletion of apoptotic responses in remote period after exposure to high doses, and this is an unfavorable factor, since it can be to start the aging process, the accumulation of mutations and malignant transformation. Evidentiary support for a presence of such violations in the remote period after radiation exposure in the dose range of more than 500 mSv is provided by the overexpression of the *BIRC5* gene inhibiting apoptosis in complex with pro-apoptotic genes *BAX* and *MADD* decreased expression. *BIRC5* overexpression in a subgroup of cleanup workers irradiated at doses more than 500 mSv is an unfavorable sign of the risks of malignant transformation and explains blocking of apoptosis effects in this subgroup. *MKNK2* gene expression is characterized by a downward trend in all experimental groups, but statistically significant indices registered only in the I subgroup of cleanup workers.

Upon detection of DNA damage cell activates checkpoints, leading to a delay of proliferation or damage repair, or initiation of a programmed cell death to remove potentially harmful mutations. Irradiated cell descendants could become genetically unstable and can be transformed into cancer cells. A key role in the G1-check point of cell cycle plays a transcription factor p53, which acts as a mediator of proteins signal that recognize DNA damage to effectors that stop the cell cycle [11]. In our study a statistically significant increase was shown in relative quantification of *TP53* gene expression in remote period after exposure only in the dose subgroup of clean-up workers in the dose range of D>500 mSv. *TP53* gene activation is associated with the launch of programmed cell death, which was confirmed in our study. Established correlation between the relative expression of *TP53* gene expression and pro-apoptotic marker CD95 in subgroups of cleanup workers exposed in the dose range of D>100 mSv. Group of irradiated in the dose range 100<D≤500 mSv is characterized by an average correlation between the percentage of CD95+ cells and *TP53* gene expression ($r = 0,27$), whereas the group cleanup workers exposed to dose interval more than 500 mSv is characterized by a high degree of interaction ($r = 0,89$ ($p < 0,05$)) between the level of expression of FAS-receptor and RQ of *TP53*. Also correlations are demonstrated between the level of intracellular expression of anti-apoptotic bcl2 protein and indexes of RQ of *TP53* gene in group of Chernobyl cleanup workers (I subgroup – $r = -0,48$, II subgroup – $r = -0,34$, III subgroup – $r = 0,66$) ($p < 0,05$). Established correlation between the relative levels of *TP53* gene expression and intracellular levels of its product – the protein p53 in dose subgroups of Cher-

nobyl clean-up workers. Pearson coefficients were: I subgroup – $r = 0,36$ ($p < 0,05$), II subgroup – $r = 0,96$ ($p < 0,05$), the third subgroup – $r = 0,68$ ($p < 0,05$). This data demonstrate the positive effects of translational regulation of *TP53*. In analyzing the relative level of *TP53I3* gene expression in PB leukocytes of cleanup workers the statistically significant changes weren't found. The character of changes the RQ of *TP53I3* gene is similar to *TP53* gene expression.

Conclusion. At the remote period after radiation exposure we have demonstrated in cleanup workers a deregulation of apoptosis of immune cells that include: the increased *TP53*, *TP53I3*, *FASL* genes expression (positive regulation of apoptosis); imbalance in expression of pro- and anti-apoptotic genes (*BAX*, *BIRC5*); as well as in expression of receptors that regulate the ability of cells to apoptosis (overexpression FAS-receptor, low percentage of bcl2 protein). The result is an incomplete process of apoptosis, reduction of the number of cells as the early and late stages, manifested in the reduction of phosphatidylserine expression. To a greatest extent the described changes are determined after exposure to doses over 500 mSv.

References

1. Рябченко, Н.Н. Радиационно-индуцированная нестабильность генома человека / Н.Н. Рябченко, Э.А. Демина // Проблемы радіаційної медицини та радіобіології. – 2014. – Вып. 19. – С. 48-58.
2. Пилинская, М.А. Результаты 14-летнего цитогенетического мониторинга контингентов приоритетного наблюдения, пострадавших от действия факторов аварии на Чернобыльской АЭС / М.А. Пилинская, А.М. Шеметун, С.С. Дыбский // Вестник Рос. акад. мед. Наук. – 2001. – №10. – С. 80–84.
3. Gene expression signatures of radiation response are specific, durable and accurate in mice and humans / S.K. Meadows, H.K. Dressman, G.G. Muramoto GG [et al.] // PLoS One. – 2008. – Vol. 3 (4): e1912.
4. Association of radiation-induced genes with noncancer chronic diseases in Mayak workers occupationally exposed to prolonged radiation / M. Abend, T. Azizova, K. Müller [et al.] // Radiat Res. – 2015. – Vol. 183 (3). – P. 249-61. doi: 10.1667/RR13758.1. Epub 2015 Feb 23.
5. Germ-line mutations in p27Kip1 cause a multiple endocrine neoplasia syndrome in rats and humans / N.S. Pellegata, L. Quintanilla-Martinez, H. Siggelkow [et al.] // Proc Natl Acad Sci USA. – 2006. – Vol. 103 (42). – P. 15558-15563.
6. Radiation-induced intercellular signaling mediated by cytochrome c via p53 depended pathway hepatoma cells / M. He, M. Zhao, B. Shen [et al.] // Oncogene. – 2011. – Vol. 30. – P. 1947-1955.
7. Effects of cell cycle phase on low-dose hyper-radiosensitivity / S. Short, M. Woodcock, B. Marples, M.C. Joiner // Intern. J. Radiat. Biol. – 2003. – Vol. 79 (2). – P. 99 – 105.
8. If bystander effects for apoptosis occur in spleen after low-dose irradiation in vivo then the magnitude of the effect falls within the range of normal homeostatic apoptosis / A.H. Staudacher, B.J. Blyth, M.D. Lawrence [et al.] // Radiat. Res. – 2010. – Vol. 174 (6). – P. 727-731.
9. TP53 and TP53-related genes associated with protection from apoptosis in the radioadaptive response / R. Okazaki, A. Ootsuyama, T. Norimura // Radiat. Res. – 2007. – Vol. 167 (1). – P. 51-57.
10. Apoptosis: a review of pro-apoptotic and antiapoptotic pathways and dysregulation in disease / M.A. O'Brien, R.J. Kirby // Vet. Emerg. Crit. Care. – 2008. – Vol. 18 (6). – P. 572-585.
11. Regulation of the G2/M transition by p53 / W.R. Taylor, G.R. Stark // Oncogene. – 2001. – Vol. 20. – P. 1803-1815.

ОПУХОЛЕВОЕ МИКРООКРУЖЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО КОРРЕКЦИИ У МЫШЕЙ ЛИНИИ А/ф В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

Е.М. Кадукова, С.Н. Сушко

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, Беларусь, helena.kad@mail.ru

Введение. На основании комплекса работ по изучению медицинских последствий, проведенных в период после аварии на Чернобыльской АЭС, установлено, что радиоактивное заражение местности и облучение пострадавших от него людей является, несомненно, вредным для здоровья человека и биоты фактором. Однако возникают затруднения при оценке статистических данных о заболеваемости опухолями. Известно, что ионизирующее излучение способно индуцировать злокачественные опухоли практически во всех органах и тканях, но с разной частотой. В то же время на протяжении длительного латентного периода между действием радиации и манифестацией опухоли, на организм действует комплекс разнообразных загрязнителей, многие из которых обладают свойствами промоторов, что вносит сложности дифференцирования и соотношения онкогенеза к конкретному из факторов. Доказано, что канцерогенный риск имеет место только у тех людей, которые постоянно контактируют с радионуклидами и имеют эффективную эквивалентную дозу более 10 мЗв/год. В то же время при обсуждении факторов, влияющих на организмы, находящиеся на территориях, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС, говорят об их комплексном воздействии, не выделяя радиационный, как ведущий [1].

Одной из основных систем организма, в которой отмечаются изменения при действии большого количества факторов среды, является система иммунитета. В частности известно, что радиационные воздействия способны вызывать структурные изменения ее компонентов и приводить к функциональным нарушениям, которые могут проявиться, в том числе и онкологической патологией [2].

В связи с вышеизложенным цель данной работы: изучить влияние экологических факторов Полесского Государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), расположенного на территории 30-километровой зоны отчуждения ЧАЭС, на морфо-функциональное состояние альвеолярных макрофагов и процессы опухолеобразования в легких у мышей линии А/ф.

Материалы и методы: исследования выполнены на мышах линии А/ф обоего пола в возрасте 11-12 нед с начальной массой 19-20 г. Исходное количество мышей было разделено на 2 группы. Одна группа мышей была перемещена на экспериментальную базу в ПГРЭЗ (12-километровая зона отчуждения ЧАЭС – д. Масаны, мощность экспозиционной дозы в местах размещения животных на поверхности почвы составляла в среднем $3,29 \pm 0,10$ мкГр/ч). Вторая группа содержалась на стандартной диете в виварии г. Минска в качестве контроля. По мере выполнения эксперимента (1, 4 месяца) формировались экспериментальные равные группы животных обоего пола из вивария и зоны ПГРЭЗ.

Процесс образования опухолей анализировали по среднему числу аденом на мышь. Альвеолярные макрофаги (АМ) выделяли из легких, анестезированных тиопенталом натрия (1 мг/кг) животных, по методике [3]; подсчет количества клеток лаважа проводили в камере Горяева с пересчетом на весь объем (5 мл). Оценка фагоцитарной активности АМ дана по величине фагоцитарного индекса (% фагоцитов в общем количестве макрофагов) и фагоцитарного числа, характеризующего поглотительную актив-

ность фагоцитов (количество частиц латекса/фагоцит), а также оценивалась способность макрофагов переваривать *Staphylococcus aureus*.

Параллельно проводили исследования по влиянию острого γ -излучения в дозах 0,1; 0,35 и 1,0 Гр на выход аденом у мышей линии A/f (группы соответствовали вышеописанным по полу и количеству особей), подсчет опухолей производили через 4 месяца после радиационного воздействия. По 5-6 животных из каждой группы отбирали для исследования морфофункционального состояния макрофагов, как описано выше.

С целью исследования коррекции иммунодефицитных состояний, вызванных действием ионизирующего излучения, экспериментальным животным давались с питьем водные экстракты высших грибов *Flammulina velutipes* (опенок зимний) и *Phallus impudicus* (веселка обыкновенная).

Статистическую обработку экспериментального материала проводили с использованием *t*-критерия Стьюдента и критерия Манна-Уитни, системы Statistica 6.0.

Результаты исследования и их обсуждение. Модель рака легких у мышей линии A/ широко используется при изучении механизмов, лежащих в основе трансформации, инвазии и метастазирования опухолей, оценке канцерогенного риска факторов окружающей среды, для идентификации маркеров ранней диагностики. При этом альвеолярные макрофаги у мышей могут быть легко выделены, а вследствие малых размеров легких они подвергаются действию факторов, выделяемых опухолями, равномерно в объеме всего органа. В таблице 1 приведены результаты исследований динамики опухолеобразования в легких мышей, экспонированных в зоне отчуждения ЧАЭС.

Таблица 1 – Количество аденом легких у мышей линии A/f при экспозиции в зоне отчуждения ЧАЭС в течение 1 и 4 месяцев

Воздействие	Время экспозиции			
	1 месяц		4 месяца	
	число мышей, n	среднее (по группе) количество аденом/мышь	число мышей, n	среднее (по группе) количество аденом/мышь
Контроль (фоновый уровень)	39	0,31 ± 0,09	27	0,41 ± 0,08
Зона отчуждения ЧАЭС	24	0,37 ± 0,02	22	2,44 ± 0,58*

* различия статистически достоверны по отношению к контрольным значениям при уровне значимости $p < 0,05$

Из данных табл. 1 следует, что экспозиция мышей в течение 1 месяца в условиях воздействия экологических факторов зоны отчуждения ЧАЭС практически не повлияла на активацию опухолевого процесса в легких. При 4-мес. экспозиции в аналогичных условиях число опухолей значительно возросло, превысив соответствующий возрастной контроль в 5,9 раза и более чем в 6,6 раз уровень опухолеобразования в легких у мышей после 1 мес. экспозиции в зоне ЧАЭС.

При сравнении данных о процессах опухолеобразования в легких у мышей линии A/f через 4 месяца после воздействия однократного облучения в дозах 0,1; 0,35 и 1,0 Гр было установлено, что количество аденом на мышь увеличилось по сравнению с уровнем контроля в 2,82; 2,29 и 3,21 раза соответственно ($p < 0,05$).

Таким образом, показано, что воздействие ионизирующего излучения усиливает процессы опухолеобразования в легких мышей линии A/f, причем эффект при дозовом воздействии 0,1 и 1,0 Гр был сопоставим.

Одними из основных клеток системы иммунитета, которые могут непосредственно реагировать на факторы среды, воздействующие на организм, являются мак-

рофаги. Кроме того, макрофаги – постоянный компонент стромы развивающихся опухолей, а также они составляют до 50 % всех клеток опухоли [4]. Согласно современным представлениям о строении опухолей и механизмах их прогрессии макрофагам отводится одна из центральных ролей в формировании противоопухолевого ответа организма.

В настоящее время макрофаги подразделяют на клетки M1, M2a/b/c/ и M0 фенотипов [5], которые на самом деле не являются дискретными фактическими фенотипами, а лишь удобны при описании состояния макрофагов в тех либо иных условиях эксперимента. В действительности же эти клетки представляют собой популяцию из многомерного континуума возможных фенотипов и функций [6].

В литературе описано, что у мышей линии A/ макрофаги легких в норме в основном экспрессируют низкие уровни аргиназы I и iNOS, представляя собой неполяризованный тип клеток M0. При развитии в легких аденом среди макрофагов преобладают клетки с высоким уровнем экспрессии аргиназы I, т.е. M2 поляризованные макрофаги. Причем установлено, что поляризация макрофагов происходит уже на ранней стадии развития опухолевого процесса в легких с целью его поддержки и развития [7]. Кроме того сообщается, что поляризованные макрофаги различаются по функциональной активности и своим морфологическим характеристикам [8].

При исследовании морфофункциональных характеристик популяции АМ мышей линии A/f в ранние сроки после воздействия γ -излучения в дозах 0,1; 0,35 и 1,0 Гр нами показано, что, начиная с 7-х суток после облучения в дозе 1,0 Гр и на 15-е сутки – в более низких дозах в популяции клеток начинают преобладать макрофаги с фенотипическими признаками M2, которые имеют более низкую фагоцитарную активность по отношению к *Staphylococcus aureus* в лабораторных условиях. По нашим данным на 7-е сутки после радиационного воздействия средние значения площадей АМ превышали соответствующее значение контроля во всех группах облученных мышей. В популяции макрофагов после облучения в дозе 1,0 Гр отмечались средние и крупные клетки, а 30 % из них имели площадь более 450 мкм² (при средней площади макрофагов в соответствующем контроле 268,4±13,5 мкм²), что свидетельствует о преобладании в популяции клеток фенотипа M2 (проопухолевый фенотип).

Исследованием влияния внешнего γ -облучения на уровень опухолеобразования в легких у мышей линии Af было установлено, что облучение индуцировало повышение количества аденом/мышь, а также процента животных, у которых определялись аденомы, по сравнению с уровнем интактного контроля (табл. 2).

Таблица 2 – Количество аденом легких у мышей, употреблявших с питьем экстракт гриба *Flammulina velutipes* (опенок зимний) до и после фракционированного внешнего облучения в суммарной дозе 7,0 Гр

Группа животных	Число животных (♂ и ♀)	Количество аденом/мышь	% мышей с аденомами
1.Контроль	30	0,13±0,04	13,3
2.Облучение	26	0,36±0,05*	38,5
3. <i>Flammulina velutipes</i>	28	0,07±0,04	7,1
4. <i>Flammulina velutipes</i> +облучение	22	0,18±0,06**	18,2

* – различия статистически значимы по отношению к контрольным значениям при уровне значимости $p < 0,05$ по сравнению с контролем;

** – различия статистически значимы по отношению к значению группы «облучение» при уровне значимости $p < 0,05$.

У облученных мышей, получавших с питьем экстракт исследуемого гриба, начиная за месяц до первого облучения и в дальнейшем до вывода животных из эксперимента, практически вдвое было снижено количество аденом/мышь и % мышей, у которых обнаруживались аденомы в легких по отношению к аналогичным значениям у облученных мышей, которые пили воду (табл. 2).

В работе также показано, что употребление водных экстрактов базидиальных грибов *Flammulina velutipes* (опенок зимний) и *Phallus impudicus* (веселка обыкновенная) в течение 14 суток перед облучением мышей в дозе 1,0 Гр снижает как количество АМ, вымываемых из легких в ранние сроки наблюдения, так и их фагоцитарную активность по отношению к латексу. Таким образом, возможно, что мишенью для реализации противоопухолевых свойств водных экстрактов базидиомицетов после воздействия γ -излучения на мышей линии А/ф являются альвеолярные макрофаги, как основные компоненты микроокружения аденом легких. А одним из механизмов, лежащих в основе реализации этого эффекта, является возможность переключения фенотипов в популяции альвеолярных макрофагов с М2 на М1 для стимуляции их опухолецидных свойств в ранние сроки после действия радиации.

Литература

1. 25 лет после Чернобыля: состояние здоровья, патогенетические механизмы, опыт медицинского сопровождения ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции (Руководство для врачей) / Под ред. профессора С.С. Алексанина. – СПб.: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2011. – 736 с.
2. Реакция популяции клеток на облучение в малых дозах / И.И. Пелевина [и др.] // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2003. – Т. 43. – № 2. – С. 161–166.
3. Практикум по иммунологии / под ред. И.А. Кондратьевой, В.Д. Самуилова. – М.: изд-во Моск. ун-та, 2001. – 244 с.
4. Grivennikov, S.I. Immunity, inflammation and cancer / S.I. Grivennikov, F.R. Greten, M. Karin // Cell. – 2010. – Vol. 140. – P. 883–899.
5. Novak, M.L. Macrophage phenotypes during tissue repair / M.N. Novak, T.J. Koh // J Leukoc Biol. – 2013. – Vol. 93. – P. 875–881.
6. Mosser, D.M. Exploring the full spectrum of macrophage activation / D.M. Mosser, J.P. Edwards // Nat. Rev. Immunol. – 2008. – Vol. 8. – P. 958–969.
7. Quantitative analysis of early chemically-induced pulmonary lesions in mice of varying susceptibilities to lung tumorigenesis / E.P. O'Donnell [et al] // Cancer Lett. – 2006. – Vol. 241. – P. 197–202.
8. Функциональная активность альвеолярных макрофагов у больных бронхиальной астмой и гастроэзофагеальной рефлюксной болезнью / И.В. Маев [и др.] // Клиническая медицина. – 2013. – № 6. – С. 41–47.

ОСОБЕННОСТИ ЛАТЕРАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am В ПОЧВЕ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

С.А. Калиниченко, В.В. Головешкин, А.Н. Чудинов

Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», Хойники, Беларусь,
s-a-k@list.ru

Введение. Изучение ландшафтной дифференциации техногенных радионуклидов остается актуальным при организации радиационного мониторинга и планировании

реабилитационных мероприятий на загрязненных территориях. Ландшафтный анализ и оценка распределения радионуклидов являются важным элементом системы радиационной безопасности, направленной на оздоровление радиоэкологической обстановки [1]. Немаловажным фактором при этом является тип и степень лесорастительного покрытия исследуемого биогеоценоза. Специфика перераспределения радионуклидов будет существенно различаться в зависимости от типа формирования верхнего органогенного слоя, где в качестве биологического материала может выступать как быстро разлагающаяся подстилка лиственного леса, так и мощная многолетняя и многослойная подстилка сосняка. Иначе происходит пространственное перераспределение радионуклидов на поверхности участков лишенных лесорастительного покрытия (луга, залежи, суходолы).

Материалы и методы. В рамках комплексных мониторинговых научных исследований (2011-2015 гг.) нами были изучены особенности горизонтального распределения ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am в почве биогеоценозов с различными лесорастительными условиями. Исследования проведены на территории гидроморфного смешанного лиственного леса, бывшего сельхозугодия (залежи) с автоморфным типом почвы и соснового леса с низким УГВ. Все три экспериментальных полигона расположены в ближней зоне (отчуждения) ЧАЭС в районе исследовательской станции «Масаны» на расстоянии около 10 км от эпицентра аварии. Размер экспериментальных полигонов составил 100×100 м. При исследовании был использован метод вложенных квадратов. Отбор смешанных образцов почвы проводили стандартным пробоотборником диаметром 4 см на глубину 20 см. Одновременно были проведены измерения мощности дозы γ -излучения (МД) на высоте 1 м и 3-4 см от поверхности почвы при помощи дозиметра-радиометра МКС (EL) – 1117А. Полевые исследования были проведены в сухую погоду, измерение МД – в весенний период, до отрастания травянистой растительности. В лабораторных условиях пробы высушивали при $t=20-25^\circ\text{C}$ с последующим определением радионуклидов. С целью установления размаха варьирования содержания радионуклидов, в почве были определены коэффициенты вариации К. Пирсона (V). Статистическая обработка результатов была проведена стандартными биометрическими методами (вариационная статистика и корреляционный анализ).

Результаты исследования и их обсуждение. Для радионуклидного загрязнения выбранных нами экспериментальных полигонов, как и для всей 30-км зоны ЧАЭС характерен конденсационно-топливный тип выпадений. Поведение радионуклидов, представленных конденсационной компонентой, аналогично поведению изотопов глобальных выпадений. Радиологическое значение высокоактивных частиц реакторного топлива во многом зависит от плотности их выпадения, дисперсности, степени физической и химической устойчивости матрицы (деструкции) в реальных почвенно-климатических условиях. В обоих случаях процесс перераспределения радионуклидов по компонентам микрорельефа будет происходить по-разному. Это связано как с различиями в биогенной миграции, так и с физико-химическими свойствами самих элементов. Изменение как тех, так и других свойств определяется рядом факторов, среди которых мы рассматриваем наиболее определяющие, как для начального периода выпадений, так и для отдаленного – это тип лесопокровтия или его отсутствие и степень увлажнения поверхностных слоев почвы.

В целях выявления характера распределения радионуклидов в почве на территории экспериментальных полигонов нами был проведен вариационный анализ по основным статистическим параметрам. Расчет значений доверительного интервала в большинстве случаев показал незначительное отклонение от величины средних значений при характерном для таких исследований уровне значимости ($P \leq 0,05$), что говорит о высокой достоверности проведенных наблюдений. Показатели дисперсии и среднего

квадратического отклонения приемлемы для заданных условий имеющейся совокупности значений. Естественно менее всего варьирует такой показатель как МД, представляя собой производный результат измерения от нескольких источников. И чем выше проводится измерение от поверхности почвы, тем, естественно, будет происходить большее нивелирование точечных источников и ниже будет корреляционная связь с содержанием радионуклидов в почве. По всем исследуемым площадкам значения МД у поверхности почвы, более чем на 30 % выше, чем на высоте 1 м. Что касается различий в варьировании МД между экспериментальными полигонами, то наименьшими V отличался сосновый лес, а наибольшими березняк, что связано как с различиями в лесорастительных условиях, так и в режимах увлажнения. Проведенный анализ характера варьирования показал, что в лесных биогеоценозах в большей степени изменчивости содержания в верхнем слое почвы подлечит ^{90}Sr . Это подтверждается наибольшим V . Меньше различий в варьировании содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am в верхнем слое почвы наблюдается на залежном лугу, что зависит от структуры сформированного сообщества и отсутствия древесного яруса (рис. 1).

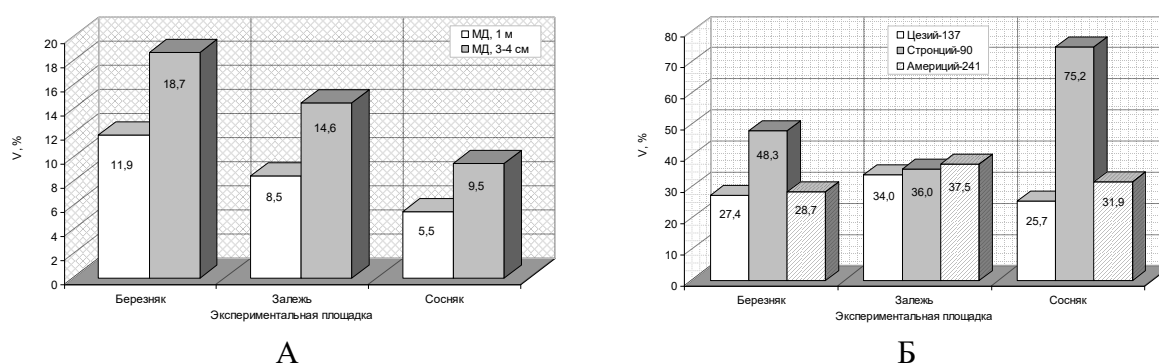


Рисунок 1 – Вариабельность значений МД γ -излучения (А) и содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am в верхнем слое почвы (Б), на различных экспериментальных полигонах, %

Проведенные нами исследования указывают на ряд общих закономерностей пространственного распределения радионуклидов в почве. В большинстве случаев все три исследуемых радионуклида имеют одинаковый характер варьирования признака в верхнем 20-см слое. Однако были обнаружены и некоторые отличия. Так, в отношении ^{90}Sr был получен высокий коэффициент вариации ($V=75,2\%$) для экспериментального полигона, расположенного в сосновом лесу, более характерный для свежих радиоактивных выпадений, что, скорее всего, связано со структурной организацией экосистемы соснового леса. Коэффициенты вариации для ^{137}Cs ($V=25,7\%$) и ^{241}Am ($V=31,9\%$) на исследуемом участке являются характерными для отдаленного периода аварии и подтверждаются исследованиями российских и украинских ученых [2-5].

Описанные выше особенности поведения радионуклидов характерны именно для тех условий, в которых они изучались. В других же условиях процессы латеральной миграции могут идти иначе. Так, например, неоднородность плотности загрязнения радионуклидов возрастает по мере увеличения гидроморфизма почвы. Существенную роль в горизонтальном распределении радионуклидов играют структурные колебания микрорельефа, т.к. его выпуклые формы, очевидно, являются зонами сноса, а вогнутые – зонами накопления радиоактивных элементов.

Полученные результаты указывают с одной стороны на более высокую мобильность ^{90}Sr в почвах зоны отчуждения, по сравнению с другими радионуклидами чернобыльского происхождения, с другой стороны на способность биотических компонентов

изучаемых лесных формаций в большей степени задействовать данный химический элемент в обменных процессах, происходящих в экосистеме, чем другие радионуклиды. Однако данные характеристики варьирования не содержат информации о законе распределения всей совокупности полученных данных. Следовательно, был проведен анализ вариационных рядов с проверкой нулевой гипотезы. При расчете параметров вариационных рядов были оценены показатели асимметрии и эксцесса. При $N = 100$, как в наших исследованиях, ошибки этих оценок составляют: $S_{As} = 0,24$ и $S_{Ex} = 0,48$. Дальнейший расчет критериев достоверности оценок (t_{As} , t_{Ex}) показал, что только для МД можно говорить о распределении эмпирических данных по нормальному закону. Это подтверждает проверка по биометрическим таблицам. В остальных случаях подтверждается гипотеза о логнормальном распределении чернобыльских выпадений.

При исследовании пространственного распределения ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am обращает на себя внимание во всех случаях правосторонняя (положительная) асимметрия вариационной гистограммы, а в отношении ^{90}Sr она еще и дискретна. Дискретность и асимметрия направлены в сторону образцов с наибольшей активностью, что подтверждает возможное нахождение на данном полигоне радионуклидов в составе горячих частиц. Так как количество горячих частиц снижается по мере удаления от эпицентра аварии, то естественно, принимая во внимание полученные результаты, будет наблюдаться и закономерное снижение коэффициентов корреляции и вариации. Если теоретически предположить условия равномерного распределения топливных частиц в почве, то при прочих равных условиях, такое снижение будет носить прямо пропорциональный характер.

Заключение. Исходя из проведенного анализа, можно заключить, что, так как распределение ^{137}Cs ближе всего по своим параметрам к нормальному закону, то в данном случае можно говорить об определенной стабилизации обстановки, на которую влияние будет оказывать в большей степени только физический распад. В отношении же ^{90}Sr обстановка представляется наиболее сложной, что связано с выходом его из состава матрицы топливных частиц и увеличении количества подвижных форм. По всей видимости, эти процессы в настоящее время продолжаются. Что касается ^{241}Am , то скорость процессов горизонтальной миграции данного радионуклида, несмотря на также продолжающиеся увеличение его количества в почве, ниже, чем для ^{90}Sr , что связано с более низкой биогенной миграцией и перераспределением его с биотой. При этом необходимо также учитывать и специфику радиоактивного загрязнения поверхности биогеоценоза (тип выпадений, радионуклидный состав и т.д.). Находясь в почве в определенных формах и обладая различными физико-химическими свойствами каждый радионуклид будет в разной степени реагировать на влияние того или иного фактора среды, будь то влияние биоты или фактора неживой природы.

Существующие различия в варьировании латерального распределения радионуклидов в почве биогеоценозов ближней зоны аварии на ЧАЭС обусловлены не только характером и временем радиоактивных выпадений, но и ландшафтно-структурной организацией экосистем, изменением гидрологических и погодноклиматических условий, типом растительного сообщества и роющей деятельностью животных. Влияние этих факторов требуют тщательного дальнейшего изучения.

Литература

1. Линник, В.Г. Ландшафтная дифференциация техногенных радионуклидов: геоинформационные системы и модели / Автореф. дис. ...докт. географ. наук: 25.00.23 // МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2008. – 40 с.
2. Иванов, Ю.А. Анализ факторов, определяющих долговременную динамику миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове // Научно-технический сборник «Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения». – 2009. – №9. – С. 23-39.

3. Линник, В.Г. Ландшафтно-географические исследования в связи с аварией на Чернобыльской АЭС // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5. География. – 1996. – №1. – С. 38-44.
4. Kashparov, V.A. Soil contamination with ^{90}Sr in the near zone of the Chernobyl accident / V.A. Kashparov, S.M. Lundin, Yu.V. Khomutinin [et al.] // Journal of Environment Radioactivity. – 2001. – Vol. 56, № 3. – P. 285-298.
5. Линник, В.Г. Принципы ландшафтно-геохимического и радиозэкологического картографирования территорий, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС (проект РАДЛАН) / В.Г. Линник, Л.М. Хитров, Е.М. Коробова. – М.: ГЕОХИ АН СССР, 1991. – 50 с.

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА ТЕРРИТОРИИ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ АВАРИИ НА ЧАЭС В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД

С.А. Калиниченко¹, Ю.Д. Марченко¹, О.А. Шуранкова²

¹Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», Хойники, Беларусь

²Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», Гомель, Беларусь, s-a-k@list.ru

Введение. Мощность дозы γ -излучения (МД) является интегрирующим показателем и одной из характеристик радиационной обстановки на загрязненных радионуклидами территории. За годы, прошедшие с момента аварии, радиационный фон существенно изменился. Значение МД в сравнении с первыми месяцами после радиоактивных выпадений снизилось в десятки и сотни раз. Темпы снижения МД могут значительно изменяться от различных факторов окружающей среды и процессов, происходящих с депонированными в почве радионуклидами. В настоящее время и в обозримом будущем, радиозэкологическая обстановка определяется долгоживущими радионуклидами (^{137}Cs , ^{90}Sr и трансурановыми элементами $^{238,239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am) и изменяется крайне медленно.

Материалы и методы. Проведение наблюдений за динамикой мощности дозы γ -излучения (МД), содержанием радионуклидов в почве осуществлялось на объектах постоянной реперной сети, которая включает в себя 12 площадок, расположенных вблизи и.с. Масаны, 9 из которых расположены в различных естественных биогеоценозах. По ландшафтным условиям экспериментальные площадки существенно отличаются друг от друга и включают в себя как бывшие агроэкосистемы (залежи), так и площадки расположенные в лесах различного типа. Измерения МД на реперных пунктах (Rp) расположенных на санитарно-защитной зоне и метеоплощадке и.с. Масаны проводились ежедневно, остальных 10-ти реперных пунктах – ежеквартально на высоте 1 м и 3-4 см над поверхностью почвы. Отбор проб почвы проводился по почвенному разрезу послойно: верхний слой 0-10 см с интервалом 1 см, далее – с интервалом 5 см до глубины 100 см.

Результаты исследования и их обсуждение. Снижение МД происходит в соответствии с уменьшением суммарной плотности загрязнения γ -излучающими радионуклидами. Поскольку в настоящее время короткоживущие радионуклиды в почве отсутствуют, радиационная обстановка в основном определяется содержанием ^{137}Cs . Снижение МД происходит по мере распада, миграции и удаления радионуклидов из почвы за счет вымывания и других процессов. В настоящее время вариабельность показателей по всем исследуемым площадкам составила 53,3 % (табл. 1).

Таблица 1 – Изменение мощность дозы γ -излучения на пунктах реперной сети, мкЗв/ч

	Rp1		Rp5		Rp6		Rp7		Rp8		Rp9		Rp10		Rp11		Rp12	
	3см	1м	3см	1м	3см	1м	3см	1м	3см	1м	3см	1м	3см	1м	3см	1м	3см	1м
среднее	2,54	1,96	2,47	2,27	5,11	3,84	3,58	2,44	3,59	3,00	4,30	3,63	2,84	2,53	0,95	1,41	3,95	3,12
min	1,86	1,71	2,05	1,91	4,08	3,34	3,15	2,26	2,73	2,72	3,81	3,29	2,49	2,17	0,78	1,19	3,40	2,76
max	3,27	2,40	3,07	2,75	5,66	4,26	3,86	2,70	4,50	3,31	5,00	4,03	3,35	2,86	1,18	1,73	4,42	3,41

Установлено, что медленнее всего снижение мощности дозы происходит на участках покрытых лесом и площадках, расположенных на гидроморфных почвах, где грунтовые воды в ряде случаев выходят на поверхность. На флуктуацию значений МД в большей степени оказывает влияние изменение погодных условий в данный период наблюдений, вызванных увеличением температурных параметров, снижением коэффициента увлажнения почвы и повышенной транспирация влаги из почвенных капилляров, что может вызывать рост фоновых показателей γ -излучения. В зависимости от типа биогеоценоза большое влияние может оказывать и интенсивность миграции радионуклидов вглубь почвенного профиля, вследствие чего происходит экранирование излучения верхними слоями почвы и почвенной влагой.

Проведенными ранее комплексными исследованиями было установлено, что флуктуации по годам и незначительное снижение (около 10 %) МД происходит в основном за счет погодно-климатических условий учетного года, в том числе и водного режима исследуемой территории, а также за счет естественных процессов распада. Поэтому погодно-климатические условия наряду с другими природными факторами играют предопределяющую роль в формировании радиационной обстановки. Изменение тех или иных метеорологических величин способствуют изменению характера динамики МД. Наиболее значительные изменения в динамике МД наблюдаются в зимние месяцы, данная закономерность прослеживается на протяжении многих лет. Установление устойчивого снежного покрова приводит к снижению интенсивности γ -излучения в 1,5-2,0 раза.

Изначальным фактором, определяющим интенсивность потоков радионуклидов между отдельными компонентами в биогеоценозе, естественно, выступает плотность загрязнения почвы и физико-химические особенности находящиеся в ней радиоактивных элементов. В дальнейшем при перераспределении радионуклидов по компонентам экосистем существенно возрастает роль биотических и абиотических факторов. Следовательно, с течением времени, прошедшего с момента попадания радионуклидов в биогеоценоз, могут происходить значительные изменения в накоплении их отдельными структурными звеньями сообщества. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs на исследуемых реперных участках варьировала в пределах 2519-5407 кБк/м² и не имела четкой корреляционной зависимости с величиной МД.

Помимо ^{137}Cs радиационная обстановка в ближней зоне аварии определяется в значительной степени ^{90}Sr и элементами трансуранового ряда. Детальные исследования изменения поверхностного загрязнения также были нами проведены на экспериментальных полигонах, расположенных в районе и.с. Масаны, различающихся по типу сообщества, генезису, ландшафтных и микроклиматическим условиям. В результате проведенных исследований оценка содержания радионуклидов в почве показала, что максимальные уровни плотности загрязнения выбранных площадок составили: для ^{137}Cs – 5820,9-8079,4 кБк/м², для ^{90}Sr – 2109,9-4550,9 кБк/м², для ^{241}Am – 133,0-148,9 кБк/м².

Вертикальная миграция ^{137}Cs приводит к снижению МД над поверхностью почвы, уменьшению интенсивности вымывания радионуклидов поверхностными водами, изменению размеров поступления их в растения в результате перераспределения, со-

здает возможность загрязнения грунтовых вод. Нами были проведены работы по оценке вертикальной миграции ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am по генетическому профилю 3-х разновидностей дерново-подзолистой почвы на стационарных пробных площадках в лесных массивах и на залежи (ПП-1 – залежь, ПП-2 – березовый лес, ПП-3 – сосновый лес). По полученным нами данным, в настоящее время больше всего радионуклидов удерживает подстилка соснового леса. Здесь сосредоточено до 29,6 % ^{137}Cs , 62,5 % – ^{90}Sr и до 12 % – ^{241}Am . В березняке эти данные составляют 27,7 %, 37,5 %, 5,6 % соответственно. На залежи естественно вся радиоактивность сосредоточена в гумусово-подзолистом горизонте. Скорость вертикальной миграции ^{90}Sr в 1,7 раз превышает скорость миграции ^{137}Cs и составляет 0,29-0,31 и 0,38-0,71 см/год соответственно. Скорость миграции центров запаса ^{241}Am находится на уровне 0,27-0,33 и 0,22-0,39 см/год. Существенно различаются величины глубины проникновения 50 % доли запаса радионуклидов в нижние слои почвы. Расчет был сделан без учета их содержания в подстилке (рис. 1).

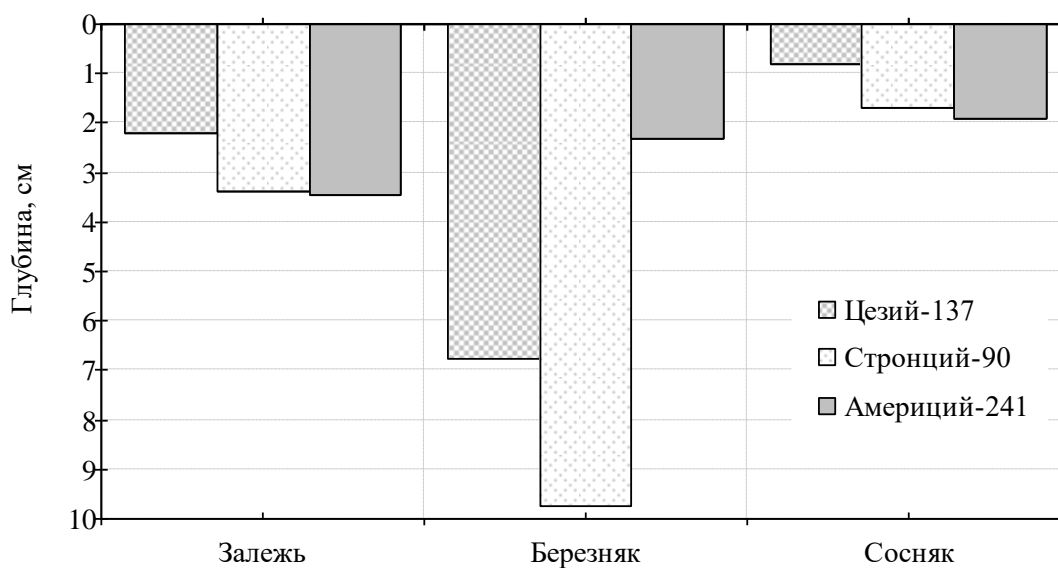


Рисунок 1- Глубина проникновения 50 % запаса радионуклидов в почву ПП, см

На вертикальное перераспределение радионуклидов, как ^{137}Cs , ^{90}Sr , так и ^{241}Am существенное влияние оказывает гидрологический режим почв. Наибольшей глубиной проникновения ^{137}Cs и ^{90}Sr отличалась гидроморфная почва березняка, а ^{241}Am глубже всего опускается на старопахотной почве залежи. Меньше всего заглубление исследуемых радионуклидов происходит в почве соснового леса, что естественно связано с более прочной фиксацией их в подстиляющем слое. Быстрее процесс миграции протекает в торфянисто-подзолистых почвах, сформированных в условиях полугидроморфного и гидроморфного условий увлажнения.

Другим немаловажным фактором является тип органогенного слоя и его мощность. Подстилка хвойного леса имеет более длительные сроки биологического разрушения, чем лиственного, соответственно связывает большее количество радионуклида на более длительный срок, а проникновение в минеральные слои почвы значительно меньше. В экосистемах с полным отсутствием лесной подстилки (залежи, луга и т.д.) естественно происходит миграция в минеральные слои большего количества радионуклидов.

В целом, анализ полученных данных по вертикальной миграции радионуклидов показал, что в почвах как луговых, так и лесных фитоценозов основная масса ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am сосредоточена в верхнем 5-см слое. Однако, распределение их в почвах лугов происходит более равномерно, в связи с отсутствием верхнего подстиляющего слоя.

Живой напочвенный покров и особенно травянистые растения, в природно-территориальных комплексах принимают наиболее активное участие в круговороте радионуклидов. На процессы вегетации травянистой растительности могут влиять климатические факторы (изменение температуры, влажности, количество атмосферных осадков и др.) и факторы, связанные с особенностями биологии видов. Это в свою очередь приводит к изменению ботанического состава всего растительного покрова рассматриваемой местности. Данное обстоятельство может приводить к преобладанию в травяном покрове видов, интенсивно аккумулирующих радионуклиды, либо при экстремальных неблагоприятных погодных условиях способствовать образованию участков со скудной малонакапливающей растительностью. Эти явления могут непосредственно влиять на величины МД на таких территориях.

Заключение. Исходя из проведенного анализа, можно заключить, что, медленнее всего снижение МД происходит на участках покрытых лесом и площадках, расположенных на гидроморфных почвах. Флуктуации по годам и незначительное снижение (около 10 %) МД происходит в основном за счет погодно-климатических условий учетного года, в том числе и водного режима исследуемой территории, а также за счет естественных процессов распада. Большую роль при этом играет тип живого напочвенного покрова. Установление устойчивого снежного покрова приводит к снижению интенсивности γ -излучения в 1,5-2,0 раза. В настоящее время больше всего радионуклидов удерживает подстилка соснового леса. Здесь сосредоточено до 29,6 % ^{137}Cs , 62,5 % – ^{90}Sr и до 12 % – ^{241}Am . На вертикальное перераспределение радионуклидов, как ^{137}Cs , ^{90}Sr , так и ^{241}Am существенное влияние оказывает гидрологический режим почв.

Литература

1. Алексахин, Р.М. Миграция радионуклидов в лесных биогеоценозах / Р.М. Алексахин, М.А. Нарышкин – М.: Наука, 1977. – 144 с.
2. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля: Пер. с англ. / Под ред. Ф. Уорнера и Р. Харрисона. – М.: Мир, 1999. – 512 с.
3. Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси (в связи с аварией на Чернобыльской АЭС) / В.И. Парфенов, Б.И. Якушев, Б.С. Мартинович и др. // Под общ. ред. В.И. Парфенова, Б.И. Якушева. – Минск: Навука і тэхніка, 1995. – 582 с.

REMOTE EFFECTS OF POST-CHORNOBYL IRRADIATION ON THE MALE REPRODUCTIVE HEALTH

A.V. Klepko, L.V. Sakovska, L.V. Gorban, Yu. A. Kondratova, S.V. Andreychenko

State Institution "National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine, kallav@mail.ru

Introduction. The territory of Ukraine is highly saturated with atomic power stations (APS). The exploitation of the APSs is not so safe because an unforeseen loss of radionuclides sometimes may occur resulting in wide scale pollution of territories by different radionuclides. Such events took place during Chornobyl disaster in 1986 [1].

The human reproductive system, specifically the male sexual cells, belongs to the category of actively dividing cells. Therefore different anomalies of the male reproductive system may emerge owing to the short or long-term exposures to ionizing radiation. In contrast to other cells, spermatozoa which belong to highly differentiated cells do not possess an effective antioxidant system of lipid defense because of little catalase activity. This may cause severe damage to spermatozoon structure as it was shown by several authors [2].

The basal apoptotic cell population in the ejaculated sperm might result from abortive apoptosis of sperm that escaped the elimination mechanism operating during spermatogenesis [3]. Elevated percentages of apoptotic spermatozoa have also been found after infections of the reproductive tract, cancer and other pathologies. Moreover, reactive oxygen species (ROS) are known to induce apoptosis in somatic cells and in maturing spermatozoa at the testicular level [4, 5].

The present research aims in evaluation quality and fertility potential of sperm collected from donors originating from radiation-polluted territories of Ukraine, namely Zhytomyr, Kyiv, Ivano-Frankivsk and Poltava, respectively. Apart from this, the role of radiation component in sperm damaging is to be assessed.

Materials and methods. Semen samples were obtained from 479 patients in the age interval 35 ± 6 years who have been subjected to examination in specialized hospital for inhabitants of radiation polluted territories affiliated to Scientific Centre for Radiation Medicine (Kyiv, Ukraine). All subjects were subdivided in 4 groups, namely: group I – inhabitants of Poltava region ($n=80$), group II – inhabitants of Ivano-Frankivsk region ($n=132$), group III – inhabitants of Kyiv region ($n=234$) and group IV – inhabitants of Zhytomyr region ($n=133$). The accumulated radiation dose for subjects from group I was calculated to be approximately 0,2 mSv, for group II – equal to 1,3 mSv, for group III – 4,8 mSv and for group IV – 9,9 mSv, respectively. All subjects were asymptomatic for genito-urinary infection. All of them gave written consent for participation in cross-sectional studies.

Freshly ejaculated semen was obtained by masturbation into sterile container after 3-4 days of sexual abstinence. Ejaculates were allowed to liquefy at $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 30 min. Semen profile was assessed by light microscopy according to the procedure proposed by the World Health Organization [6]. All flow cytometry analyses were performed on flow cytometer PAS (Partec, Germany) equipped with a single 488-nm argon-ion laser. Annexine V apoptosis detection kit I (BD Pharmingen, USA) was used to evaluate apoptosis quantitatively by tracking the translocation of phosphatidylserine from the inner to the outer leaflet of the spermatozoid plasma membrane [7]. Intracellular generation of O_2^- was estimated using dihydroethidine (DHE) of “Sigma” production, a membrane permeating uncharged probe that reports overall cellular O_2^- production through oxidation to ethidium bromide and emitting red fluorescence [8]. ROS generation was induced by the addition of DHE to spermatozoa in suspension with concentration 10^7 cells per ml to give a final concentration of DHE equal 2 mM, Fluorometric assessment of mitochondrial membrane potentials was made on the basis of mitochondrial specific probe Rhodamine 123 (Sigma) (R123) [9]. Comparison of data for different donors’ group was made using analysis of variances “Anova” and unpaired Student’s *t*-test with amendment of Bonferroni [10].

Research results and their discussion. The data on sperm quality of donors from different regions of Ukraine who participated in randomized cross-sectional studies concerning fertility potential of spermatozoa are presented in Table 1.

Table 1 – Sperm quality in different groups of donors

Group number	Volume of ejaculate (ml)	Concentration of spermatozoa ($\times 10^6$ sperm /ml)	Sperm progressive motility, %	Sperm immotility, %	Degenerative sperm, %
I	4.2 ± 0.8	95 ± 17	85 ± 12	8 ± 2	7 ± 2
II	3.1 ± 1.0	$60 \pm 14^*$	61 ± 11	$28 \pm 4^*$	19 ± 9
III	3.2 ± 0.6	67 ± 22	69 ± 18	$26 \pm 5^*$	$33 \pm 8^*$
IV	$2.2 \pm 0,7^*$	$43 \pm 13^*$	$45 \pm 11^*$	$33 \pm 6^*$	$53 \pm 12^*$

* – $p < 0.05$, significant difference with control (group 1)

It is seen that mean value of ejaculate volume gradually diminishes from 4.2 ml in Poltava region to 2.2 ml in Zhytomyr. Meanwhile the mean value of sperm concentration in ejac-

ulate was shown to be the highest in the samples from Poltava's inhabitants being equal to 95 million/ml. Interestingly, for Kyiv this index was more than for Ivano-Frankivsk, although the smallest magnitude was detected for Zhytomyr (43 million/ml). Similar mean values of progressive sperm motility were found in all 3 radiation polluted regions, while for Poltava's inhabitants the utmost meaning of the parameter was established to be equal 85%.

In the most radiation polluted region – Zhytomyr the sperm samples were characterized by a large proportion of degenerative spermatozoa along with immobile sperms. In Ivano-Frankivsk and Kyiv these variables exceeded those for Poltava but were significantly less than for Zhytomyr. In the table 2 the data concerning sperm subpopulations for different donors' group are given.

Sperm viability ($V/PI^- + V^+/PI^-$) was the highest in the samples from Poltava's donors, the mean value being 91%. For donors of Ivano-Frankivsk and Kyiv the differences in sperm viability were insignificant, while for Zhytomyr poor sperm viability was established. The quantity of necroses in spermatozoa tended to increase slightly with the rise of the mean value of accumulated dose for studied regions. Changes for non-viable apoptotic spermatozoa were more pronounced. Early signs of apoptosis development in spermatozoa were shown to progress gradually from Poltava to Zhytomyr. Thus, the apoptotic index for sperm samples was highest in Zhytomyr and lowest in Poltava. Also, raise in accumulated radiation dose was associated with elevation of ROS production in sperm samples (table 3).

Table 2 – Determination of sperm subpopulations in different donors' groups using Annexin V and PI staining

Group number	Region	Annexin V ⁻ /PI ⁻ , %	Annexin V ⁺ /PI ⁻ , %	Annexin V ⁺ /PI ⁺ , %	Annexin V ⁻ /PI ⁺ , %
I	Poltava, (0.2 mSv)	91 ± 6	4 ± 2	2 ± 1	3 ± 3
II	Ivano-Frankivsk (1.3 mSv)	81 ± 9	6 ± 2	11 ± 8	2 ± 1
III	Kyiv (4.8 mSv)	70 ± 6*	11 ± 4*	17 ± 3*	2 ± 2
IV	Zhytomyr (9.9 mSv)	58 ± 10*	19 ± 7*	12 ± 5*	12 ± 5*

* – p<0.05, significant difference with control (group 1)

ROS production for Zhytomyr donors was threefold more than for Poltava's donors and almost twofold more than for donors from Ivano-Frankivsk (1 rem). We found differences in the mitochondrial potential ($\Delta\psi$) of spermatozoa too. The total $\Delta\psi$ tended to drop down depending on the mean value of radiation accumulated dose, for Kyiv and Zhytomyr the mean values being significantly less than for Poltava (table 3.).

Table 3 – Apoptosis index, ROS production and mitochondrial potential changes in sperm under different terrestrial radiation pollution

Group number	Region	Apoptosis index, arbitrary units	ROS production DHE negative cells, %	Mitochondrial potential changes R123 positive cells, %
I	Poltava, (0.2 mSv)	13 ± 2	28 ± 11	72 ± 22
II	Ivano-Frankivsk (1.3 mSv)	14 ± 1	43 ± 9	55 ± 13
III	Kyiv (4.8 mSv)	15 ± 3	51 ± 15	53 ± 15
IV	Zhytomyr (9.9 mSv)	19 ± 2*	75 ± 12*	24 ± 7*

* – p<0.05, significant difference with control (group 1)

There are two crucial targets for ionizing radiation detrimental effects in living cells. First of all, radiation affects DNA that results in damaging nucleotides and accumulation of single along with double strand breaks in DNA structure [4, 11]. However, in spermatozoon DNA is present in nucleoprotamine complex as inactive component due to highly condensed state of chromatin and the absence of whatever DNA transcriptional activity. Therefore DNA damaging just for spermatozoon functioning is of little importance. On the other hand, the spermatozoon is highly dependent on the integrity of its plasma and mitochondrial membranes due to the necessity to maintain ion-floods on due level. That is why membranes may represent the other essential target for radiation impact. It is well known sperm cell membranes are rich of unsaturated fatty acids [12, 13]. These compounds are very sensitive to irradiation, especially their double bonds which are key points in radiation assault through hydroperoxide or hydroxyl radicals. Consequently, lipid peroxidation chain reaction is launched resulting in further destruction of membranes. These conditions are very favourable for intercepting electrons from electron transporting chain by free oxygen molecules, the superoxide radicals being produced. This pool of superoxide radicals is associated exclusively with mitochondria. In addition, there is a second pathway for superoxide radicals generation that is accomplished through special enzyme-oxidase which is located in the heads of spermatozoa [8, 14, 15].

Conclusion. Abatement of antioxidant enzymic activities in radiation damaged spermatozoa facilitate the propagation of free radicals, especially superoxide radicals, in mitochondria and spermatozoid heads. In turn, ROS penetrate into the nucleus and exert a direct effect on chromatin DNA causing overall disruption and formation of apoptotic bodies. In the last stage of apoptosis development cell death follows. Our results have established the gradual increase of apoptosis dependent cell deaths comparing to necrosis dependent cell death whose contribution to spermatozoid mortality significantly diminished for highly radiation polluted regions compared to low radiation polluted and non-polluted ones. This phenomenon is a hallmark of male-infertility progress. Thus, our investigations have shown that subjects living on radiation polluted territories may generate a great deal of damaged spermatozoa with the hidden molecular and cellular lesions. The latter would predispose inhabitants of radiation polluted regions to male-infertility. Therefore a special system of prophylactic arrangements needs to be elaborated to prevent further spreading of male infertility.

References

1. Dosimetry and radiation hygiene / I.A. Likhtariov, B.G. Bebeshko // Bulletin of Research Centre for Radiation Medicine AMS of Ukraine – 2005. – Vol. 5. – P. 2-10.
2. Role of reactive oxygen species in the pathophysiology of human reproduction / A. Agarwal, R.A. Saleh, M.A. Bedaiwy // Fertil Steril. – 2003. – Vol. 79. – P 829-843.
3. Apoptosis and necrosis in human ejaculated spermatozoa / C. Lachaud, J. Tesarik, M.L. Canadas [et al.] // Hum Reprod. – 2004. Vol. 19. – P. 607-610.
4. Origin and biological significance of DNA fragmentation in human spermatozoa / M. Muratori, S. Marchiani, M. Maggi, G. Forti, E. Baldi // Front Biosci. – 2006. – Vol. 11. – P. 1491-1499.
5. Mitochondrial membrane potential integrity and plasma membrane translocation of phosphatidylserine as early apoptotic markers: a comparison of two different sperm subpopulations / G. Barroso, S. Taylor, Morshedi M [et al.] // Fertil Steril. – 2006. – Vol. 85. – P. 149-154.
6. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen / World Health Organization. 2010. – 5th editor. – WHO Press, Switzerland. – P. 12-286.
7. Binding of annexin V to plasma membranes of human spermatozoa: a rapid assay for detection of membrane changes after cryostorage / H.J. Glander, J. Schaller // Mol Hum Reprod. – 1999. – Vol. 5. – P. 109-115.

8. Significance of mitochondrial reactive oxygen species in the generation of oxidative stress in spermatozoa / A.J. Koppers, G.N. De Iuliis, J.M. Finnie [et al.] // J Clin Endocrinol Metab. – 2008. – Vol. 93. – P. 3199-3207.
9. Flow cytometric sorting of living, highly motile human spermatozoa based on evaluation of their mitochondrial activity / J. Auger, S. Leonce, P. Jouannet [et al.] // J Histochem Cytochem. – 1993. – Vol. 41. – P. 1247-1251.
10. Altman D.G. Practical statistics for medical research. 1991. – Chapman and Hall, USA. – 294 p.
11. Germ cell and dose-dependent DNA damage measured by the comet assay in murine spermatozoa after testicular X-irradiation / G.A. Haines, J.H. Hendry, C.P. Daniel [et al.] // Biol Reprod. – 2002. – Vol. 67. – P. 854-861.
12. Fatty acid composition of spermatozoa and immature germ cells / A. Lenzi, L. Gandini, V. Maresca [et al.] // Mol Hum Reprod. – 2000. – Vol. 6. – P. 226-231.
13. Diagnostic value of the total antioxidant capacity (TAC) in human seminal plasma / R. Mahfouz, R. Sharma, D. Sharma [et al.] // Fertil Steril. – 2009. – Vol. 91. – P. 805-11.
14. Assessing sperm function / A. Agarwal, F. Monette, E. Sabanegh // Urol Clin North Am. – 2008. – Vol. 35. – P. 157-162.
15. Significance of sperm characteristics in the evaluation of male infertility / K.P. Nallella, R.K. Sharma, N. Aziz [et al.] // Fertil Steril. – 2006. – Vol. 85. – P. 629-634.

МИГРАЦИЯ ТУЭ ПО ТРОФИЧЕСКИМ ЦЕПЯМ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Р.А. Король, А.Н. Никитин

ГНУ "Институт радиобиологии НАН Беларуси", Гомель, Беларусь

Введение. Радиоактивное загрязнение в результате взрыва черновыльского реактора охватило значительные площади республики. В первые недели после катастрофы чрезвычайно высокие уровни радиации за счет короткоживущих изотопов, прежде всего ^{131}I , наблюдались по всей территории страны. В последующий период радиоэкологическая обстановка определялась действием долгоживущих изотопов. В их числе ^{137}Cs , ^{90}Sr , трансурановые элементы ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Pu и ^{241}Am . Это же характерно для настоящего момента и обозримого будущего [1]. Результаты исследования физико-химического состояния ТУЭ в почвенно-растительном комплексе свидетельствуют, что существует реальная опасность их поступления в организм человека через пищевые цепи [2].

Материалы и методы. Радиохимический анализ проводился в соответствии с МВИ. МН 1892-2003 «Методика определения активности стронция – 90 и трансурановых элементов в биологических объектах». Альфа-спектрометрические измерения проводились с использованием α -спектрометра «Alpha Analyst» (Canberra) с МДА по Pu-238, 239, Am-241 = 10-3 Бк/пробу и основной относительной погрешностью измерения при P = 0,95 не более 30%.

Основным объектом исследований являлась продукция животноводства, производимая в КСУП «Стреличево», расположенном на юге Гомельской области и граничащим с территорией отчуждения (ПГРЭЗ). Данное хозяйство практикует стойлово-пастбищный тип содержания КРС, который основывается на содержании коров в стойловых местах зимой, а летом производится выпас животных на пастбищах. Зимой коров кормят в стойлах силосом, сеном и соломой, а летом коровы питаются на пастби-

щах зеленой травой, а также осуществляется подкорм зеленой массой в сочетании с концентрированными кормами.

Результаты исследования и их обсуждение. Исходя из полученных данных о содержании ТУЭ в почвенных образцах пастбищных агроценозов КСУП «Стреличево» была рассчитана плотность загрязнения почв, которая составила $1,47 \pm 0,37$ кБк/м² для Am²⁴¹, $0,4 \pm 0,1$ кБк/м² для Pu²³⁸, $0,89 \pm 0,23$ кБк/м² для Pu^{239,240}.

В связи с тем, что поступление радионуклидов в организм крупного рогатого скота происходит в основном через потребление растительной пищи, было определено содержание ТУЭ в пастбищной растительности, которое составило 368,0 – 622,0 мБк/кг по ²⁴¹Am, 1,0 – 10,8 мБк/кг по ²³⁸Pu, 2,4 – 18,4 мБк/кг по ^{239,240}Pu.

Исходя из удельной активности исследуемых радионуклидов, были рассчитаны коэффициенты перехода в доминантные луговые растения, составляющие основу пищевого рациона КРС при пастбищном содержании для ²⁴¹Am, ²³⁸Pu и ^{239,240}Pu, которые равны $0,267 \times 10^{-3}$, $0,014 \times 10^{-3}$, $0,012 \times 10^{-3}$ соответственно. По накоплению трансураниевых радионуклидов в сухом веществе кормовых образцов, входящих в рацион питания КРС КСУП «Стреличево» установлен следующий возрастающий ряд: солома злаковых культур (Am²⁴¹ – 115,7 мБк/кг, Pu²³⁸ – 1,43 мБк/кг, Pu^{239,240} – 2,93 мБк/кг) → сено одно- и многолетних злаковых трав (Am²⁴¹ – 154,8 мБк/кг, Pu²³⁸ – 2,36 мБк/кг, Pu^{239,240} – 4,13 мБк/кг) → кормовая масса (Am²⁴¹ – 215,46 мБк/кг, Pu²³⁸ – 3,11 мБк/кг, Pu^{239,240} – 5,63 мБк/кг).

Результаты радиохимического анализа удельной активности америция-241 и изотопов плутония в органах и тканях КРС из сельхозпредприятия «Стреличево» представлены в таблице 1. Наиболее высокое содержание ²⁴¹Am наблюдается в костной ткани и достигает 0,84-1,76 Бк/кг. Изотопы плутония также в основном сконцентрированы в костной ткани. Содержание ²³⁸Pu, ^{239,240}Pu в данных образцах составляет 0,33-0,69 Бк/кг и 0,62-0,74 Бк/кг соответственно. Такое распределение характерно для поступления растворенных соединений трансураниевых элементов.

Таблица 1 – Содержание радионуклидов в животноводческой продукции (органы и ткани КРС) сельхозпредприятия «Стреличево», Бк/кг

Орган	Am ²⁴¹ , Бк/кг	Pu ²³⁸ , Бк/кг	Pu ^{239,240} , Бк/кг
<i>Зимний период</i>			
Легкое	0,21±0,05	0,14±0,04	0,22±0,06
Печень	0,14±0,04	0,06±0,02	0,14±0,04
Почки	0,08±0,02	0,04±0,01	0,07±0,02
Мышечная ткань	0,09±0,02	0,05±0,01	0,09±0,02
Шерсть с кожей	0,38±0,10	0,11±0,03	0,21±0,05
Костная ткань	0,84±0,20	0,33±0,08	0,62±0,16
Желудок (рубец)	0,56±0,14	0,27±0,07	0,48±0,12
<i>Летний период</i>			
Легкое	0,42±0,11	0,21±0,05	0,35±0,09
Печень	0,18±0,04	0,08±0,02	0,15±0,04
Почки	0,10±0,03	0,05±0,01	0,07±0,02
Мышечная ткань	0,14±0,04	0,06±0,02	0,11±0,03
Шерсть с кожей	0,96±0,24	0,12±0,03	0,23±0,06
Костная ткань	1,76±0,40	0,69±0,17	0,74±0,19
Желудок (рубец)	0,85±0,21	0,31±0,08	0,58±0,15

Среди органов, отличающихся наиболее высоким содержанием ТУЭ, следует отметить легкие: содержание ²⁴¹Am – 0,21-0,42 Бк/кг, ²³⁸Pu – 0,14-0,21 Бк/кг, ^{239,240}Pu –

0,22-0,35 Бк/кг. Это свидетельствует о сохранении ингаляционной составляющей загрязнения животноводческой продукции на отдаленном этапе катастрофы на ЧАЭС.

При прогнозировании содержания радионуклидов в товарной животноводческой продукции следует учитывать коэффициент перехода радионуклида из почвы в данный вид продукции [3]. Результаты данных расчетов представлены на рисунке 1.

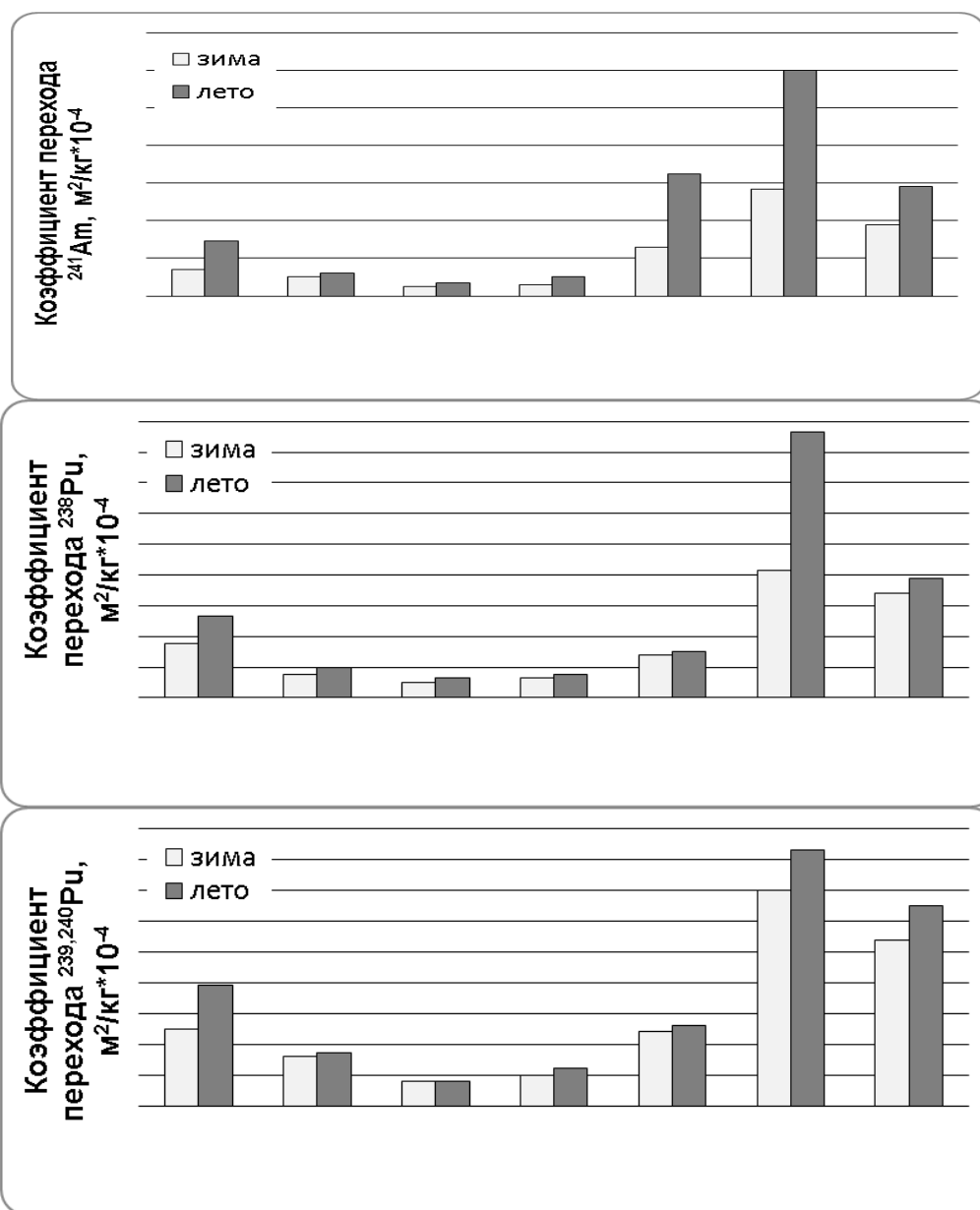


Рисунок 1 – Коэффициенты перехода изотопов плутония и америция из почвы в животноводческую продукцию (органы и ткани КРС) сельхозпредприятия «Стреличево», Бк/кг : кБк/м²

Как было отмечено выше, загрязнение продукции животноводства радионуклидами зависит от характера содержания скота. Причем одним из наиболее четких индикаторов выявленной зависимости является молочная продукция. Содержание радионуклидов в образцах молочной продукции КСУП «Стреличево» в различные периоды содержания животных (март-июнь-сентябрь) представлено на рисунке 2. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при стойловом содержании КРС

(март месяц), когда рацион животных во многом определяется наличием сена, силоса, сенажа, комбикормов и овощей, содержание радионуклидов в молоке снижается и составляет для Am^{241} 4,1 – 7,1 мБк/кг, для Pu^{238} 1,4-2,4 мБк/кг, для $Pu^{239,240}$ 2,9-5,9 мБк/кг. Во время пастбищного содержания скота, когда основным компонентом рациона является травянистая пастбищная растительность (одно и многолетние травы) и зеленая масса, наблюдается постепенное нарастание удельной активности молока, которая достигает 5,2 – 8,8 мБк/кг для Am^{241} , 2,5-3,4 мБк/кг для Pu^{238} , 5,3-7,2 мБк/кг для $Pu^{239,240}$.

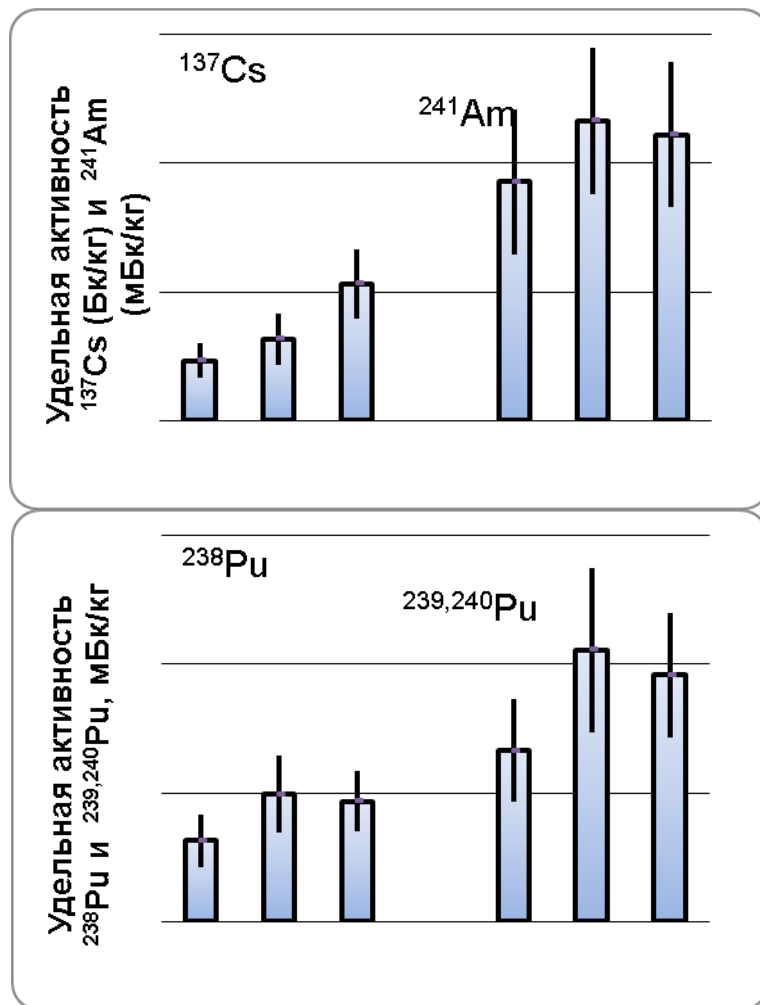


Рисунок 2 – Содержание трансурановых элементов и ^{137}Cs в молоке КРС

Заключение. Исследования, проведенные на данном этапе работы, расширяют знания о процессах перехода радионуклидов в пищевые продукты и их роли в качестве источников внутреннего облучения. Они позволяют с высокой степенью достоверности оценивать и прогнозировать величину удельной активности продукции животноводства, используя информацию о плотностях загрязнения кормовых угодий, без привлечения конкретных данных о результатах измерения уровней загрязнения сельхозпродукции радионуклидами в каждом населенном пункте. Основываясь на полученных данных, представляется принципиально возможным прогнозировать ожидаемые уровни загрязнения животноводческой продукции трансурановыми элементами по имеющимся данным о плотностях загрязнения территории. Однако следует учесть возможные различия биологической доступности Pu и Am при изменении почвенных условий, что требует проведения дополнительных исследований.

Литература

1. Национальный доклад. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление // Ком. по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Респ. Беларусь; под ред. В.Е. Шевчука, В.Л. Гурачевского. – Минск: Беларусь, 2006. – 112 с.
2. Бударков, В.А. Обоснование выбора крупного рогатого скота как одного из референтных организмов в системе окружающей среды от радиации // Радиационная биология. Радиэкология, 2009, том 49, №2. – С.179-185.
3. Агеец, В. Ю. Методические указания по выбору направления специализации сельскохозяйственных организаций на загрязненной радионуклидами территории: Метод. указания // В.Ю. Агеец, В.С. Аверин, Н.А. Мезенко, А.А. Баранов, и др. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2005. – С.51.

МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}Cs И ^{90}Sr В ПОЧВАХ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

А.В. Кудельский¹, В.И. Пашкевич¹, С.В. Овсянникова²

¹ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси», Минск, Беларусь,
kudelsky@nature.basnet.by

²Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, *svetlanaosv@mail.ru*

Введение. Изучение интенсивности вертикального перераспределения радионуклидов в почвенном покрове является одной из важнейших задач при оценке и прогнозировании радиэкологической ситуации на территории, загрязненной продуктами чернобыльского выброса. В юго-восточных и восточных регионах Беларуси, наиболее пострадавших от аварии на ЧАЭС, почвенный покров представлен автоморфными дерново-подзолистыми (по классификации FAO UNESCO – Podzoluvisol, 32,7-52,1 % от общей площади административных областей), полугидроморфными заболоченными дерново-подзолистыми (Gleysol, 29,5-26,7 %), дерновыми с дерново-карбонатными (Gleysol, 7,7-6,3 %) и аллювиальными дерновыми (Fluvisol, 13,2-9,2 %), а также гидроморфными торфяно-болотными (Histosol, 16,6-5,7 %) почвами. Большинство из этих почв характеризуется низким содержанием почвенного гумуса, повышенной кислотностью и незначительным содержанием подвижных микроэлементов. Среди минеральных почв широко распространены почвы легкого механического состава с содержанием фракции физической глины не более 20 %.

Объекты и методы исследования. Вертикальное распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвенном покрове изучалось в период с 1987 по 2002 г. в районах с широкими вариациями плотности загрязнения ^{137}Cs (от 6,9 до 1 760 кБк/м²) и ^{90}Sr (от 22,2 до 111 кБк/м² и более) [1-3]. Исследования проводились на 18 реперных площадках по профилю 96 шурфов (рис. 1).

Главные типы изученных почв представлены автоморфными дерново-подзолистыми (Podzoluvisol), полугидроморфными аллювиальными дерновыми (Fluvisol) и гидроморфными торфяно-болотными (Histosol) почвами. Почвенные пробы отбирали шурфовым методом с шагом 1 см на глубину до 10 см и далее с шагом 10 см на глубину до 50-60 см. После предварительной подготовки почвенных образцов по стандартной методике содержание ^{137}Cs в почвенных пробах определяли методом гамма-спектрометрии, а ^{90}Sr – посредством радиохимического анализа. По экспериментальным данным оценивали относительное распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr по

вертикальным профилям почв, местоположение центров запаса радионуклидов, скорости их заглубления (V) и коэффициенты квазидиффузии (D) радионуклидов [3].

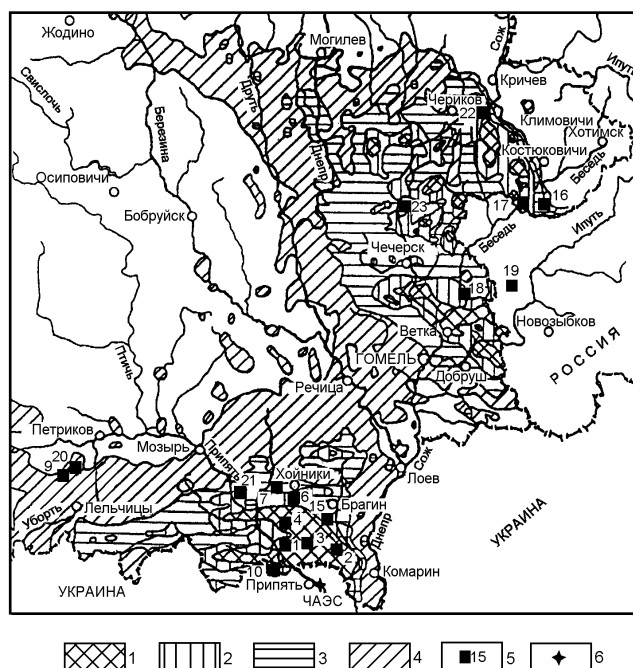


Рисунок 1 – Гидрографическая сеть и схема расположения реперных площадок по изучению миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах и их поступления в грунтовые воды

Плотность загрязнения территории ^{137}Cs : 1 – 1 480; 2 – 555-1 480; 3 – 185-555; 4 – 37-185 кБк/м²; 5 – исследовательские шурфы; 6 – ЧАЭС

Результаты и их обсуждение. По результатам изучения распределения радионуклидов по вертикальным профилям почв установлено, что даже через 16 лет после аварии на ЧАЭС основной запас ^{137}Cs (95-98 %) находился в верхнем (0–5)-см почвенном слое (рис. 2), реже – в (0–20)-см слое.

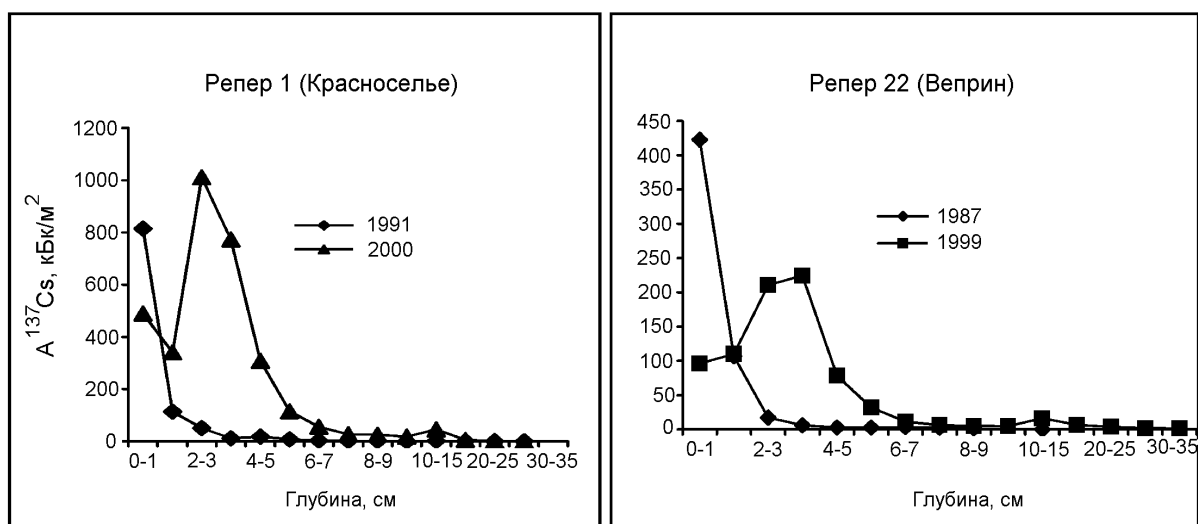


Рисунок 2 – Изменение во времени распределения ^{137}Cs в почвах
 Репер 1 – вершина песчаной дюны; репер 22 – аллювиальные дерновые почвы в пойме р. Сож

Основной запас ^{90}Sr в почвенном покрове 30-км зоны был сосредоточен в (0–15)-см слое. На полигоне Красноселье (песчаная дюна, репер 26а) глубина погружения центра запаса ^{90}Sr достигала 21 см (по состоянию на 1992 г.).

Установлены широкие вариации скоростей заглубления центров запаса радионуклидов V – от 0,11 до 2,66 см/год для ^{137}Cs и от 0,14 до 7,14 см/год для ^{90}Sr , а также коэффициентов квазидиффузии радионуклидов D – от 0,009 до 1,4 см²/год для ^{137}Cs и от 0,01 до 19 см²/год для ^{90}Sr .

Для автоморфных дерново-подзолистых почв (Podzoluvisol) высоких пойм и надпойменных террас установлена статистически достоверная ($R^2 = 0,63-0,95$) тенденция снижения параметров миграции ^{137}Cs (V , D) во времени (рис. 3), что объясняется необратимой сорбцией ^{137}Cs твердым субстратом почв в результате диффузии и закреплением радионуклида в межслоевом пространстве глинистых минералов.

Бабчин (М1), Святое (3а), Аравичи (6), Петьковщина,
Крюки, Струмень, Красноселье (1)

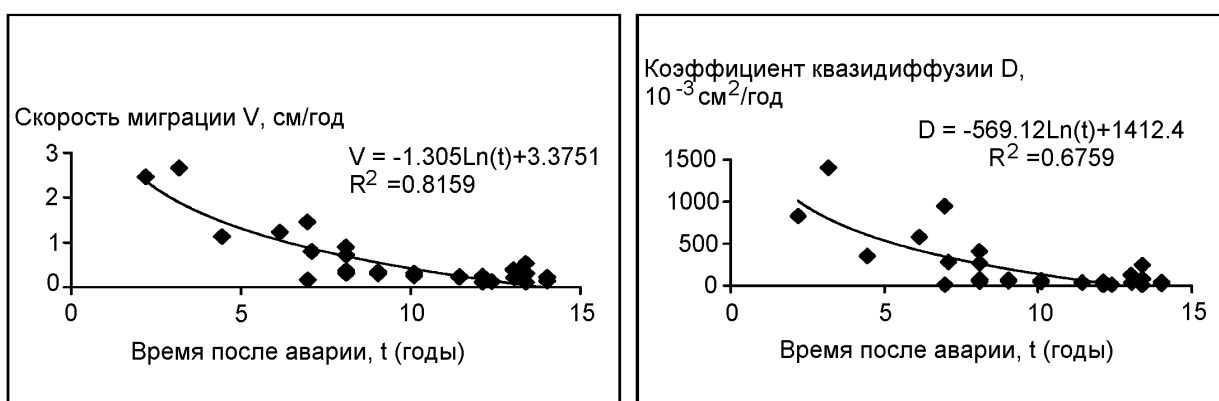


Рисунок 3 – Снижение во времени параметров миграции ^{137}Cs в почвах (дерново-подзолистых песчаных высоких речных террас и осушенных торфяно-болотных)
Местоположение реперных площадок и номера шурфов указаны на рис. 1

Радиоактивный стронций наиболее активно мигрировал в автоморфных дерново-подзолистых песчаных почвах. Для почв этого типа наблюдался рост параметров миграции ^{90}Sr во времени ($R^2 = 0,7-0,9$). Максимальные величины параметров V (4,4–7,14 см/год) и D (5,9–19 см²/год) были установлены для полигона Красноселье (репер 26а). Для полугидроморфных аллювиальных дерновых супесчаных почв низких и высоких пойм также был отмечен рост параметров миграции ^{90}Sr во времени. Уменьшение со временем параметров миграции ^{90}Sr установлено только для торфяно-болотных почв.

В первый год после аварии (1987) основной запас ^{90}Sr (до 95 %), удерживался в дернине или лесной подстилке. В последующие годы (1988–1990) центр запаса ^{90}Sr начал медленно смещаться вглубь почвенных профилей. Что касается торфяно-болотных почв, то в них миграция ^{90}Sr протекала медленнее и с относительно постоянной скоростью. Высокая емкость поглощения (от 98 до 165 мг-экв/100 г) и закрепление стронция малоподвижными гуминовокислотными компонентами сорбционного почвенного комплекса могут быть причиной низкой подвижности ^{90}Sr в почвах этого типа. Еще одной причиной относительно низкой подвижности радиоактивного стронция в торфяно-болотных почвах может быть включение радионуклида в структуру вевелита (оксалата кальция – $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), который часто присутствует в органических почвах. Даже через 15 лет после катастрофы на ЧАЭС центр запаса ^{90}Sr в торфяно-болотной почве на полигоне Кулажин оставался в верхнем (0-5)-см слое.

По результатам изучения распределения ^{137}Cs и ^{90}Sr между твердой фазой и поровой водой почв оценены коэффициенты распределения радионуклидов в почвах (K_d). Под коэффициентом распределения K_d подразумевается отношение удельной активности твердой фазы почвы к объемной активности почвенной поровой воды в состоянии межфазного равновесия. Чем выше коэффициент K_d , тем больше сорбционная способность почвы по отношению к радионуклиду и, соответственно, меньше его миграционная способность в почвенной среде.

В мае 1995 года коэффициент распределения K_d для ^{137}Cs в (0–15)-см слое почвы на вершине песчаной дюны (30-км зона, д. Красноселье) варьировал в пределах 640–3 890 л/кг. В таком же слое оглеенной торфяной почвы (Histosol) площадки Радин (репер 3, 30-км зона) коэффициент K_d для ^{137}Cs изменялся в пределах от 600 до 3 640 л/кг. В мае 1999 г. в (0–1)-см и (0–2)-см слоях задренованных песчано-глинистых почв поймы р. Сож (Веprin, репер 22, 250 км от ЧАЭС) коэффициент K_d достигал 8 780 л/кг и более.

В почвенном субстрате верхового болота Опромох, расположенного в Лельчицком районе Гомельской области (исследования 1993–1994 гг., шурф 6), коэффициент K_d для ^{137}Cs в слое 0–5 см варьировал в пределах от 130 до 465 л/кг, а в слое 10–15 см – от 465 до 2 150 л/кг. Для почвенного субстрата низинной торфяно-болотной экосистемы Майдан-2 (28 км от ЧАЭС) были свойственны более высокие коэффициенты распределения ^{137}Cs (от 1 140 до 7 130 л/кг) по сравнению с верховой экосистемой Опромох.

Коэффициенты распределения K_d для ^{90}Sr в изученных почвах были намного ниже, чем для ^{137}Cs . Так, в пределах низинного болотного массива Майдан-2 (шурф 8, слой 0–5 см, 1994 г.) коэффициент распределения ^{90}Sr варьировал в диапазоне от 5,3 до 52,9 л/кг. Такие же низкие K_d для ^{90}Sr (7,38–8,65 л/кг) были присущи торфяно-болотным почвам, подстилаемым рыхлыми аллювиальными песками, на полигоне Кулажин (шурф 1, слой 0–2 см, 2001 г., 20 км от ЧАЭС).

Заключение. Результаты исследований свидетельствуют о более высокой миграционной способности ^{90}Sr в почвах по сравнению с ^{137}Cs . Относительно низкие коэффициенты K_d для ^{90}Sr обусловлены активным переходом ^{90}Sr из твердой фазы почвы в почвенные поровые растворы с дальнейшей тенденцией к более интенсивной миграции радионуклида в грунтовые воды по сравнению с ^{137}Cs . Основная же часть ^{137}Cs необратимо сорбирована глинистыми минералами почвенного комплекса, что значительно снижает его миграционные свойства.

Литература

1. Mobility of Chernobyl-derived ^{137}Cs within the catchment of the Pripjat River, Belarus / A.V. Kudelsky [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 1996 – Vol. 188 (2, 3) – P. 101–113.
2. Parameters of ^{137}Cs migration in soils: changes over time / A.V. Kudelsky [et al.] // *Intern. Congress on the radioecology-ecotoxicology of continental and estuarine environments. Abstracts, P3M16(274), Aix-en-Provence (France), 3-7 Sept. 2001.*
3. Кудельский, А.В. Миграция ^{137}Cs в почвах зоны аэрации и уровни ^{137}Cs -загрязнения подземных вод Беларуси / А.В. Кудельский, Дж.Т. Смит, С.В. Овсянникова, В.И. Пашкевич // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология.* – 2004. – № 3. – С. 223–236.

ВЛИЯНИЕ γ -ИЗЛУЧЕНИЕ В РАЗНЫХ РЕЖИМАХ НА АНДРОГЕН-РЕЦЕПТОРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ ПРИ ГИПОФУНКЦИИ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ И В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

Ф.И. Куц¹, Е.Г. Попов², О.Л. Белоусов

¹ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, Беларусь, *hele-na.kad@mail.ru*

²ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», Минск, Беларусь

Введение. Сложившаяся на территории республики Беларусь радиоэкологическая ситуация привела к увеличению заболеваний эндокринной системы, спровоцированных, как полагают, массивными поступлениями в окружающую среду радиоактивных изотопов, особенно цезия и йода, а также повышением дозовых нагрузок от общего фона ионизирующих излучений. Вместе с тем механизмы структурно-функциональных перестроек и взаимосвязей между различными тканями развивающегося организма в условиях радиационного облучения в малых дозах еще далеко не выяснены. Известно, что тиреоидная и половая системы зависимы: гормоны щитовидной железы опосредуют синтез стероид-специфичных (в частности, рецепторных и транспортных) белков, а по механизму обратной связи половые стероиды являются маркерными для оценки состояния репродуктивной функции.

Цель данного исследования – изучить молекулярные характеристики рецепции андрогенов при действии различных режимов ионизирующего излучения и в условиях гипofункции щитовидной железы, а также у экспериментальных животных, экспонированных на территориях, находящихся в зоне отчуждения после аварии на ЧАЭС

Материалы и методы. В работе определяли состояние рецепции андрогенов по определению концентрации сайтов специфического связывания (рецепции андрогенов в цитозоле из семенников и предстательной железы). О величине специфического связывания (содержании сайтов рецепции андрогенов) судили по разнице между общим связыванием меченого гормона (5- α -дигидро-/1,2,6,7-³H₄-тестостерона) и неспецифическим (в присутствии 200-кратного избытка холодного аналога лиганда).

1) эксперименты проводили на крысах-самцах (возраст на момент анализа 6 мес), содержащихся на стандартном рационе вивария. Однократное внешнее γ -излучение осуществляли на стационарной ¹³⁷Cs-установке (мощность дозы 5,40 сГр/мин), хроническое (продолжительное) γ -излучение – на установке с источником ¹³⁷Cs (мощность дозы 3,03 сГр/сут). Учитывая влияние йодного периода в первые месяцы после аварии на ЧАЭС, радиоактивный изотоп ¹³¹I вводился крысам в виде водного раствора NaI парентерально однократно с активностью 2,5 МБк/кг, что составляло 500 кБк на животное. Во втором варианте опыта для создания модели гипofункции щитовидной железы (ЩЖ) животным вводили мерказолил перорально по 10 мг/кг веса в сутки в течение 21 дня после облучения и по 5 мк/кг в день после облучения до вывода из эксперимента (для поддержания химической гипofункции).

Часть экспериментальных животных выводилась непосредственно в зону радиоэкологического мониторинга и содержалась в реперной точке поймы реки Припять 30-км зоны Чернобыльской АЭС в условиях постоянно действующего низкоинтенсивного радиационного фактора при мощности дозы в среднем 0,14 мГр/сут. Крыс брали в опыт через 3, 10, 30, 90 и 180 сут после окончания экспериментальных воздействий в зависимости от варианта эксперимента.

Другие экспериментальные животные группами по 120 крыс содержались в течение 6 мес в зоне радиоактивного загрязнения (Хойникский, Брагинский, Чериковский, Кормянский районы Гомельской и Могилевской областей). Корм животных составляла продукция, полученная на радиоактивно загрязненных территориях. Все манипуляции с крысами проводили с соблюдением «Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных». Животных выводили из эксперимента под эфирным наркозом.

В опытах непосредственно использовали цитозоль тестикулярных тканей, полученный из гомогенатов декапсулированных семенников центрифугированием при 120000 g, в течение 60 мин при 4 °С. Таким образом, получали суммарный усредненный пул рецепторов андрогенов (РА) всего органа – семенников. Изменяя характеристики РА и параметры РА-систем в данном случае, получали интегральные показатели состояния и динамики эндокринных процессов, отражающих события во всей тестикулярной ткани. Все процедуры по подготовке проб к анализу на β -счетчике Mark-III (Tracor Analytic, США), а также расчет равновесных констант диссоциации и ассоциации, а также содержания сайтов специфического связывания рецепторов ДГТ проводили в координатах Скотчарда, как подробно описано нами ранее в [1]. Кооперативные характеристики рецепторов андрогенов, характеризующие их конформационные состояния, измеряли по методу Хилла [2]. Данные обрабатывали методом вариационной статистики с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение. Сравнительный анализ параметров андроген-рецепторной системы семенников крыс (табл. 1) показал, что повреждение функции ЩЖ сопровождается резко выраженным снижением концентрации цитозольных участков специфического связывания гормона. Так, радиоиндуцированная гипофункция ЩЖ (после инкорпорации ^{131}I) вызывает 4,7-кратное падение концентрации сайтов цитозольной рецепции андрогенов. Химическое повреждение ЩЖ мерказолилом сказывается 2,2-кратным снижением величин N_a у РА в сравнении с контрольными значениями. В отношении сочетанных воздействий химической гипофункции с внешним облучением сила эффектов оказалась в значительной степени определяемой мощностью радиоактивного источника. При одинаковой суммарной поглощенной дозе (1,0 Гр) на 10-е сут наибольший негативный эффект депрессии достигался после острого лучевого воздействия в отличие от такового при меньших мощностях дозы. Причем отличия при сравнении были примерно 1,8-кратными. Внешнее γ -излучение малой мощности не потенцирует действия М в отношении содержания РА к середине 2-й недели наблюдения, так как дополнительный вклад гипофункции ЩЖ отсутствует (табл. 1). Уместно отметить, что значения эффектов 1,0 Гр острого и пролонгированного облучения (без гипофункции ЩЖ) также существенно разнятся. Острое облучение к 10-м суткам сопровождается увеличением содержания РА примерно в 2,3 раза, в то время как после низкоинтенсивного следует лишь 36%-ное увеличение концентрации РА, т.е. сила эффекта при меньшей мощности дозы оказывается слабее более чем на 70%. В отношении степени сродства рецепторов к андроген-лиганду различия не выявляются, за исключением последствий инкорпорации изотопа ^{131}I , когда величины K_a гормон-белкового взаимодействия достоверно снижены в 1,3 раза, что исключает тождественность механизма развития радиационной и мерказолильной гипофункций ЩЖ. Значит, изменения в семенниках, связанные с поступлением в организм радиойода, являются результатом не только непосредственного действия излучения радионуклида на тестикулярную ткань, но и нарушения эндокринных корреляций, обусловленных поражением ЩЖ.

Результаты отслеживания временной динамики изменения РА-функции, т. е. ее зависимости от сроков после прекращения радиационных воздействий (табл. 2), свидетельствуют о восстановлении показателя N_a по мере увеличения сроков наблюдения.

Таблица 1 – Равновесные характеристики андроген-рецепторного связывания ³H-5- α -дигидротестостерона в тестикулярном цитозоле крыс под влиянием гипофункции щитовидной железы, вызванной инкорпорацией иода-131 и мерказолилом, в сочетании с внешним облучением, M \pm m

Изучаемый параметр	Иод-131, 500 кБк/крыса+14 сут	Мерказолил	Мерказолил +1,0 Гр от острого облучения+10 сут	Мерказолил +1,0 Гр от хронического внешнего облучения+10 сут	1,0 Гр от острого облучения+10 сут	1,0 Гр от хронического внешнего облучения+10 сут	Контроль
N _a	115 \pm 18*	243 \pm 35*	145 \pm 38	256 \pm 38*	1253 \pm 43*	753 \pm 51*	540 \pm 49
K _a	0,37 \pm 0,02*	0,58 \pm 0,10	0,52 \pm 0,14	0,54 \pm 0,11	0,56 \pm 0,07	0,42 \pm 0,18	0,48 \pm 0,04
η _H	1,72 \pm 0,11*	1,43 \pm 0,09*	1,08 \pm 0,18*	1,05 \pm 0,13*	1,22 \pm 0,17*	1,02 \pm 0,35*	2,11 \pm 0,05
n	9	6	5	5	5	6	12

Примечание. N_a (фоль/мг белка) – содержание сайтов цитозольной рецепции андрогенов;

K_a ($\times 10^9$ M⁻¹) – равновесная константа ассоциации в реакции; η _H – коэффициент Хилла (безразмерная величина, которая характеризует степень кооперативности при взаимодействии гормона с рецептором); n – число определений.

* – различия статистически достоверны по отношению к значению соответствующего контроля при уровне значимости p < 0,05.

Таблица 2 – Содержание сайтов рецепции андрогенов в тестикулярном цитозоле крыс с экспериментальной гипофункцией щитовидной железы, вызванной введением мерказолила, в сочетании с внешним облучением и 1-месячным содержанием животных в р.т. «Припять» 30-км зоны ЧАЭС, в зависимости от сроков наблюдения после прекращения радиационного воздействия, M \pm m

Сроки после окончания воздействия, сут	M	Зона	M + 1,0 Гр от острого внешнего облучения	M + 1,0 Гр от хронического внешнего облучения	M + зона	1,0 Гр от острого внешнего облучения	1,0 Гр от хронического внешнего облучения	Контроль
3	215* \pm 44	308* \pm 48	89* \pm 19	232* \pm 53	185* \pm 36	1288* \pm 41	621 \pm 74	532 \pm 26
30	334* \pm 38	347* \pm 36	185* \pm 52	168* \pm 25	97* \pm 18	1232* \pm 65	862* \pm 74	539 \pm 47
90	412* \pm 42	426* \pm 53	206* \pm 48	378* \pm 45	433* \pm 76	764* \pm 32	541 \pm 65	554 \pm 43
180	414* \pm 34	ND	ND	510 \pm 75	226* \pm 88	226* \pm 88	652 \pm 89	566 \pm 49

Примечание. M – гипофункция щитовидной железы, обеспеченная введением мерказолила; зона – после 1-месячного содержания крыс в р. т. «Припять» 30-км зоны ЧАЭС (0,143 \times 10⁻⁸ Гр/с); ND – определение не проведено

* – различия статистически достоверны по отношению к значению соответствующего контроля при уровне значимости p < 0,05.

Характерно, однако, что мерказолильная гипофункция как сама по себе, так и в сочетании с действием внешних источников излучения продолжает сказываться в течение всех сроков наблюдения, усугубляя радиационные воздействия. Не наблюдалось восстановления N_a-характеристик рецепторной системы до состояния нормы вплоть до

180-х суток. В то же время, несмотря на то, что интенсивность внешнего облучения при пребывании крыс в р.т. «Припять» была значительно ниже, чем в условиях эксперимента, параметры N_a , как РА-функции, оставались сниженными в 2–2,5 раза и не восстанавливались даже через 3 мес после вывоза из зоны. Это можно объяснить дополнительным действием инкорпорированных радионуклидов, поступавших с пищей.

Таким образом, молекулярные характеристики РА-систем изменялись в нелинейном режиме, нося колебательный характер, с пиком девиаций РА-характеристик в отдаленные сроки наблюдения.

Обнаруженные сбои в контроле рецепции гормонов в тканях, их числа и аффинности могут являться главной причиной дезинтеграции в работе. Это может привести к сдвигам в нейроэндокринной системе из-за высокой радиочувствительности отдельных популяций клеток семенников, печени, гипофиза и гипоталамуса. В свою очередь это влечет за собой нарушение процессов образования и созревания половых клеток, а также общего гормонального гомеостаза организмов, находящихся в условиях действия радиационного фактора.

Анализ данных в эксперименте на животных, которые 6 мес содержались на реперных участках Могилевской и Гомельской областей с различными уровнями радиоактивного загрязнения, выявил повышение концентраций цитозольного пула андроген-рецепторных молекул пропорционально поглощенным дозам при облучении (от 100% в контроле до 261% в реперной точке «Брагин»). Аналогичная динамика изменения содержания рецепторов наблюдалась и в случае инкорпорации ^{137}Cs в отдаленные сроки после его введения. Выполненные гравиметрические измерения массы предстательной железы показали, что по мере увеличения суммарной поглощенной дозы наблюдается ее снижение вплоть до 49% от контроля. При этом в предстательной железе происходит развитие гипоплазии и дегенеративных процессов, которое в основном наблюдается в эпителиально-железистом пуле клеток. Кажущееся противоречие между увеличением содержания рецепторов андрогенов, являющихся одним из потенцирующих факторов функции простаты и реально фиксируемыми дегенеративными явлениями с последующим снижением массы железы можно объяснить уменьшением функционального пула рецепторных молекул. Одним из факторов в механизме нарушения андроген-рецепторного взаимодействия, особенно на начальном этапе, является мономеризация части нативных (димерных) молекул рецепторов андрогенов со снижением их физиологической активности. В последующем происходит ингибирование транслокации цитоплазматических андроген-рецепторных комплексов в ядра клеток-мишеней и накопление их в цитоплазме. Одновременно с этим имеет место нарушение взаимодействия андроген-рецепторных комплексов с хроматином ядра, а также изменяется синтез de novo самих рецепторных белков и состояние ядерных мембран клеток. Кроме того, часть эффектов, помимо локального действия ионизирующего излучения может опосредоваться через центральную гипоталамо-гипофизарно-гонадную цепь, так как даже незначительное количество радиотоксинов оказывает повреждающее воздействие на популяцию нейроцитов и приводит к сдвигам нейро-гормонального контроля, нарушая нормальное функционирование репродуктивной системы. Полученные данные позволяют глубже понять механизмы развития радиационно-обусловленной патологии для принятия мер при развитии нарушений в репродуктивной системе, возникающих под влиянием радиозэкологической обстановки, сформировавшейся на территории Беларуси после аварии на ЧАЭС.

Литература

1. Влияние относительно малых доз γ -излучения на андроген-рецепторные отношения при экспериментальной гипофункции щитовидной железы / Ф.И. Куц [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2003. – № 1. – С. 74–78.

2. Попов, Е.Г. Рецепция андрогенов в семенниках крыс: сравнительный анализ эффектов инкорпорированных ^{137}Cs , ^{131}I и внешнего γ -облучения / Е.Г. Попов, Ф.И. Куц, О.Л. Белоусов // Весті НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2001. – № 2. – С. 95–99.

ТИПЫ ПАЛИНОТЕРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОТЛОЖЕНИЙ ИЗ 30-КМ ЗОНЫ ЧЕРНОБЫЛЯ И ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЭКСТРЕМУМОВ

Г.М. Левковская¹, Н.В. Шамаль², М.Г.Орехова², Д.А. Брицкий³,
В.П. Мацко, И.И. Сквернюк

¹*Институт истории материальной культуры РАН, Санкт-Петербург, Россия,
ggstepanova@yandex.ru*

²*Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь*

³*Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

Введение. Спорово-пыльцевые комплексы поверхностных проб современных *отложений* отражают (в специфическом палинологическом виде) особенности растительности фитоценозов, доминирующих в ботанико-географических подзонах, и одновременно – специфику локальной растительности. Это доказано сотнями палинологов. Поэтому они пригодны для оценки состояния фитоценозов из 30-км зоны Чернобыля. Но предложенная ранее методика [1] оценки экологического состояния территории на основе изучения качества пыльцы *из пыльников* растений не отражает состояние растительности, а лишь отдельных растений.

Методика. Основные принципы палинотератной дифференциации нормальных, стрессовых или катастрофических состояний фитоценозов были разработаны [2] на основе статистики о соотношении в палинокомплексах отложений: 1. морфологически типичных и нормально развитых пыльцевых зерен и спор и 2. Морфологически атипичных палиноморф – палинотератов. Статистика по экологически чистым поверхностным пробам и ископаемым отложениям плейстоцена и голоцена, собираемая Г. М. Левковской с 1958 года во многих районах от Аравии до Таймыра и от Закараптья и Прибалтики до Алтая и Енисея, показала, что в климатических оптимумах господствуют морфологически типичные и нормально развитые формы, а в наиболее неблагоприятных климатических обстановках прошлого и в экстремумах ледниковых эпох, регистрируемых по комплексу данных, практически нет типичных и нормально развитых форм. Господствуют формы одновременно карликовые и недоразвитые [2, 3, 4]. Эти палинотератные комплексы отражают стрессовое состояние репродуктивной сферы большинства растений территории, т.е. являются индикаторами природных геоботанических стрессов и катастроф. Было установлено, что для решения экологических проблем в палинотератной части комплекса важно рассчитывать процентное соотношение: 1. карликовых пыльцевых зерен всех таксонов, 2. всех уродливых палиноморф, 3. всех невызревших (абортивных) форм, семь признаков которых, включая карликовость, выявлены Е.Н. Анановой [5] при изучении ледниковых отложений. Эти критерии были использованы нами при изучении палинокомплексов поверхностных почвенных проб из Чернобыля [6, 7, 8], формировавшихся в условиях очень высокого радиоактивного заражения (МЭД на почве 2200-530 мкР/час).

Полученные результаты и их обсуждение. Исследованы поверхностные почвенные пробы, отобранные в 1987 в районе поселков Крюки, Масаны и Лесок из 30-км зоны Чернобыля. Выполнено сравнение качественных и количественных характеристик комплексов из районов с разной степенью загрязнения радиоактивными изотопами: ^{90}Sr

– до 14000, ^{137}Cs – до 270000, ^{241}Am – до 150 и $^{239,240}\text{Pu}$ – до 99 Бк/кг [6]. Благодаря оригинальной методике подготовки СЭМ-столиков к исследованиям впервые получено несколько сотен СЭМ-микрографий не только отдельных морфологически атипичных форм, но и радиационно обусловленных палинотератных комплексов. Но эти материалы не обобщены, поэтому пока дифференцированы лишь два типа чернобыльских палинотератных комплексов.

Первый тип чернобыльского комплекса был выявлен в результате исследования пробы Крюки (рис.1) с особенно высоким загрязнением ^{137}Cs . Его подробная характеристика и СЭМ-микрография опубликованы [6: с. 272]. Главная особенность этого комплекса – многообразие вариабельности отклонений всех признаков пыльцевых зерен от палиномрфологических норм в результате мутагенеза. Доминирующая морфологическая патология – монстровидная уродливость всех форм и всех признаков каждой формы (зерна асимметричны, на их поверхности наблюдается чередование утолщений и эрозий и т.д.). Одновременно каждая форма неполностью развита: стерильна, лишена протопласта и скульптуры. Большинство форм, но не все, имеют карликовые размеры. Похожий тип комплекса выявлен Е. А. Сиренко [9] в мацератах отложений пруда-охладителя с теплой стороны чернобыльской дамбы, где было найдено большое количество (до 50 %) дефектной пыльцы и форм плохой сохранности (по-видимому недоразвитой).

Второй тип чернобыльского комплекса выявлен в результате изучения пробы Масаны (ри. 2) с особенно высокими загрязнениями ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am . Его подробная характеристика и СЭМ-микрография опубликованы [6: с. 275]. Особенность этого комплекса – доминирование патологии: неразвитие и протопласта, и спородермы, и экзины в центре всех пыльцевых зерен. На СЭМ-микрографии видно господство «пустых» внутри контуров пыльцевых зерен, окаймленных утолщенной оболочкой без скульптуры.

Данные по Чернобылю сопоставлены с результатами изучения отложений, формировавшихся в прошлом на пределе существования всех цветковых растений из-за резкого дефицита температур. Такие условия существуют сейчас на границе равнинных арктических и полярных тундр (отсюда нами изучены пробы с полуострова Ямал [10]), где присутствует и нормально развитая заносная пыльца, а также субальпийского и альпийского поясов гор.

На рисунке 3 приведена СЭМ-микрография ископаемого комплекса, формировавшегося в экстремальных условиях границы субальпийского, альпийского и степного поясов. Экология была реконструирована на основе палинологических [4, 6] и палеозоологических [11] данных. Он выявлен нами (рис.3) из отложений Баракаевской пещеры для времени захоронения в ней неандертальского ребенка. Сейчас пещера расположена в нижней части пояса широколиственных лесов. СЭМ-микрография этого комплекса опубликована [4, 6]. При изучении этого комплекса на световом микроскопе нами выявлены все признаки комплекса недоразвитой пыльцы, описанные Е.Н. Анановой для ледниковых отложений [5]: 1. все морфологические признаки неразвиты у большинства форм, особенно скульптура, 2. господствуют мелкие формы (их средний размер на публикуемой СЭМ микрографии – 10 мкм), но есть единичные крупные, 3-5. для форм характерны: 3. стеклянный блеск, 4.зеленовато-желтый цвет, 5. их уплощенность и утонченность, 6. встречаются формы стянутые в конгломераты (рис.3: 5,6), 7. из-за недоразвития трудно определить систематическую принадлежность большинства форм даже к семейству.

Выводы. Природные палинотератные комплексы отличаются присутствием незначительного количества дефектных (уродливых) форм, поэтому для них характерно доминирование форм, каждая из которых, в отличие от Чернобыльских, имеет не три

типа экологически значимых патологий, а лишь два: карликовость + недоразвитие (незрелость) различных морфологических признаков, особенно протопласта. Комплексы наиболее резких климатических природных экстремумов выглядят как кладбища «контуров» неопределимых утонченных (из-за незрелости протопласта) ультра-карликовых форм.

В комплексах чернобыльского типа каждая форма имеет три экологически значимых патологии: дефектность форм, доведенная до их монстровидности + неразвитие ряда признаков (в отличие от недоразвития в природных комплексах) + карликовость многих форм (но размеры нестабильны).

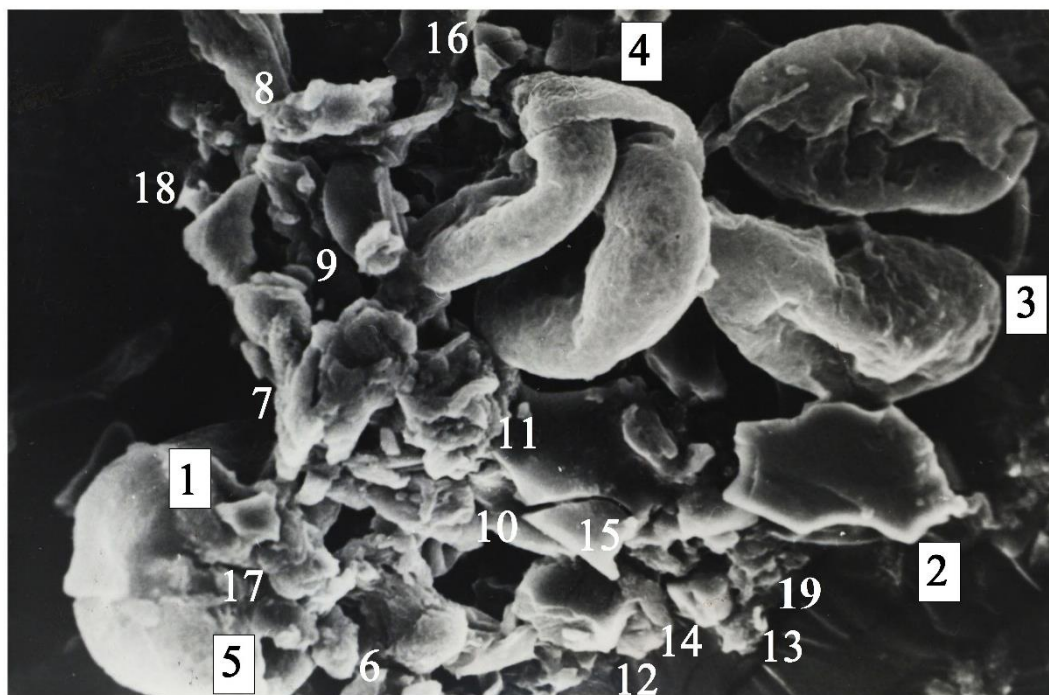


Рис. 1. СЭМ-микрография фрагмента палинотератного комплекса поверхностной почвенной пробы Крюки с высоким радиоактивным заражением из района ЧАЭС Расстояние до Чернобыля 16 км. МЭД на почве – 2200 мкР/час. Максимум загрязнения ^{137}Cs . Рисунок опубликован [6: с. 272]. Комплекс выглядит как «кладбище» монстровидно-уродливых форм, неразвитых полностью (нет протопласта и экзины), стерильных, преимущественно мелкого размера.

1-4 – тератоморфные пыльцевые зерна, систематическая принадлежность которых установлена: 1 – береза (*Betula* sp.), 2 – ольха (*Alnus* sp.), 3 – тератоморфное пыльцевое зерно хвойного растения в полярном положении, 4 – монстровидное пыльцевое зерно хвойного растения в экваториальном положении, 5-19 – тератоморфные пыльцевые зерна, систематическую принадлежность которых сложно или невозможно определить из-за недоразвития и дефектности: 5-7 – неопределимые крупные пыльцевые зерна, 8-18 – карликовые пыльцевые зерна (13 – асимметрично развитое зерно типа *Alnus* sp., но суперкарликового размера; 19 – зачаток пыльцевого зерна *Cichoriaceae* (?) с почти неразвившейся вокруг зерна экзиной). СЭМ (×540).

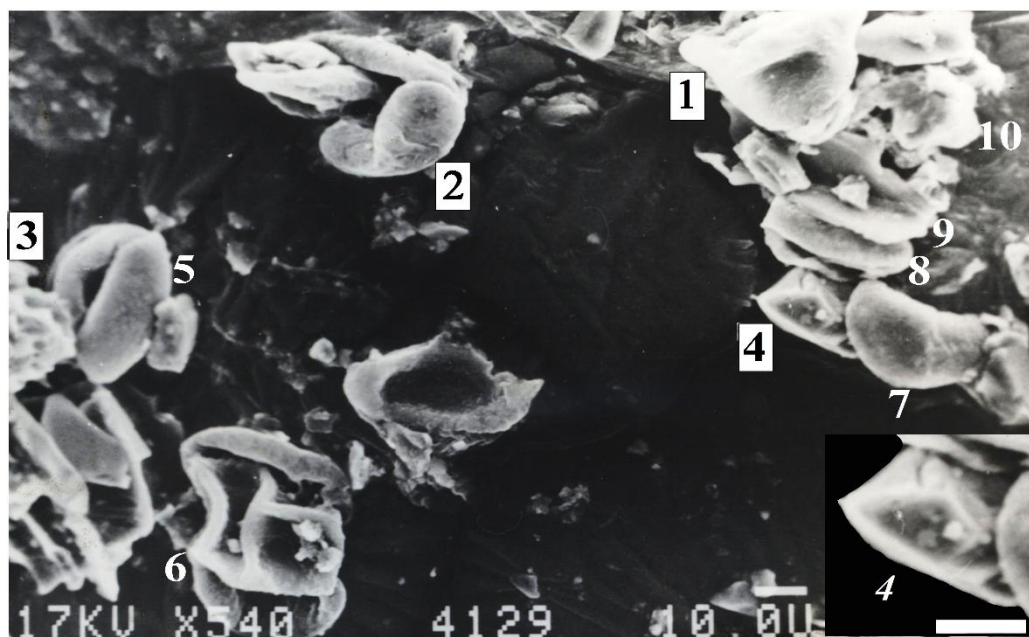


Рисунок 2 – СЭМ-микрография фрагмента палинотератного комплекса поверхностной почвенной пробы Масаны с высоким радиоактивным заражением

Расстояние до Чернобыля 12 км. МЭД на почве – 530 мкР/час. Максимум загрязнения ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am . Рисунок опубликован [6: с. 275]. Комплекс выглядит как «кладбище» пустых внутри форм с толстыми оболочками, у которых полностью не развиты протопласт и скульптура.

1-2 – идентифицированные тератоморфные пыльцевые зерна хвойных древесных пород: 1 – монстровидное пыльцевое зерно с карликовыми мешками; 2 – карликовое асимметричное пыльцевое зерно; 3 – идентифицированное зерно цикориевых (*Cichoriaceae*); 4 – «мутант»: асимметрично развившийся фрагмент п.з. с апертурой бегулоидного типа и отсутствием протопласта; 5-9 – контуры «пустых» внутри (из-за отсутствия протопласта) недоразвившихся пыльцевых зерен разных таксонов. СЭМ ($\times 540$).

Таким образом, комплексы чернобыльского типа выглядят как «кладбища» контуров неопределимых форм с толстыми оболочками, но «пустых» внутри или как «кладбища» неопределимых монстровидно-уродливых форм с эрозиями и опухолевидными наростами и вариабельностью размеров. Для обоих типов комплексов характерно господство стерильных и неопределимых форм. Определимые палиноморфы единичны. Несколько больше их вблизи леса.

Количество типов чернобыльских комплексов по-видимому возрастет в результате обобщения накопленных фактических материалов. Главная задача дальнейших исследований – изучение специфики палинотератных комплексов отложений, формирующихся спустя много лет после Чернобыльской катастрофы и попытка выявления ареалов различных типов комплексов на основе палинотератной статистики и по отложениям, и по пыльникам современных растений.

Статья посвящена светлой памяти ушедших из жизни соавторов данной статьи В.П. Мацко и И.И. Сквернюк, работавших во второй год после Чернобыльской катастрофы в условиях высокой радиации.

Современный пояс широколиственных лесов. СЭМ-микрография палинотератного комплекса с «кладбищем» невызревших («абортивных» по Е.Н. Анановой [5]) форм ультра-карликового размера. Рисунок опубликован [4 – с. 236; 6 – с. 280]. Ком-

плекс выглядит как «кладбище» недоразвитых или очень тонких и плоских (из-за недоразвития) ультра-карликовых форм с единичными полиадами.

Комплекс – индикатор геоботанического кризиса для всех цветковых растений на границе альпийского, субальпийского и степного поясов, реконструируемых по палеозоологическим [11] и палинологическим [4, 6] данным.

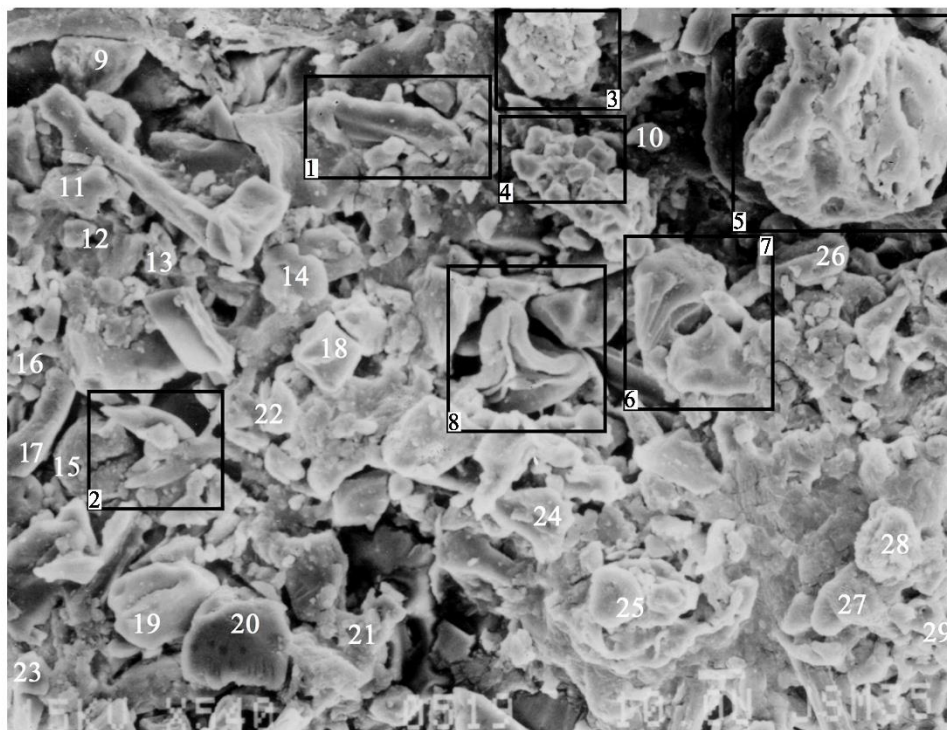


Рисунок 3 – Мустьерская пещерная стоянка Баракаевская на Кавказе с находкой челюсти неандертальского ребенка времени климатического экстремума стадиала Позднего Валдая (раскопки В.П. Любина)

1 – фитолит злака (*Poaceae*); 2-7 – пыльцевые зерна, систематическая принадлежность которых определена: 2. можжевельник (*Juniperus sp.?*); 3. астровые (*Asteraceae?*); 4. березовые (*Betulaceae?*) – полиада с недоразвитыми ультракарликовыми пыльцевыми зернами; 5. лебедовые (*Chenopodiaceae?*) – полиада с недоразвитыми ультракарликовыми пыльцевыми зернами; 6. недоразвитое пыльцевое зерно ольхи (*Alnus sp.?*); 8 – спора из дочетвертичных отложений, слагающих кровлю пещеры. 9-29 – незрелые и мелкие пыльцевые зерна разных таксонов, систематическую принадлежность которых невозможно определить из-за недоразвития. СЭМ (×540).

Литература

1. Дзюба, О.Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. – СПб.: Недра, 2006. – 198 с.

2. Levkovskaya, G.M. Palynoteral Complexes as Indicators of the Ecological Stress, Past and Present // Proceedings of the 5-th European Palaeobotanical and Palynological Conference. Acta Palaeobotanica. International Journal of Palaeobotany and Palynology. – Kraków, 1999. – Vol. 2 – P. 643–648.

3. Левковская Г.М. Типы палинотератных «ответов» генеративной сферы растений на климатические изменения внутри плейстоценовых циклов: гляциал-интергляциал и стадиал-интерстадиал / Г.М. Левковская, А.Н. Боголюбова // Материа-

лы XI Всероссийской палинологической конференции «Палинология: теория и практика». – М.: ПИН РАН, 2005. – С. 132–133.

4. Levkovskaya, G. Late Caucasian Neanderthals of Barakaevskaya Cave: Chronology, Palaeoecology and Palaeoeconomy / G. Levkovskaya, V. Lyubin, E. Belyaeva // *Caves in Context. The Cultural Significance of Caves in Europe.* – Oxford, 2012. – P. 225–253

5. Ананова, Е.А. О недоразвитой пыльце в ледниковых отложениях // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. – М.: Наука, 1966. – С. 18-22.

6. Левковская, Г.М. Качество пыльцы и особенности палинокомплексов некоторых природных экстремумов плейстоцена и их сравнение с палинокомплексами отложений с высоким радиоактивным заражением из района чернобыльской техногенной катастрофы / Г.М. Левковская, А.Н. Боголюбова // Проблемы современной палинологии. Мат. XIII Российской палинол. конф. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2011. – Т. 2. – С. 278-285.

7. Левковская, Г.М. Качество пыльцы и особенности палинокомплексов поверхностных почвенных проб из района Чернобыля (данные по отложениям с высоким радиоактивным заражением) / Г.М. Левковская, В.П. Мацко, И.И. Сквернюк, М.Г. Орехова, Л.А. Карцева // Проблемы современной палинологии. Мат. XIII Российской палинол. конф. – Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2011. – Т. 2. – С. 271-277.

8. Levkovskaya, G.M. Pollen indication of the natural and Chernobyl type geobotanical catastrophes // *Japanese Journal of Palynology. Abstracts. 13-th International Palynological Congress. 9-th International Organization of Palaeobotany Conference.* –Tokyo, 2012 – № 58. – P. 126-127.

9 Сиренко Е.А. Палинологические данные к исследованию донных отложений водоемов 30-километровой зоны Чернобыльской АЭС // Пыльца как индикатор состояния окружающей среды и палеоэкологические реконструкции. Доклады к Международному семинару. – СПб: ВНИГРИ, 2001. – С. 189-191.

10. Левковская, Г.М. Зональные особенности современной растительности и рецентных спорово-пыльцевых спектров Западной Сибири // Методические вопросы палинологии. Тр. III Междунар. палинол. конф. – М.: Наука, 1973. – С. 116 – 120.

11. Барышников, Г.Ф. Остатки позвоночных из Баракаевской мустьерской стоянки // Неандертальцы Гупского ущелья на Северном Кавказе. – Майкоп: Меоты, 1994. – С. 69-75.

EM TECHNOLOGY IN EUROPE

Jun Matsumoto¹, Ueli Rothenbühler², Attila Murányi³

¹*EMRO EHG Deutschland GmbH, matsumoto@emro-ehg.de*

²*EM Schweiz AG*

³*Környezetminőség Kft, Hungary*

Introduction. Effective Microorganisms (EM) is commercially known as EM•1, and it consists of a wide variety of effective and beneficial microorganisms such as lactic acid bacteria, yeast and phototrophic bacteria. EM Technology was developed more than 30 years ago by Dr. Teruo Higa (Professor emeritus of the Rukyus University of Japan). Due to his long time effort for guidance and assistance in the research and application, EM Technology is spread around the world. Nowadays, the EM network consists of manufactures in 56 countries and EM•1 is distributed in more than 100 countries.

In Europe, there are currently 5 Authorized Manufacturers of EM•1, and EM•1 is distributed in more than 27 countries. EM•1 is registered and widely used as soil improvement agent for agriculture and feed additives for animal husbandry. However, recently it is also used for environmental protection such as waste water treatment, mine revitalization, etc. Two case studies described below are good examples to show the effects of EM Application.

Case study No.1: Influence of EM feed on health and performance of weaning piglets

Because the use of antimicrobial growth promoters and high zinc concentrations are now prohibited in EU, the risk of diarrhea tend to increase in piglet production. Therefore, it is important to develop an alternative method to the use of antibiotics. To evaluate the influence of EM feed as alternative additive on heath condition and performance of weaning piglets, an experiment was carried out by University of Zollikofen in Switzerland (SHL Zollikofen) in May, 2002 in the experimental stable of SHL Zollikofen under animal experiment license BE 15/01. EM feed was made with EM Bokashi (organic materials fermented by EM) mixed with biochar. This mixture was added at 3% in feed.

According to the results, EM feed can help reduce the use of antibiotics by more than 95% for piglets (Fig. 1), and promote the piglet health. Moreover, EM feed resulted in a significantly higher ($P < 0.05$) feed intake (d1-14 and d1-21) compared to the conventional feed. Furthermore, EM Feed led to higher daily weight gain (d1-14) compared to the control treatment (Fig.2).

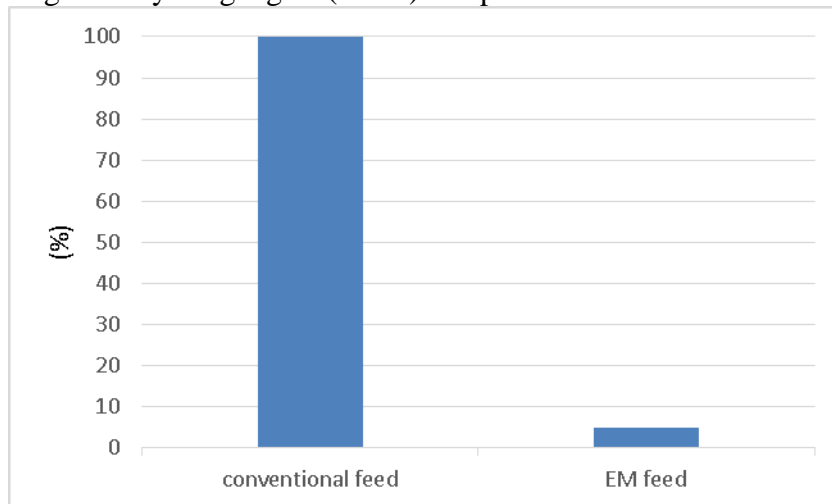


Fig.1 – Effect of EM feed on reducing use of antibiotics for weaning piglets

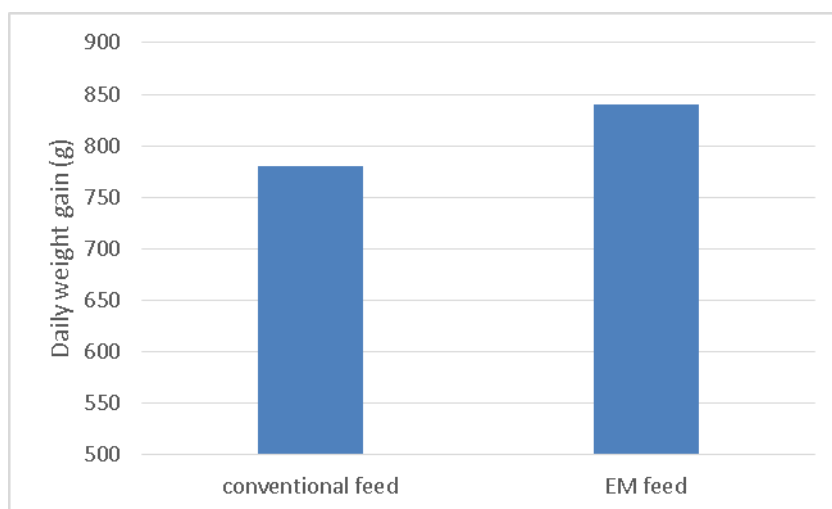


Fig. 2 – Influence of EM feed on weight gain of weaning piglets

Case study No.2: Revitalization of lead mine waste by EM Technology™

Lead is one of the most toxic heavy metal and lead mine waste generated can be a source of environmental contamination, which can cause problems to plants, animals and human health. Therefore, EM Technology was applied to evaluate the efficiency of EM to revitalize the lead mine waste. The field experiment was carried out in the field highly contaminated lead mine waste of a closed mine located in Gyöngyösoroszi, Hungary. Three kinds of the plants, grasses (mixture of selected species), Sorghum and Sudan grass were seeded and cultivated on the surface of the lead mine waste applied by four different treatments was applied: ① fly ash, ② fly ash + EM, ③ fly ash + lime and ④ fly ash + lime + EM.

When EM was applied the number of heterotroph bacteria as well as the number of microscopic fungi in the rhizosphere of test plants was higher in each case. EM application not only produced higher biomass (Fig. 3), but also decreased the heavy metal content in plants (Fig.4).

The experiment proved that EM Application was efficient to revitalize the lead mine waste. The phytostabilization of the waste surface was successful.

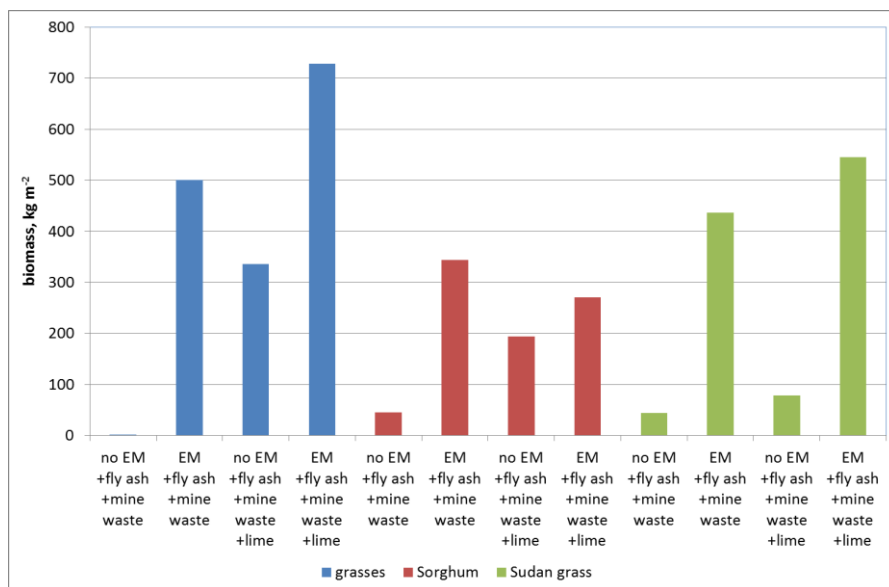


Fig.3 – Effect of EM treatment on the biomass production

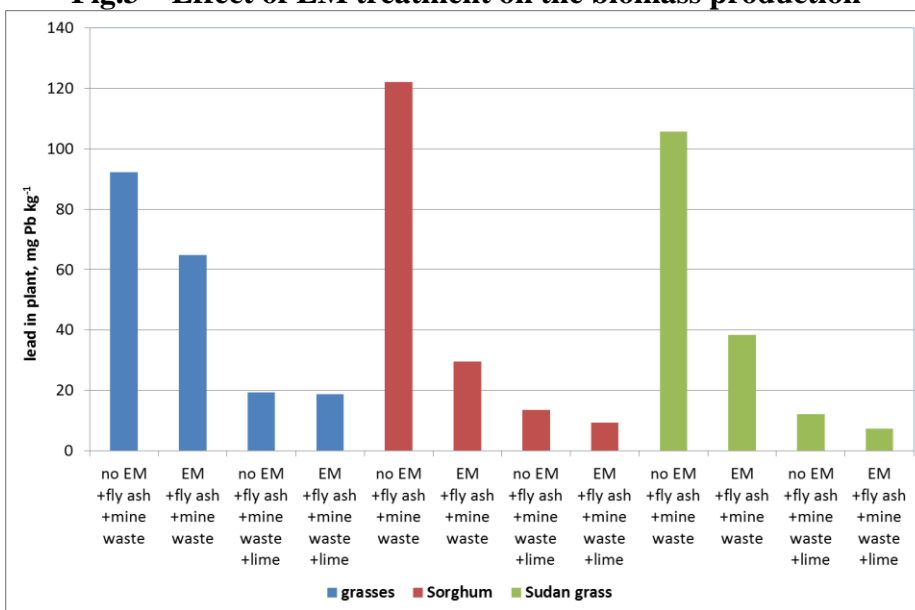


Fig. 4 – Heavy metal concentrations in harvested plants

Conclusion. EM Technology is utilized in various fields. In Europe, it is used not only for agriculture, but also animal husbandry, waste water treatment and even environmental rehabilitation. In this study, it was revealed that EM feed additive can reduce the amount of antibiotics, improve piglet health and increase daily weight gain. The application of EM proved to be efficient to enhance the revitalization of the lead mine waste and to stabilize the waste surface by successful phytoremediation.

*EM, Effective Microorganisms, EM Technology, EM•1, EM logo, EM Bokashi and all related

trademarks are trademarks or registered trademarks of EM Research Organization, Inc. and/or its affiliated companies in the United States and/or other countries.

АККУМУЛЯЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ОСНОВНЫМИ ВИДАМИ ЛЕСНЫХ ЯГОД, ГРИБОВ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ КУЛИНАРНОЙ ОБРАБОТКИ

А.Ф. Мирончик

*УО «Могилевский государственный университет продовольствия», Могилев, Беларусь,
plissa-maf@rambltr.ru*

Введение. В белорусских лесах произрастает более 200 типов съедобных грибов, из которых 35 хорошо известны и традиционно используются в питании населения. В современных экономических условиях грибы оказались хорошим подспорьем к семейному бюджету, поэтому в отдаленный период после Чернобыльской катастрофы на территории радиоактивного загрязнения возобновился сбор грибов (годовое потребление достигает 10 кг и более), несмотря на их высокую способность накапливать радионуклиды. Употребление в пищу лесных грибов и ягод приводит к увеличению дозы внутреннего облучения на $0,3 \pm 0,14$ мЗв/год при плотности загрязнения 185 кБк/м². Очевидно, что при более высоких плотностях загрязнения (370-555 кБк/м²) эта доза будет больше. Например, по данным белорусских исследователей [1] дикорастущие грибы и ягоды, составляющие всего несколько процентов от массы ежедневного рациона сельских жителей Белорусского Полесья, определяют поступление в их организм до 50 % общей активности ¹³⁷Cs, содержащейся в рационе. По результатам исследований проб пищевой продукции леса службой радиационного контроля Министерства лесного хозяйства ежегодно бракуется до 50 % измеренных проб грибов, ягод, собранных в местах, разрешенных для заготовки.

Результаты исследования. Задачу исследований составляло выявление межвидовых различий в интенсивности накопления ¹³⁷Cs и ⁴⁰K съедобными грибами, произрастающими на территории Могилевской области (Быховский, Могилевский, Славгородский, Чериковский и Краснопольский районы). В ходе исследований ежегодно, начиная с 1997 г. производился отбор 100-178 образцов грибов на реперных точках (плотность загрязнения подстилки ¹³⁷Cs до 74 кБк/м²). Так, в 2004-2005 гг. больше всего выявлено проб белого гриба, превышающих допустимый норматив (соответственно, 54 % и 47 %). Следует отметить, что в отдельных лесхозах образцы грибов превышали РДУ даже на почвах с плотностью загрязнения до 37 кБк/м². Это касается, в первую очередь, лесхозов с преобладанием песчаных почв. На суглинистых почвах даже при загрязнении ¹³⁷Cs 74-90 кБк/м² 11 % образцов соответствовали РДУ (рис. 1) [2].

Принадлежность грибов к определенной экологической группе предопределяет место локализации их мицелия по профилю почвы, откуда они потребляют воду, минеральные вещества, тяжелые металлы, в том числе и радионуклиды. Отмечено, что удельные активности ^{137}Cs в грибах превышают допустимые уровни в 1,5-3820 раз, причем с продолжением процессов перераспределения центра основного запаса ^{137}Cs по вертикальному профилю почв в грибах с приповерхностным залеганием мицелия (0-5 см) содержание этого радионуклида будет снижаться. Радиоактивное загрязнение грибов зависит, прежде всего, от характера загрязнения, условий местопроизрастания, погодных условий и биологических особенностей грибов. Установлено, что чем больше потребность в калии различных видов, тем больше в них накапливается ^{137}Cs [3]. При условии отбора грибов на одной реперной площадке, определяющими биотическими факторами накопления ^{137}Cs являются принадлежность грибов к определенной экологической группе и глубина локализации мицелия в почве.

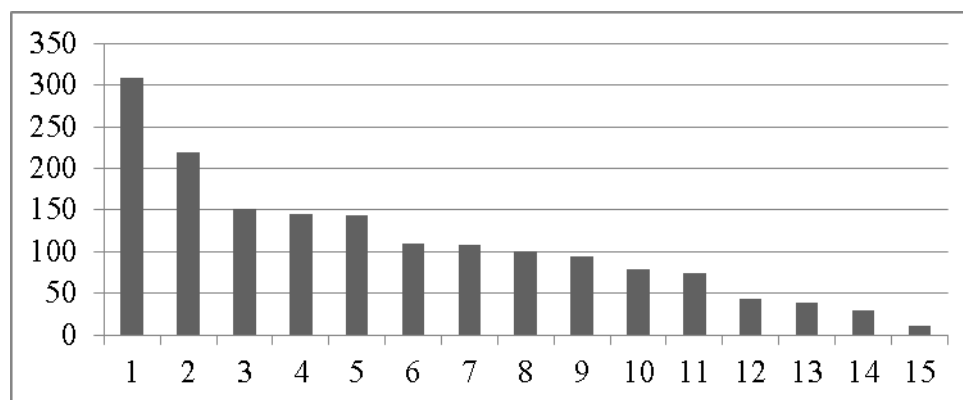


Рисунок 1 – Загрязнение грибов на территории Вендорожского лесхоза (д. Семукачи), Бк/кг

Обозначения: 1 – горькушка, 2 – колопак кольчатый, 3 – зеленка, 4 – свинушка, 5 – польский гриб, 6 – моховик желто-бурый, 7 – масленок, 8 – сыроежка, 9 – решетник, 10 – черный груздь, 11 – подберезовик, 12 – лисичка, 13 – зеленка, 14 – белый гриб, 15 – подосиновик

Для сравнения в табл. 1 приведены значения коэффициентов перехода (K_p) ^{137}Cs , полученные в Рязанской и Брянской областях Российской Федерации и в Беларуси. Колебания значений K_p объясняются различными условиями произрастания. Например, опенок осенний, произрастающий на участках с примерно одинаковой плотностью загрязнения, имеет K_p на аллювиальном ландшафте 8 (Бк/кг сух.веса)/(кБк/м²), а на аккумулятивном – 200 (Бк/кг сух.веса)/(кБк/м²). Несмотря на вариабельность K_p , следует отметить общую закономерность накопления ^{137}Cs грибами: во всех случаях масленок и свинушка имеют коэффициент накопления в несколько раз выше, чем остальные виды грибов, а лисичка – в несколько раз ниже.

Таблица 1 – Коэффициенты перехода ^{137}Cs в грибы, (Бк/кг)/(кБк/м²)

Вид грибов	Беларусь	Брянская область	Рязанская область
Масленок	83,6	33,1	30,5
Свинушка	81,5	54	21,8
Рядовка	31,2	21,6	17,4
Подберезовик	15,2	16	13,9
Белый гриб	12,6	9,1	9,0
Лисичка	0,9	0,5	0,2

Дифференцированным должен быть подход к сбору грибов. По степени накопления ^{137}Cs основные виды съедобных грибов подразделены на четыре группы:

- I группа – грибы-аккумуляторы: польский гриб, горькуша, краснушка, моховик желто-бурый, рыжик, масленок осенний, козляк, колпак кольчатый, свинушка тонкая – $K_{\text{п}} > 50$ (Бк/кг)/(кБк/м²). В плодовых телах этих видов уже при загрязнении почв, близком к фоновым значениям (3,7-7,4 кБк/м²), содержание ^{137}Cs может превышать допустимые уровни;
- II группа – сильнонакапливающие грибы: волнушка розовая, груздь черный, зеленка, сыроежка бурая – $K_{\text{п}} = 20-50$ (Бк/кг)/(кБк/м²);
- III группа – средненакапливающие грибы: лисичка настоящая, белый гриб, подосиновик, подберезовик, подзеленка, сыроежка обыкновенная, рядовка серая – $K_{\text{п}} = 5-20$ (Бк/кг)/(кБк/м²);
- IV группа – грибы-дискриминаторы ^{137}Cs : опенок осенний, строчок обыкновенный, рядовка фиолетовая, шампиньон, дождевик шиповатый, зонтик пестрый, опенок зимний, вешенка – $K_{\text{п}} < 5-20$ (Бк/кг)/(кБк/м²).

Грибы, лишайники и мхи накапливают радионуклиды на 1-2 порядка больше, чем их концентрация в почве. Накопление ^{137}Cs в грибах различается не только по их видовой принадлежности, но и по содержанию в отдельных частях плодовых тел у одного вида. У грибов с хорошо развитой ножкой (белый и польский гриб, подберезовик, подосиновик), как правило, содержание ^{137}Cs в шляпках в 1,5-3 раза выше, чем в ножках. Различий в содержании ^{137}Cs в молодых и старых грибах не установлено. Тем не менее, рекомендуется брать молодые грибы, так как в старых могут накапливаться ядовитые вещества. Согласно регламента лесохозяйственной деятельности на загрязненных территориях побочное лесопользование (сбор ягод, сбор слабо- и средненакапливающих радионуклиды грибов, заготовка лекарственных растений) разрешается лишь в зоне с плотностью загрязнения почвы до 74 кБк/м²) [4].

Из дикорастущих ягод в наибольшей степени накапливают ^{137}Cs клюква, голубика и брусника: уже при плотности загрязнения 18,5 кБк/м² его содержание в них, как правило, будет превышать нормативные значения. Несколько меньше накопление в чернике, землянике и малине, однако, при плотности загрязнения ^{137}Cs 37 кБк/м² его содержание в них также будет превышать нормативные значения.

В ягодах концентрация радионуклидов в 2-3 раза меньше, чем в стеблях и листьях. Следует иметь в виду, что накопление ^{137}Cs в дикорастущих ягодах зависит не только от плотности радиоактивного загрязнения, но и от степени увлажнения почвы, и даже от вида преобладающей древесной растительности, причем различия даже по одному виду ягод могут достигать 10 раз. Переработка ягод снижает содержание ^{37}Cs в готовой продукции максимум в 2 раза, если используется только сок ягод без жмыха.

При отваривании сыроежек, зеленков, рядовок и волнушек в течение 30 мин. концентрация ^{137}Cs снижается в 2-10 раз. Такое же снижение содержания ^{137}Cs у трубчатых грибов (подберезовик, белый, польский гриб, подосиновик) – через 45 мин. Проведены исследования и установлена кратность снижения содержания ^{137}Cs в грибах в зависимости от метода кулинарной обработки: чистка и мытье ($F_{\text{r}} = 0,8-0,9$); кипячение и слив первой воды ($F_{\text{r}} = 0,6-0,7$), кипячение и слив второй воды ($F_{\text{r}} = 0,3-0,4$), кипячение и слив третьей воды ($F_{\text{r}} = 0,15-0,2$); кипячение в 2 %-растворе NaCl и слив воды ($F_{\text{r}} = 0,2-0,4$); консервирование ($F_{\text{r}} = 0,5-0,6$); маринование ($F_{\text{r}} = 0,3-0,4$); вымачивание сухих грибов и слив воды ($F_{\text{r}} = 0,1-0,2$); жарение ($F_{\text{r}} = 0,3-0,5$) (табл. 5, рис. 4).

Таблица 5 – Экспериментальные исследования по снижению содержания ^{137}Cs после кулинарной обработки

Вид обработки	Белый гриб		Подосиновик	
	масса, кг	удельная активность, Бк/кг	масса, кг	удельная активность, Бк/кг
Исходные данные	0,750	18390	0,410	8610
Двукратная смена воды	0,209	4378	0,123	179,7
Четырехкратная смена воды	0,159	3536	0,116	157,4
Жарение	0,192	1751	0,107	102,7

Выводы. 1. Радиоактивное загрязнение пищевой продукции леса зависит от форм выпадения радиоактивных веществ, региональных, почвенных, климатических, лесотипологических и биологических особенностей ягодных растений и грибов, а дозы облучения зависят не только от уровней загрязнения пищевой продукции леса, но и вклада данных продуктов в рацион питания жителей.

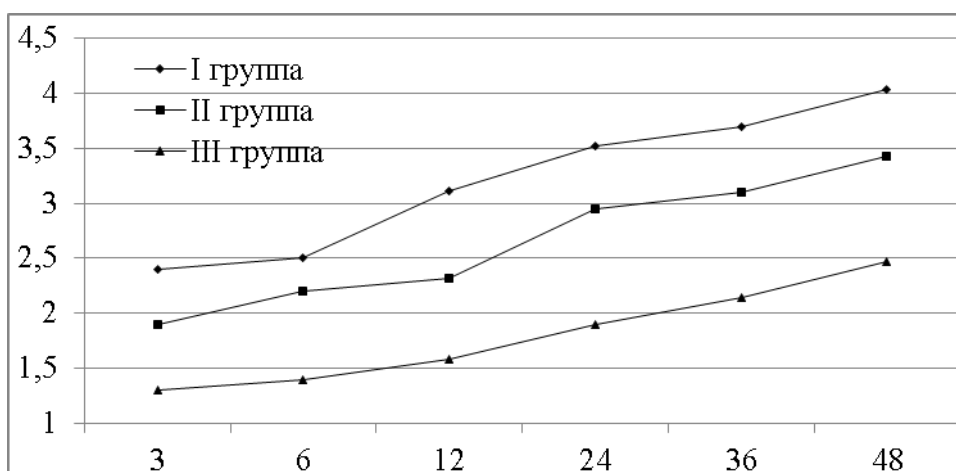


Рисунок 4 – Кратность снижения содержания ^{137}Cs в различных группах грибов при их отваривании, минуты

2. Из всех радионуклидов, содержащихся в лесной подстилке, опасность представляет ^{137}Cs . Чем больше потребность в калии различных видов продукции леса, тем больше в них накапливается ^{137}Cs .

3. Заготовка грибов и ягод должна осуществляться при обязательном проведении радиационного контроля.

4. При предварительной обработке грибы и ягоды следует тщательно промыть, очистить от почвенных частиц и растительного опада.

5. При кулинарной обработке свежих грибов оптимальным режимом, обеспечивающим 5-10-ти кратное снижение ^{137}Cs является их многократное вываривание со сменой воды (доведение до кипения – вываривание в течении 3-5 минут – смена воды).

6. При вымачивании (2-3-х кратное) сухих грибов с последующим их вывариванием (2-3-х кратное) можно добиться максимального снижения содержания ^{137}Cs в готовом продукте (до 15 раз).

Литература

1. Ипатьев В.А. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В.А. Ипатьев, В.Ф. Багинский, И.М. Булавик. – Гомель : Институт леса НАН Беларуси, 1999. – 454 с.

2. Мирончик А.Ф. Радиоактивное и техногенное загрязнение лесов пригородной зоны Могилева / А.Ф. Мирончик // Чернобыль: 20 лет спустя. Стратегия восстановле-

ния и устойчивого развития пострадавших регионов : сб. тезисов междунар. конф. – Гомель : РНИУП «Институт радиологии», 2006. – С. 202.

3. Орлов О.О. Аккумуляция ^{137}Cs дикорослыми грибами та ягодами в лісах Полісся України / О.О. Орлов, Т.В. Курбет, О.З. Короткова // Проблеми екології лісу і лісокористування на Поліссі України. – Житомир, Волинь, 2000. – Вып. 1(7).– С. 44-53.

4. Проведение радиационно-экологического мониторинга в лесах, загрязненных радионуклидами: отчет по НИР. – ГУРКРБ «Беллесрад» ; рук. Карабанович Л.Н.; исполн. : А.В. Барабошкин [и др.] – Минск, 2003. – 109 с. – Библиогр. : с. 107-109.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ БЕЛАРУСИ В ПЕРВУЮ ДЕКАДУ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЯ

Т.А. Митюкова¹, В.М. Дрозд, Л.Н. Астахова

*¹ГНУ «Институт физиологии НАН Беларуси», Минск, Беларусь
mityukovat@gmail.com*

Введение. Скрининговые исследования, проведенные в первую декаду после Чернобыля, внесли существенный вклад в радиационную тиреодологию. На современном этапе эти данные не потеряли своей актуальности, т.к. осмысление результатов тех лет может дать ключ к пониманию тенденций развития тиреоидной патологии в последующие годы. Длительное время в литературе существовало мнение о том, что щитовидная железа (ЩЖ) является радиорезистентным органом, так как фолликулярные клетки характеризуются медленной пролиферацией и не дают быстрого ответа на облучение. Считалось, что радиационные эффекты в таких тканях могут либо нивелироваться, либо проявляться через многие годы. После атомной бомбардировки городов Хиросимы и Нагасаки в 1945 г, проводилось регулярное медицинское обследование пострадавших лиц, которое показало, что на отдаленных сроках наблюдения, среди облученных в дозе 0,01–0,49 Гр гипотиреоз встречается в 2,4 раза чаще, чем среди лиц контрольной группы [1]. Изучение последствий выпадения радиоактивных осадков после испытаний ядерного оружия в 1954 г. в районе Маршалловых островов предоставило материал о развитии тиреоидной патологии у населения, пострадавшего от взрывов [2–4]. На отдаленных сроках была установлена прямая дозовая зависимость частоты гипотиреоза от поглощенной дозы ЩЖ (ПДщж) в интервале от 0,5 до 15 Гр.

В результате аварии на ЧАЭС во внешнюю среду были выброшены различные радионуклиды, основным дозоформирующим компонентом из которых являлся ^{131}I . Вторым важнейшим изотопом был ^{137}Cs . Активность атомов ^{131}I , выброшенных в атмосферу оценивалась от 17 до 47 МКи, а ^{137}Cs – от 1 до 2,4 МКи по разным источникам [5,6]. Наиболее сильному радиационному загрязнению подверглись близлежащие регионы Украины, Беларуси и России, причем на долю Беларуси пришлось около 70% всей загрязненной территории.

Цель работы – обобщить результаты скрининговых исследований по изучению функции щитовидной железы у детей и подростков, проживающих на загрязненных радионуклидами территориях республики, проведенных коллективом сотрудников лаборатории эндокринологии детей и подростков Института радиационной медицины МЗ РБ в первую декаду после Чернобыля.

Материалы и методы. Основным объектом исследования являлись дети и подростки дошкольного и школьного возраста (от 4 до 17 лет), проживающие в загрязненных регионах Беларуси. Контрольную группу составляли лица аналогичного возраста,

проживающие в Браславском и Ушачском районах Витебской области и в г. Минске и Минской области («чистые зоны»). Общее количество обследованных по методу сплошного скрининга – 20785 чел. Обследование включало осмотр врача-эндокринолога и сонографию ЩЖ. При скрининге проводился забор венозной крови для последующего определения тиреотропного гормона (ТТГ), общего и свободного тироксина (Т₄, св.Т₄), трийодтиронина (Т₃), тироксинсвязывающего глобулина (ТСГ) и тиреоглобулина (ТГ). ТТГ и св.Т₄ определяли радиоиммунным методом (РИА) на наборах фирмы CIS bio international (Франция), остальные показатели – на РИА-наборах производства Института биоорганической химии НАН Беларуси. В утренней порции мочи у 10% осмотренных детей исследовали содержание йода с помощью цезий-арсенитного метода.

Результаты исследования и их обсуждение. Скрининговые исследования показали, что в наиболее загрязненных радионуклидами районах Гомельской области, регистрируется больше детей и подростков с уменьшенным относительно возрастной нормы объемом ЩЖ, чем в «чистых» районах. При этом в районах Гомельской области число лиц с объемом органа, превышающим норму, было достоверно ниже, чем в районах Брестской области и в контрольных районах. Наибольшее число детей и подростков с увеличенной, относительно возрастной нормы, ЩЖ было обнаружено в Ушачском районе Витебской области, что наряду с данными о йодном дефиците позволяло констатировать наличие в данном регионе более выраженной зобной эндемии, чем в Браславском районе. Таким образом, у детей и подростков, проживающих в наиболее загрязненных районах Гомельской области, была установлена более высокая распространенность уменьшенных объемов ЩЖ по сравнению с возрастной нормой.

Результаты массовых скринингов, проведенных в республике в период 1990–1994 гг. продемонстрировали, что на относительно «чистых» территориях наблюдается достоверная отрицательная корреляция между содержанием йода в моче и процентом лиц с увеличением объема ЩЖ, что согласуется с представлениями о зобогенном действии йодного дефицита, даже в условиях легкой йодной недостаточности. Настораживающим был выявленный факт снижения зобогенного действия дефицита йода у лиц, проживающих на территориях загрязненных радионуклидами. Ярким примером служил Ветковский район Гомельской области с минимальным содержанием йода в моче (медиана 53 мкг/л), что было сопоставимо с йодной обеспеченностью Ушачского района Витебской области, однако процент лиц с увеличенным объемом ЩЖ в первом регионе был существенно ниже, чем во втором. На территориях с высокой плотностью загрязнения радионуклидами (Хойникский, Наровлянский, Ветковский районы Гомельской области) была выявлена более высокая частота (%) лиц с уменьшенными объемами ЩЖ, чем на «чистых» территориях. Было показано, что выявляемость уменьшенных объемов ЩЖ положительно коррелирует с загрязнением местности по ¹³⁷Cs и поглощенной дозой ЩЖ (ПДщж) от ¹³¹I. Средние уровни ТТГ отрицательно коррелировали с этими же показателями радиационного загрязнения. Таким образом, результаты массовых скрининговых исследований продемонстрировали, что, наряду с йодной обеспеченностью, важными факторами, влияющими на формирование возрастного объема и функционального статуса ЩЖ детей и подростков, являются показатели загрязнения местности радионуклидами йода и цезия.

Индивидуальное динамическое наблюдение за группой детей, проживающих в Ветковском районе Гомельской области, который являлся примером региона со сниженной йодной обеспеченностью, выявило парадоксальное явление – снижение темпов роста ЩЖ по сравнению с лицами, проживающими в «чистом» регионе с более мягким йодным дефицитом. Снижение нормальных темпов роста ЩЖ, также как и напряжение в гипофиз-тиреоидной системе было обусловлено повышенной инкорпорацией ¹³⁷Cs,

примерно в 10 раз превышающей уровень инкорпорации у детей, отселенных на «чистые» территории.

Наиболее резкие сдвиги функционального состояния ЩЖ были обнаружены у лиц, имеющих ПДЩЖ более 5–10 Гр – уменьшение объемов ЩЖ, сопровождающееся сниженной продукцией тироксина и снижением свободной фракции гормона в крови, а также повышением уровня ТТГ. Сходные отклонения обнаруживались и при хронической инкорпорации ^{137}Cs (более 1500 Бк/кг), однако они отличались снижением уровня ТТГ. Таким образом, при инкорпорации радиоактивного цезия наблюдались признаки разобщения в системе гипоталамус-гипофиз-щитовидная железа.

Заключение. Изучение йодной обеспеченности детей и подростков в 1990–1994 гг. показало преобладание легкой степени йодного дефицита в обследованных регионах республики, что было причиной развития гиперплазии ЩЖ у лиц, проживающих на «чистых» территориях. Формирование эндемического процесса на территориях, подвергшихся воздействию радионуклидов, имело свои особенности и в значительной степени зависело от загрязнения местности изотопами ^{137}Cs и дозовых нагрузок от ^{131}I .

У детей и подростков с повышенной инкорпорацией радионуклидов цезия в организме было отмечено торможение нормального темпа роста ЩЖ, характерного для их возраста и проживания в районе зубной эндемии. Наиболее резкие отклонения в функционировании тиреоидной системы, проявляющиеся в ее угнетении, были отмечены на фоне высоких ПДЩЖ (более 5–10 Гр) и при хронической инкорпорации радионуклидов цезия (более 1000–1500 Кб/кг).

У детей и подростков, постоянно проживающих в Хойникском районе Гомельской области со средними ПДЩЖ от 0,9 до 2,6 Гр, были обнаружены некоторые возрастные отклонения показателей тиреоидного статуса, включающие периферический транспорт тиреоидных гормонов.

В широком диапазоне доз воздействия радиационных факторов наблюдалось преобладание адаптивных приспособительных реакций, которые обеспечивали сохранение эутиреоидного статуса в организме облученных лиц. Учитывая многообразные неблагоприятные эффекты радиационных воздействий, выявленные через 5–7 лет после аварии, можно предположить их вклад в формирование тиреоидной патологии в последующие годы.

Литература

1. Delayed effects of atomic bomb radiation on the thyroid: proc. of the 27th Annual Meeting of the Japanese Nuclear Medicine Society, Japan, October, 1-3, 1987. / Amsterdam etc.: Excerpta Medica; ed. S. Nagataki. – Japan, 1989. – P. 1–10.

2. Conard, R.A. Thyroid nodules as a late sequela of radioactive fallout in a Marshall Island population exposed in 1954 / R.A. Conard, J.E. Rall, W.W. Sutow // J. Med. – 1966. – Vol. 274, № 25. – P. 1391–1399.

3. Conard, R.A. Thyroid neoplasia as late effect of exposure to radioactive iodine in fallout / R.A. Conard, B.M. Dobyns, W.W. Sutow // JAMA – 1970. – Vol. 214, № 2. – P. 316–324.

4. Thyroid hypofunction after exposure to fallout from a hydrogen bomb explosion / P.R. Larsen [et al.] // JAMA. – 1982. – Vol. 247, № 11. – P. 1571–1575.

5. The accident at the Chernobyl NPP and its consequences: Summary report on the postaccident review meeting on the Chernobyl accident / USSR. State Committee on the Utilization of Atomic Energy. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1986. – (IAEA Series N 75 – INSAG-1).

6. Gudiksen, P.H. Chernobyl source term, atmospheric dispersion, and dose estimation / P.H. Gudiksen, T.F. Harvey, R. Iange // Health Phys. – 1989. – Vol. 57. – P. 697–706.

НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs РЫБАМИ ВОДОЕМОВ БЕЛОРУССКОГО СЕКТОРА ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

Р.А. Ненашев¹, Ю.Д. Марченко¹, А.Н. Чудинов¹, М.А. Шабалева²

¹ГПНИУ «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», Хойники, Беларусь, rm@tut.by

²УО «Гомельский медицинский институт», Гомель, Беларусь

Введение. При изучении накопления радионуклидов водными организмами значительный интерес представляют рыбы, занимающие в биогидроценозах верхние трофические уровни. Сбор и анализ данных по содержанию радионуклидов в организме рыб имеет особое значение, поскольку рыбы являются, по сути, единственным компонентом водных экосистем Полесья, входящим в рацион питания человека. Закономерности накопления радионуклидов в организме рыб определяются следующими факторами [1]: 1) путем поступления радионуклида в организм (активным поступлением с пищей или сорбцией из воды); 2) физико-химическими свойствами радионуклида и формами его содержания в водной среде, концентрацией в воде стабильных элементов-аналогов; 3) типом питания различных видов рыб, сезонными изменениями в поведении рыб; 4) возрастом, массой особей; 5) физиологическими особенностями накопления радионуклида в органах и тканях; 6) трофической характеристикой водоема.

Материалы и методы. Накопление ^{137}Cs изучалось у особей 9 видов типичных представителей ихтиофауны Полесского радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ): щука (*Esox Lucius L.*), окунь (*Perca fluviatilis L.*), красноперка (*Scardinius erythrophthalmus L.*), карась (*Carassius carassius L.*), линь (*Tinca tinca L.*), лещ (*Abramis brama L.*), плотва (*Rutilus rutilus L.*), язь (*Leuciscus idus L.*), густера (*Blicca bjoerkna L.*). Лов рыбы проводился на водоемах, типичных для ландшафтов Полесского радиационно-экологического заповедника: в русле реки Припять, в озерах старичного комплекса (озеро Персток, Масановский старик), в каналах бывшей мелиоративной сети (Погонянский канал, Борщевское затопление). Определялся пол, возраст рыб, осуществлялась подготовка проб мышечной ткани для последующего анализа ^{137}Cs гамма-спектрометрическим методом.

Результаты исследования и их обсуждение. В таблице 1 представлены результаты исследований накопления ^{137}Cs рыбами водоемов ПГРЭЗ на основе данных мониторинга за период с 2006 г. по 2015 г. Наиболее высокими уровнями накопления ^{137}Cs в мышцах отличаются рыбы, обитающие в озере Персток и Борщевском затоплении, затем по мере убывания концентрации следуют водоемы поймы р.Припять, имеющие соединение с рекой. Наименее загрязнена рыба, обитающая в русловой зоне р.Припять. Эта закономерность может быть обусловлена водным режимом обследованных водоемов, так как с увеличением степени проточности количество радионуклида закономерно снижается во всех звеньях трофической цепи рыб. В то же время в типичных замкнутых водоемах, каким является оз. Персток, регистрируются абсолютные максимумы содержания ^{137}Cs в мышцах рыб. Подобное превышение не является особенностью исследованных нами водоемов, а характерно для всех непроточных и мало проточных озер загрязненной радионуклидами зоны с уровнем загрязнения от 15 Ки/км² и выше.

Таблица 1 – Содержание ^{137}Cs в мышечной ткани различных видов рыб в водоемах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, кБк/кг

Вид	Водоем				
	Озеро Персток	Борщевское затопление	Масановский старик	Река Припять	
				Русло реки, б.н.п. Масаны	б.н.п. Тульговичи
Щука	7,15±0,7 0	2,99±0,40	0,69±0,08	0,31±0,03	0,13±0,02
Окунь	8,36±0,3 9	1,69±0,12	1,04±0,26	0,69±0,11	0,11±0,02
Красноперка	5,39±0,1 5	2,21	1,22±0,23	0,39±0,13	-
Карась	4,10±0,2 9	1,74±0,04	0,21±0,09	-	0,02±0,001
Линь	5,24±0,1 7	2,82±0,51	0,22±0,05	-	0,03±0,01
Плотва	4,87±0,3 1	-	0,48±0,15	0,30±0,08	0,08±0,01
Лещ	3,71±0,3 6	-	-	0,12±0,02	0,03±0,003
Язь	7,95±0,8 4	-	-	0,72±0,22	0,12±0,01
Густера	3,71±0,1 1	-	-	0,09±0,07	0,04±0,01

Что касается соответствия полученных результатов республиканским допустимым уровням содержания ^{137}Cs в рыбе (370 Бк/кг) то, например, 57 % всех особей щуки, выловленных на различных участках русла р.Припять характеризуются низким уровнем накопления ^{137}Cs в мышечной ткани, не превышающем нормативных требований РДУ-99. Так, при отлове рыбы в районе Масановского старика, находящегося всего лишь в 10 км от ЧАЭС, незначительное превышение нормативных требований (в 1,1-1,5 раза) зарегистрировано только в 40% случаев. При анализе содержания ^{137}Cs в мышечной ткани различных видов рыб из пойменных водоемов р.Припять в районе б.н.п. Тульговичи (35 км от ЧАЭС) не отмечено ни одного случая превышения нормативных требований. Вариабельность накопления ^{137}Cs в мышцах различных видов рыб, обусловленная индивидуальными различиями, составляет в среднем 55 %. Несмотря на относительно невысокий уровень концентрации ^{137}Cs у рыб из р.Припять выявлен наиболее широкий разброс значений. В пределах одного вида показатели вариабельности накопления ^{137}Cs , как правило, выше у особей с небольшой массой тела по сравнению с крупными экземплярами. Установлено, что содержание ^{137}Cs в икре рыб как правило, ниже его содержания в мышцах и составляет в среднем 70 % от содержания радионуклида в мышечной ткани. В сходных условиях обитания, в пределах одного водоема, уровни накопления ^{137}Cs у различных видов рыб определяются прежде всего спецификой их питания. В целом, максимальным уровнем накопления ^{137}Cs в организме обла-

дают хищники окунь и щука, обитающие в непроточных водоемах и каналах бывшей мелиоративной сети. У этих же видов, выловленных в проточных водоемах, содержание ^{137}Cs может быть на порядок ниже. Сопоставим с ними по накоплению ^{137}Cs язь, для которого характерен смешанный тип питания. Молодые особи язя являются бентофагами, но с увеличением размеров и массы тела язь переходит к активному хищничеству. В группу видов со средней степенью накопления входят перифитофаг красноперка, перифито-зообентофаг плотва, а также зообентофаг линь. Типичные бентофаги карась, густера, лещ характеризуются наименьшим содержанием ^{137}Cs .

Для оценки степени биологической доступности депонированного в водоеме ^{137}Cs для организма рыб определены коэффициенты биологического накопления (K_n) этого радионуклида в мышцах рыб, представляющие собой отношение удельной активности мышечной ткани к средней объемной активности воды: Величины K_n ^{137}Cs для мышечной ткани язя, окуня, щуки, красноперки, линя, карася, плотвы, густеры, леща составили 1055 ± 160 ; 903 ± 50 ; 734 ± 60 ; 725 ± 20 ; 655 ± 20 ; 653 ± 13 ; 585 ± 37 ; 463 ± 14 ; 394 ± 27 соответственно. Установлено, что степень концентрирования ^{137}Cs в организме у большинства обследованных видов рыб зависит от массы тела особи. Положительный размерный эффект свойственен красноперке, окуню, плотве, язю (коэффициент корреляции составил 0,38; 0,27; 0,37 соответственно). Отрицательная корреляция между весом и содержанием ^{137}Cs обнаружена у карася серебряного и леща ($r = -0,28$; $-0,45$). Для этих видов установлены функциональные зависимости между K_n и массой тела. На основе данных по многолетней динамике концентрации ^{137}Cs в воде и организме рыб оз. Персток, Борщевского затопления предложена экспоненциальная модель, описывающая темпы снижения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани:

$$Ay_{t_1} = Ay_{\text{воды}} \times K_n \times \frac{a \times e^{-0,693 t_1 / T_1} + b \times e^{-0,693 t_1 / T_2}}{a \times e^{-0,693 t / T_1} + b \times e^{-0,693 t / T_2}}$$

Где Ay прогнозируемое содержание радионуклида в мышечной ткани рыб на момент времени t (Бк/кг); $Ay_{\text{воды}}$ объемная активность ^{137}Cs в воде обследуемого водоема (Бк/л) на момент времени t ; K_n коэффициент накопления ^{137}Cs для мышечной ткани данного вида рыб относительно содержания радионуклида в воде; t текущее время, прошедшее с момента аварии на ЧАЭС, (в годах); t_1 время, на которое делается прогноз, в годах с момента аварии; T_1 и T_2 эффективные периоды полуснижения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани рыбы, характеризующие «быструю» и «медленную» компоненты экспоненциальной функции (в годах); a и b долевые коэффициенты вклада «быстрой» и «медленной» компонент экспоненциальной функции в конечный результат (выражаются в долях единицы, рассчитываются эмпирически). Для расчетов параметров T_1 , T_2 , a , b использовались данные многолетней динамики накопления радионуклидов в мышечной ткани различных видов рыб, обитающих в замкнутых водоемах зоны отчуждения (оз. Персток и Борщевское затопление). Величины T_1 , T_2 составляют 1,8 и 24,4 года, коэффициенты a , b и = 0,964; $b = 0,036$. На основании вышеприведенного уравнения сделан долгосрочный прогноз динамики содержания ^{137}Cs в мышечной ткани различных видов рыб, обитающих в озере Персток (рис.1). Ожидается, что среднее содержание ^{137}Cs в мышечной ткани рыб озера Персток должно достигнуть нормативных уровней РДУ-99 (370 Бк/кг) в период с 2085 по 2120 г.г. в зависимости от вида. Для сравнения сроки достижения этих величин, основанные только на времени физического распада ^{137}Cs составили бы 2161-2202 г.г.

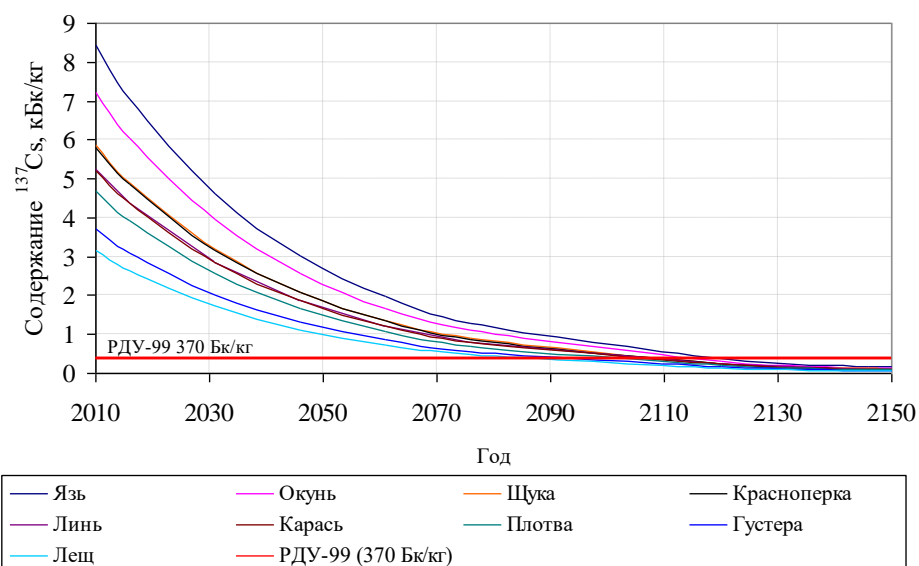


Рисунок 1 – Прогноз содержания ^{137}Cs в мышечной ткани рыб, обитающих в озере Персток

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что для видов рыб, обитающих в малопроточных и непроточных водоемах (Борщевское затопление, оз. Персток) характерны максимальные концентрации ^{137}Cs в мышцах, затем по мере убывания содержания радионуклида в организме рыб следуют водоемы поймы р.Припять, имеющие соединение с рекой. Наименее загрязнена рыба, обитающая в русловой зоне реки Припять. Наиболее высоким уровнем накопления ^{137}Cs в мышцах обладают хищные виды рыб (окунь, щука) и виды со смешанным типом питания (язь). Менее всего загрязнены представители видов-бентофагов (карась, густера, лещ). Для оценки степени биологической доступности депонированного в водоеме ^{137}Cs для организма рыб определены коэффициенты биологического накопления этого радионуклида мышцах рыб. Установлено, что степень концентрирования ^{137}Cs в организме у большинства обследованных видов рыб зависит от массы тела особи. Положительный размерный эффект свойственен красноперке, окуню, плотве, язю. Отрицательная корреляция между весом и содержанием ^{137}Cs обнаружена у карася и леща. На основе данных по многолетней динамике концентрации ^{137}Cs в воде и организме рыб предложена экспоненциальная модель, описывающая темпы снижения содержания ^{137}Cs и сделан долгосрочный прогноз содержания ^{137}Cs в мышечной ткани различных видов рыб, обитающих в озере Персток.

Литература

1. Рябов, И.Н. Радиэкология рыб водоемов в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС / М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. – 215 с.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ОТ ТУЭ НА ДИКИХ КОПЫТНЫХ ЖИВОТНЫХ, ОБИТАЮЩИХ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

А.Н. Никитин, О.А. Шуранкова

Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», Гомель, Беларусь, shurankova@list.ru

Введение. В настоящее время основными дозообразующими радионуклидами, выброшенными в окружающую среду в результате чернобыльской аварии, являются ^{137}Cs и ^{90}Sr . Поведению данных радионуклидов, их переходу по пищевым цепям и накоплению в различных компонентах экосистем посвящено довольно большое количество исследований. Вместе с тем, со временем происходит изменение роли радионуклидов в формировании дозовой нагрузки. В силу значительно более высоких периодов полураспада трансурановых элементов (ТУЭ) приобретает все большую актуальность вопрос их определения в организмах животных, обитающих в местах с повышенным содержанием радионуклидов в верхних горизонтах почвы. Высокая радиотоксичность и продолжительные периоды полураспада определяют радиоэкологическую значимость ^{241}Am и изотопов плутония при их вовлечении в биологический круговорот.

Необходимо отметить, что по настоящее время имеется лишь фрагментарная информация о поведении плутония и америция в экосистемах. Это затрудняет оценку и прогноз их воздействия на биоту. В связи с этим, необходим анализ возможных масштабов включения трансурановых элементов в биологический круговорот и оценка процессов их перераспределения в отдельных компонентах экосистем и факторов, оказывающих на это доминирующее влияние.

Материалы и методы. За основу при разработке данной модели оценки динамики накопления ТУЭ в организме диких копытных животных взяты биокинетические модели для плутония и америция, описанные в публикации №67 МКРЗ [1], модифицированные для диких копытных животных. Модель реализована в информационно-аналитической системе для оценки доз внутреннего облучения от ТУЭ на диких копытных животных, написанной на языке Python. Апробация данной модели проводилась на диких копытных животных, обитающих на территории ПГРЭЗ. Суточное поступление радионуклидов в организм животных рассчитывалось путем копрологического анализа с последующим пересчетом.

Результаты исследования и их обсуждение. Модели, описанные в публикации №67 МКРЗ разработаны для организма взрослого человека. Они являются наиболее полными и адекватными для описания поведения ТУЭ в организме млекопитающих среди имеющихся других моделей. В них поведение радионуклидов описывается системой дифференциальных уравнений с коэффициентами, указывающими на скорость перехода плутония и америция из одного органа или ткани в другой, а также перехода из пищи в кровяное русло и выведение из организма. Совокупность использованных коэффициентов представлена в таблице 1.

В связи с биологическими особенностями изучаемых видов, в модель внесены изменения, касающиеся массы животных и отдельных органов (таблица 2). Масса органов репродуктивной системы у лося принята следующей: самцы – 0,17 кг, самки – 0,5 кг; у кабана: самцы – 0,49 кг, самки – 0,5 кг [2,3].

Учтены возрастные особенности питания животных. Масса кормов у лося в возрасте одного года принята как 25% от рациона взрослого животного, у 2-летних – 60%.

У дикого кабана масса кормов однолеток принята равной 25% от рациона взрослых животных, двухлеток – 60%.

Таблица 1 – Параметры биокинетической модели плутония и америция

Органы	Коэффициенты перехода, сутки	
	Плутоний	Америций
Мягкие ткани 0 → Кровь	6,93E-01	1,39
Мягкие ткани 1 → Кровь	4,75E-04	1,39E-02
Мягкие ткани 2 → Кровь	1,90E-05	1,90E-05
Красный костный мозг трубчатой и губчатой кости → Кровь	7,60E-03	7,60E-03
Почки → Кровь	1,39E-03	1,39E-03
Печень 1 → Кровь	–	1,85E-3
Печень 2 → Кровь	2,11E-04	–
Гонады → Кровь	1,90E-04	1,90E-04
Кровь → Мягкие ткани 0	2,77E-01	10,00
Кровь → Мягкие ткани 1	8,06E-02	1,67
Кровь → Мягкие ткани 2	1,29E-02	4,66E-01
Кровь → Поверхность губчатой кости	1,94E-01	3,49
Кровь → Поверхность трубчатой кости	1,29E-01	3,49
Поверхность губчатой кости → Объем	2,47E-04	2,47E-04
Поверхность трубчатой кости → Объем	4,11E-05	4,11E-05
Поверхность губчатой кости → Красный костный мозг	4,93E-04	4,93E-04
Объем губчатой кости → Красный костный мозг	4,93E-04	4,93E-04
Поверхность трубчатой кости → Красный костный мозг	8,21E-05	–
Объем трубчатой кости → Красный костный мозг	8,21E-05	–
Кровь → Ткань почек	3,23E-03	1,16E-01
Кровь → Печень 1	1,94E-01	11,6
Печень 1 → Печень 2	1,77E-03	–
Кровь → Семенники	2,30E-04	8,20E-03
Кровь → Яичники	7,10E-05	2,60E-03
Печень 1 → Тонкий кишечник	1,33E-04	4,90E-05
Кровь → Содержимое кишечника	1,29E-02	3,03E-01
Кровь → Мочевыводящий тракт (почки)	6,47E-03	4,66E-01
Кровь → Содержимое мочевого пузыря	1,29E-02	1,63
Мягкие ткани 1 → Содержимое мочевого пузыря	4,75E-04	–
Мочевыводящий тракт (почки) → Содержимое мочевого пузыря	1,39E-02	9,90E-02
Поверхность трубчатой кости 1 → Кровь	–	7,60E-03
Поверхность трубчатой кости → Поверхность трубчатой кости 1	–	8,21E-05
Объем трубчатой кости → Поверхность трубчатой кости 1	–	8,21E-05

В ходе расчетов с использованием данной модели были определены уровни накопления ТУЭ перорально поступающих в организм диких копытных животных. Так удельная активность ^{238}Pu в теле лося (возраст 5 лет) на территориях с умеренным загрязнением ТУЭ (плотность загрязнения $^{239+240}\text{Pu}$ от 1 до 10 кБк/м², ^{241}Am от 4 до 20 кБк/м²) составляет от 0 до $8,18 \times 10^{-3}$ Бк/кг для самцов и от 0 до $9,31 \times 10^{-3}$ Бк/кг для самок, а кабана (возраст 5 лет) от $8,10 \times 10^{-3}$ до $1,84 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самцов и от $1,14 \times 10^{-2}$ до $2,61 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самок.

По $^{239+240}\text{Pu}$ эти показатели составляют от 0 до $1,81 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самцов и от 0 до $2,07 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самок лося, и от $1,74 \times 10^{-2}$ до $4,07 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самцов и от $2,47 \times 10^{-2}$ до $5,79 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самок кабана. Для ^{241}Am эти значения составляют от $2,28 \times 10^{-3}$ до $5,34 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самцов и от $2,60 \times 10^{-3}$ до $6,07 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самок лося, и от $3,59 \times 10^{-2}$ до $5,59 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самцов и от $5,1 \times 10^{-2}$ до $7,95 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самок кабана.

Таблица 2 – Весовые показатели диких копытных животных

Возраст, лет	Масса тела, кг		Масса печени, кг	
	♂	♀	♂	♀
Лось				
1	160,0	153,9	2,965	2,856
2	240,0	236,1	4,298	3,972
3	291,3	277,4	4,862	4,224
4	335,6	303,6	5,510	4,895
5	368,4	323,8	6,213	5,087
6	393,8	340,1	6,322	5,030
7-8	411,7	353,7	6,624	5,594
9-10	417,7	352,6	7,115	5,100
Дикий кабан				
1	32,9	30,3	1,005	0,870
2	53,7	50,4	1,224	1,215
3	73,3	70,0	1,428	1,461
4	98,4	75,0	1,857	1,461
5	113,7	80,0	1,933	1,788
6-7	137,2	85,0	2,265	1,750
8-9	148,1	80,7		
10-12	137,0	83,0		

Для территорий с высокой плотностью загрязнения почвы (плотность загрязнения $^{239+240}\text{Pu}$ 10-40 кБк/м², ^{241}Am 20-100 кБк/м²) эти показатели составили по ^{238}Pu от $1,39 \times 10^{-3}$ до $5,66 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самцов и от $1,58 \times 10^{-3}$ до $6,44 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самок лося, и от $1,29 \times 10^{-3}$ до $4,19 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самцов и от $1,83 \times 10^{-3}$ до $5,96 \times 10^{-2}$ Бк/кг для самок кабана. Для $^{239+240}\text{Pu}$ эти показатели составляют от $4,75 \times 10^{-3}$ до $1,43 \times 10^{-1}$ Бк/кг для самцов и от $5,41 \times 10^{-3}$ до $1,63 \times 10^{-1}$ Бк/кг для самок лося, и от $2,52 \times 10^{-3}$ до $1,02 \times 10^{-1}$ Бк/кг для самцов и от $3,59 \times 10^{-3}$ до $1,45 \times 10^{-1}$ Бк/кг для самок кабана, значения по ^{241}Am следующие – от $8,9 \times 10^{-3}$ до $3,92 \times 10^{-1}$ Бк/кг для самцов и от $1,01 \times 10^{-2}$ до $4,46 \times 10^{-1}$ Бк/кг для самок лося, и от $6,59 \times 10^{-3}$ до $3,92 \times 10^{-1}$ Бк/кг для самцов и от $9,37 \times 10^{-3}$ до $4,46 \times 10^{-1}$ Бк/кг для самок кабана.

Рассчитанные уровни накопления радионуклидов в органах животных используются для расчета эффективных доз от ТУЭ поступивших пероральным путем.

Заключение. Разработана информационно-аналитическая система для оценки накопления ТУЭ в организме диких копытных животных и формирования дозы внутреннего облучения животных от ТУЭ, не требующая изъятия животных из популяции.

Литература

1. Международная комиссия по радиологической защите. Радиационная защита. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Публикация 60 МКРЗ в 2-х частях /Пер. с англ. под ред. И.Б. Кеирим-Маркуса. – М.: Энергоатомиздат, 1994.
2. Козло П.Г. Дикий кабан. – Мн.: Ураджай, 1975. – 224 с.
3. Козло П.Г. Эколого-морфологический анализ популяции лося. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 215 с.

POSSIBILITIES OF EFFECTIVE MICROORGANISMS™ (EM) TECHNOLOGY FOR REDUCING RADIOACTIVE CESIUM CONTAMINATION IN SOIL

Shuichi Okumoto¹, Masaki Shintani^{1, 2} and Teruo Higa³

¹*EM Research Organization, Inc., Okinawa, Japan, sokumoto@emro.co.jp*

²*Tokyo Women's Medical University, Tokyo, Japan*

³*International EM Technology Center, Meio University, Okinawa, Japan*

Introduction. Radioactive substances emitted from the Fukushima No.1 nuclear power plant accident in March 2011 contaminated a large area of eastern Japan. Consequently, the development of techniques to grow safe agricultural products and promote efficient environmental restoration is the crucial issue.

Research regarding countermeasures against radioactive contamination using Effective Microorganisms™ (EM) Technology started at The National Academy of Sciences of Belarus from the second half of 1990s and the effects on the suppression of radioactive Cs transfer due to EM application have been reported [1]. Also, there were cases in which radiation doses declined on the farmland on which EM·1[®] was sprayed. From these experiences, we established a research base in Fukushima Prefecture in May 2011 and have been conducting various experiments to develop a radioactive contamination countermeasure technology. It has been verified through field tests and green house tests that application of activated EM·1[®] and EM fermented compost has an effect on the suppression of radioactive Cs transfer and these results have been reported at academic meetings, international conferences, etc [2-4].

Soon after the nuclear plant accident, in order to verify the reduction of radioactive contamination using EM Technology, we sprayed activated EM·1[®] regularly and conducted an experiment at a blueberry farm in Iitate village, Fukushima Prefecture. The radioactive Cs concentration in the soil at the start of the experiment was around 20,000 Bq/kg but 2 months later it declined to 5,000 Bq/kg. During the experimental period, it was not recognized that radioactive Cs was percolated into the deep part of soil or washed away due to rain [5]. Moreover, Takizawa Dairy Farm in Minami-souma city, which is verifying the effect of EM fermented cow manure compost on the suppression of radioactive Cs transfer from soil to grass, also showed that the radioactive Cs concentration in the soil declined more compared with the adjoining area using chemical fertilizer. Therefore, we thought that activating the microorganisms in the soil is likely to have contributed to the reduction of radioactive Cs in some way [6].

We thought that it was necessary to evaluate the direct effect of EM on the radioactive Cs. Therefore, we conducted a laboratory experiment to examine the possibilities of reduction of radioactive Cs by EM Technology under isolated conditions, which eliminated uncontrollable factors such as weather.

Materials and Methods. In order to prepare the soil sample, contaminated soil containing Cs was air dried, screened with a 1.5mm mesh sieve and stirred well. The soil was put into U8 plastic containers so that the net weight was exactly 80.00g on the precision balance.

Six treatment groups were set up using this soil sample, a Control group with no treatment, a Water group with added water, and EM groups that added 25%, 50%, 75% and 100% concentrations of activated EM·1[®] (EM). Activated EM·1[®] was prepared by mixing the product EM·1[®] with molasses and water in a composition of 1:1:20 (v/v). The mixture was poured into a clean airtight plastic container and incubated at 37°C for 7 days. Three repetitions were arranged for each treatment group. The experimental period was 690 days from the 18th of December 2013 to the 7th of November 2015. During that period, water and EM were

added 6 times in total. At the same time, molasses was also added for the EM groups to increase the activation of microorganisms. After putting the lids on the U8 containers, the containers were wrapped with plastic bags and put in a foamed polystyrene container and kept at room temperature.

Before measuring the radioactive Cs activity, samples were placed inside the constant temperature drying oven to evaporate the water under 70°C to eliminate the influence of moisture inside the soil. After that, the specific activity of ^{134}Cs and ^{137}Cs of each sample was measured with NaI(Tl) scintillation spectrometer.

Results and Discussion. The activity of ^{134}Cs before and 690 days after the treatment were measured, then reduction rates were calculated (Fig.1). The physical half-life of ^{134}Cs is 2.065 years and the theoretical reduction rate 690 days after is 47.0%. The reduction rate of the Control group was 46.5%, which was very close to the theoretical reduction rate. For the other treatment groups, the reduction rate was 47.3% for Water, 52.4% for EM25%, 54.8% for EM50%, 57% for EM75% and 56.7% for EM100%. Comparing the reduction rates of these groups with the Control group, there were significant differences in all EM treated groups ($p < 0.01$). Also, the reduction rate increased in proportion to the concentration of EM.

The activity of ^{137}Cs before and 690 days after the treatment were measured, then reduction rates were calculated (Fig.2). ^{137}Cs has a long physical half-life of 30.04 years and the theoretical reduction rate 690 days after is 4.3%. The reduction rate of the Control group was 3.4%, which was very close to the theoretical reduction rate. For the other treatment groups, the reduction rate was 8.4% for Water and for the EM25%, 50%, 75% and 100% were 9.1%, 12.0%, 13.4% and 14.8%, respectively. Comparing the reduction rates of these groups with the Control group, there were significant differences in all EM treated groups ($p < 0.01$, except EM25%). Also, the reduction rate increased in proportion to the concentration of EM.

The factor that increased the radioactive Cs reduction rate on the EM treated groups compared with the Control group is not known at present. Physical half-life of radionuclides remains quite stable to environmental change, thus this phenomenon is not consistent with the scientific common knowledge. However, since some scientists have reported biological transmutation, we should stay open to all possibilities and must conduct more detailed studies and validate repeatedly.

Conclusion. Compared with the Control group, ^{134}Cs and ^{137}Cs activities in the soil were significantly reduced in the EM treated groups. Also, the reduction rates of ^{134}Cs and ^{137}Cs were increased in proportion to the concentration of EM. From the results of the field experiments and this test, it can be considered that by applying activated EM-1® on the soil will reduce radioactive Cs, although the mechanism is unknown.

References

1. Shamal, N.V., Zakharenka, M.N., Khomchenko, O.N., Ammon, A.A., Kudryashov, V.P. (2010). Using microbiological preparations for reducing the transfer of ^{137}Cs and ^{90}Sr in lettuce and carrot. Collection of scientific papers "Vegetable farming". 18, 361-367 (in Russian).
2. Shintani *et al.* (2013). Studies on the suppressive effect on and the relevant mechanism of the transfer of radioactive materials into crops through soil improvement by EM (Effective Microorganisms). In: Proceedings of 2nd Conference for remediation of radioactive contamination in the environment. Tokyo, Japan (in Japanese). 131p.
3. Shintani, *et al.* (2012). Safe food production in Fukushima by applying technology of effective microorganisms (EM). In: Proceedings of International Scientific Conference "Low Doses". Gomel, Republic of Belarus. 165-166p.
4. Okumoto, *et al.* (2015). Influence on the suppression of transfer of radioactive cesium from soil to grass using cow manure compost and its effluent fermented by Effective

MicroorganismsTM. In: Proceedings of International Scientific Conference "Radiobiology: <<МАЯК>>, Chernobyl, Fukushima". Gomel, Republic of Belarus. 167-170p.

5. Shintani, M., Okumoto, S. (2011). A trial to bioremediate radioactively contaminated farm lands in Fukushima by using Effective Microorganisms. International Scientific Conference "Radiation and Chernobyl: Science and Practice", held at Institute of Radiobiology of NAS of Belarus, Gomel, Republic of Belarus. 13-14 October 2011.

6. Okumoto, et al. (2014). Application of Effective MicroorganismsTM (EM) technology contributes to the reconstruction of a cycle based dairy farm in Fukushima (Case study). In: Proceedings of International Scientific Conference : "Radiobiology: man-made radiation". Gomel, Republic of Belarus, 153p.

МОДЕЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ И ДОПУЩЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ

Т.В. Переволоцкая, А.Н. Переволоцкий, С.И. Спиридонов

*ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии
и агроэкологии", Обнинск, Россия, forest_rad@mail.ru*

Введение. Оценка уровней радиоактивного загрязнения окружающей среды и используемой человеком продукции, прежде всего, сельскохозяйственного производства, значение которой для формирования дозы внутреннего облучения имеет исключительно важное значение, отмеченное еще при проведении радиоэкологических исследований глобально выпавших радионуклидов [1,2].

Материалы и методы. Прогнозный расчет осуществлен с помощью компартментных математических моделей, основанных на методе системного анализа [1,2] для типичных представителей агроэкосистем – пахотных и кормовых угодий (ячмень, пшеница, рожь, овес, картофель, свекла) [3-8]. Для описания динамики обмена радионуклидов между отдельными звеньями в общей форме применена система дифференциальных уравнений первого порядка [4]:

$$\frac{dA_i}{dt} = A_i^0 + \sum_{i=1}^n k_{ij} \cdot A_n - \sum_{j=1}^m k_{ji} \cdot A_m \quad (1)$$

где A_i , A_m , A_n – содержание радионуклида в звеньях, Бк, A_i^0 – интенсивность поступления радионуклида извне, Бк·с⁻¹, k_{ij} – константы переноса радионуклида из звена i в звено j , характеризующие перенос радионуклида в соответствующие компартменты из почвы с⁻¹, k_{ji} – константы переноса радионуклида из звена j в звено i , характеризующие перенос радионуклида в почву из соответствующих компартмент, с⁻¹.

Решение системы уравнений осуществлено путем замены дифференциалов на конечно-разностные аналоги с шагом дифференцирования $\Delta t = 1$ с (на примере 1 компартменты).

$$\frac{dA_i}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A_i}{\Delta t} \approx \left. \frac{A_{i,t+\Delta t} - A_{i,t}}{\Delta t} \right|_{\text{при } \Delta t=1} = A_{i,t+1} - A_{i,t} \quad (2)$$

После подстановки конечно-разностных аналогов и соответствующих преобразований имеем следующий вид системы конечно-разностных уравнений :

$$\begin{cases} A_{1,t+1} = k_{21} \cdot A_{2,t} + k_{31} \cdot A_{3,t} + k_{41} \cdot A_{4,t} + A_{1,t} \cdot (1 - k_{12} - k_{13} - k_{14} - k_{15}) \\ A_{2,t+1} = k_{12} \cdot A_{1,t} + (1 - k_{21}) \cdot A_{2,t} \\ A_{3,t+1} = k_{13} \cdot A_{1,t} + (1 - k_{31}) \cdot A_{3,t} \\ A_{4,t+1} = k_{14} \cdot A_{1,t} + (1 - k_{41}) \cdot A_{4,t} \\ A_{5,t+1} = k_{15} \cdot A_{1,t} \end{cases} \quad (3)$$

Все расчеты проводили исходя из наиболее консервативного подхода, предполагающего максимально возможное накопление радионуклидов хозяйственно ценной фитомассой. В течение моделируемого времени величина надземной фитомассы принята постоянной и максимальной, что соответствует периоду сбора урожая.

Применены следующие основные допущения:

- после аварийного загрязнения радионуклиды в экосистему больше не поступают;
- основной механизм поступления радионуклидов в сельскохозяйственные растения – корневой;
- внекорневое радиоактивное загрязнение учтено в константах переноса от почвы к элементам фитомассы;
- предполагалось выделение радионуклидов из элементов фитомассы в почву (за счет удаления с поверхности растений, с корневыми выделениями и другими процессами);
- в почве происходит "старение" радионуклидов аварийных выпадений, проявляющееся в постепенном снижении корневого поступления;
- в начальный момент времени $t=0$ начинается поступление радионуклидов из почвы в растение. Во всех компартментах экосистемы радиоактивное загрязнение отсутствует;
- опосредованы многие процессы, происходящих в агроэкосистеме. Прежде всего, усреднена сезонная динамика в содержании минеральных и радиоактивных веществ в растениях, условия микросреды, изменение подвижности радионуклидов в почве во времени, перераспределение их по формам нахождения и т.д.

Для учета экспоненциального снижения параметров перехода в системе "почва-растение" некоторые коэффициенты переноса были представлены в следующем виде:

- для подземной фитомассы (корне- и клубнеплоды) :

$$k_{14} = k_{114} \cdot e^{-\lambda_{114}t} + k_{1114} \cdot e^{-\lambda_{1114}t} \quad (5)$$

- для надземной фитомассы (зерно) :

$$k_{12} = k_{112} \cdot e^{-\lambda_{112}t} + k_{1112} \cdot e^{-\lambda_{1112}t} \quad (6)$$

При отсутствии данных о динамике коэффициентов перехода по какой-либо культуре соответствующие значения вспомогательных констант ($k_{112-1112}$, $k_{114-1114}$) принимались равными 1, а ($\lambda_{112-1112}$, $\lambda_{114-1114}$) – 0.

– накопление радионуклидов сельскохозяйственными растениями происходит только во время сезона вегетации. До его наступления и после завершения "работает" только миграция радионуклидов в подпахотный слой почвы;

– при расчете учтен радиоактивный распад – сумма запаса радионуклидов во всех компонентах в текущем году должна была быть меньше по сравнению с прошлым

на величину постоянной радиоактивного распада $\frac{\sum_{n=1}^j A_{n,t+1}}{\sum_{n=1}^j A_{n,t}}$.

Для моделей проведен анализ параметров k_{12} , k_{13} и k_{14} , определяющих корневое и внескорневое поступление радионуклидов в растения.

Результаты исследования. Величины прогнозируемых и фактических коэффициентов перехода ^{137}Cs (нормированных на $1 \text{ Бк}/\text{м}^2$ величины радиоактивных выпадений) с учетом принятых подходов и допущений на примере зерна пшеницы представлены на рисунке 1-2.

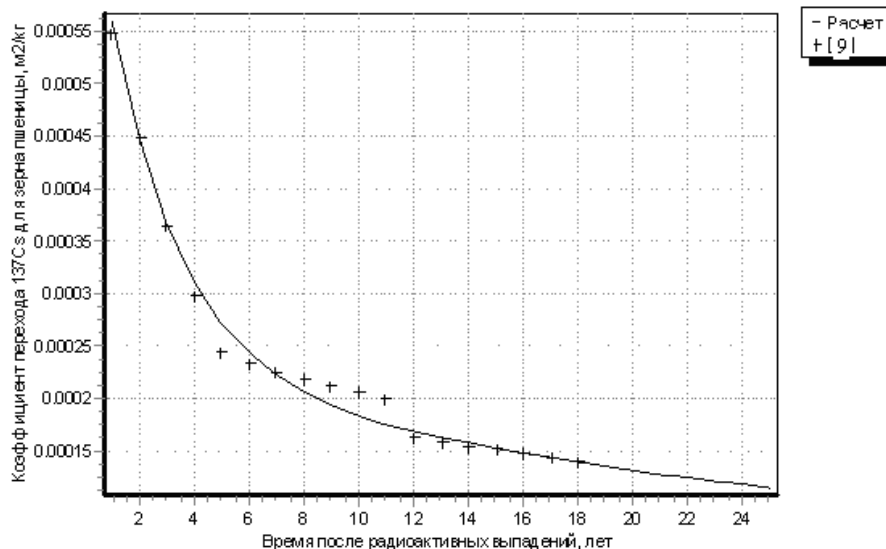


Рисунок 1 – Динамика коэффициентов перехода ^{137}Cs для зерна пшеницы на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах

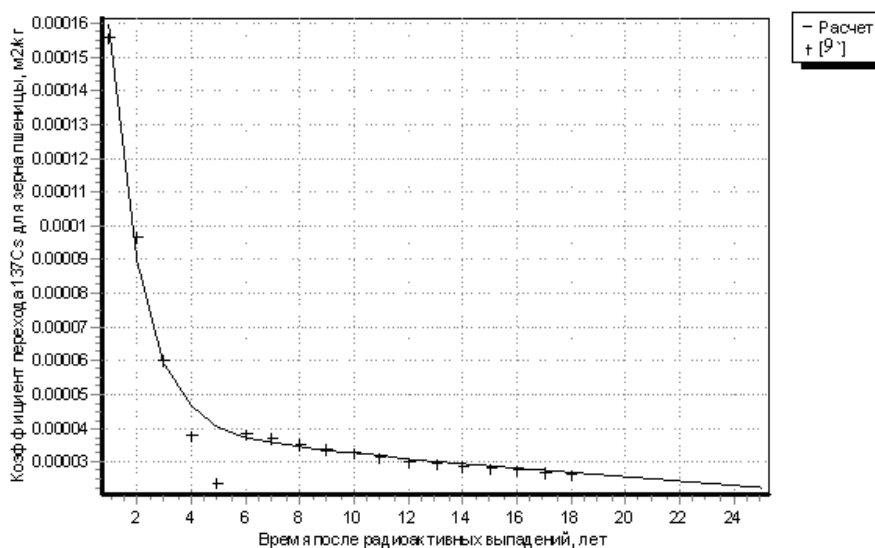


Рисунок 2 – Динамика коэффициентов перехода ^{137}Cs для зерна пшеницы на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых и суглинистых почвах

Заключение. Полученные результаты позволяют констатировать соответствие прогнозируемых коэффициентов перехода радионуклида для исследуемых видов сельскохозяйственной продукции фактически наблюдаемым [9], полученным на основании мероприятий радиэкологического мониторинга, и позволяют осуществлять прогноз содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции с достаточной степенью надежности и неопределенностью $\sim 50\%$.

Литература

1. Израэль, Ю.А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий / Ю.А. Израэль. – СПб: Пресс-Погода, 1996. – 355 с.
2. Алексахин, Р.М. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры/ Р.М. Алексахин [и др.]; под ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. – М.:ИздАТ, 2001. – 752 с.
3. Сельскохозяйственная радиоэкологии /под ред. Р.М. Алексахина, Н.А.Корнеева. – М.:Экология, 1992. – 400 с.
4. Гусев, Н.Г. Радиоактивные выбросы в биосфере: справочник / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. – М.:Энергоатомиздат, 1991. – 256 с.
5. Допустимые выбросы радиоактивных и вредных химических веществ в приземный слой атмосферы /под ред. Е.Н. Теверовского и И.А. Терновского. – М.:Атомиздат, 1980. – 240 с.
6. Романов, Г.Н. Ликвидация последствий радиационных аварий: справочное руководство / Г.Н. Романов. – М.:ИздАТ, 1993. – 336 с.
7. Лурье, А.А. Сельскохозяйственная радиология и радиоэкология / А.А. Лурье. – М.:ФГОУ ВПО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2007. – 227 с.
8. Георгиевский, В.Б. Экологические и дозовые модели при радиационных авариях / В.Б. Георгиевский. – Киев: Навукова думка, 1994. – 174 с.
9. Abbott, M.L. COMIDA: A radionuclide food chain model for acute fallout deposition / M.L. Abbott, A.S. Rood // Health Physics. – 1994– Vol 66, N 1. – P. 17-29.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ДОЗЫ ВНЕШНЕГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

А.Н. Переволоцкий¹, Е.В. Великоборец², Е.В. Красовская²

¹ФГБНУ "Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии", Обнинск, Российская Федерация, forest_rad@mail.ru

²Учреждение образования "Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины", Гомель, Беларусь

Введение. Проанализирована структура дозы внешнего γ -излучения в ареалах населенных пунктов Гомельской области, находящихся в I и II зонах радиоактивного загрязнения на современном этапе формирования радиационно-экологической обстановки.

Материалы и методы. Объектами исследований послужили н.п. Гончаровка Речицкого района, находящийся в Ia зоне радиоактивного загрязнения (1-2 Ки/км² по ¹³⁷Cs) и н.п. Октябрево Кормянского района, находящийся в II зоне радиоактивного загрязнения (5-15 Ки/км² по ¹³⁷Cs). В пределах ареалов н.п. проведены исследования в соответствии с методическими указаниями МУ 2.6.1.2153-06 [1] и МУ 2.6.1.2222-07 [2], а также рекомендациям МР 2.6.1.0007-10 [3]: отобраны образцы почвы для определения содержания ¹³⁷Cs, в точках отбора определены географические координаты и мощность поглощенной дозы внешнего гамма-излучения, мощность дозы измерена также в различных локациях ареала н.п. Расчетными методами определены величины мощности поглощенной дозы от излучения ¹³⁷Cs и вклад в измеренную мощность дозы излучения от естественных источников ионизирующей радиации, построены изолинии исследуемых радиационных показателей, характеризующие их пространственное распределение.

Результаты исследований и их обсуждение. В ареале н.п. Гончаровка (Ia зона) плотности загрязнения почвы ¹³⁷Cs находятся в диапазоне от 10 до 90 кБк/м², при этом в

северной и юго-западной частях ареала есть участки с повышенной плотностью загрязнения (более 50 кБк/м²). Расчетная мощность поглощенной дозы внешнего γ -излучения в ареале исследуемого н.п., обусловленная ¹³⁷Cs, составляет от 1 до 7·10⁻⁸ Гр/ч.

В ареале н.п. Октябрево (II зона) плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs находится в диапазоне от 120 до 320 кБк/м², при этом исследуемый показатель повышается от западной к восточной части ареала. Непосредственно в пределах н. п. плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs составляет 140-200 кБк/м², постепенно повышаясь от юго-западной к северной и восточной его частям. Расчетная величина мощности дозы внешнего гамма-излучения находится в диапазоне от 10 до 35·10⁻⁸ Гр/час. В северной и восточной частях исследуемые значения превышают 25·10⁻⁸ Гр/час, а в юго-западной части составляют менее 12·10⁻⁸ Гр/час. Непосредственно для территории населенного пункта мощность поглощенной дозы находится в диапазоне от 5 до 20·10⁻⁸ Гр/час.

Данные по характеристикам радиоактивного загрязнения по ареалу каждого населенного пункта были подвергнуты кластерному анализу для выявления участков с достоверно отличающимися исследуемыми показателями. Статистически обработанные данные по каждому из кластеров представлена в таблице 1.

Для первого, менее загрязненного кластера, 95% доверительный интервал плотности загрязнения составил от 113 до 145 кБк/м² для н.п. Октябрево (точки отбора расположены в южной и восточной частях ареала) и от 19 до 29 кБк/м² по н.п. Гончаровка (в центральной части). Измеренная мощность дозы для н.п. Гончаровка составила 14±0,6·10⁻⁸ Гр/ч и 20,7±0,8·10⁻⁸ Гр/час для н.п. Октябрево

Таблица 1 – Результаты статистической обработки данных по радиационной обстановки в кластерах в ареале н.п.

Кластер	Среднее	Стандартное отклонение	Ошибка среднего	95% доверительный интервал	
				нижний	верхний
Плотность загрязнения почвы ¹³⁷ Cs, кБк/м ² в ареале н.п. Октябрево					
1	129,0	7,3	26,5	113,0	145,0
2	261,8	23,9	79,4	208,5	315,2
Мощность поглощенной дозы γ -излучения, н·10 ⁻⁸ Гр/ч в ареале н.п. Октябрево					
1	20,7	0,8	3,0	19,0	22,5
2	32,9	2,3	7,4	27,6	38,2
Плотность загрязнения почвы ¹³⁷ Cs, кБк/м ² в ареале н.п. Гончаровка					
1	24,04	7,71	2,57	19,00	29,08
2	65,10	16,10	5,37	54,58	75,62
Мощность поглощенной дозы γ -излучения, н·10 ⁻⁸ Гр/ч в ареале н.п. Гончаровка					
1	9,49	1,20	0,23	9,04	9,94
2	13,97	1,65	0,55	12,89	15,05

В н.п. Октябрево вклад ¹³⁷Cs в измеренную мощность поглощенной дозы составляет от 45 до 85% и от 10 до 55% в ареале н.п. Гончаровка. Максимальные значения вклада наблюдаются в наиболее загрязненных частях ареала (65-85%) для первого н.п. и 35-55% для второго. Непосредственно в населенных пунктах вклад ¹³⁷Cs в величину мощности дозы был несколько ниже – около 65% и около 25%, соответственно.

В различных локациях ареалов измеренная мощность поглощенной дозы находится в диапазоне от 12 до 20·10⁻⁸ Гр/час в н.п. Октябрево и 10-13·10⁻⁸ Гр/час – в н.п. Гончаровка (таблица 2). Как правило, из всех локаций, максимальные величины мощности дозы наблюдаются в лесу, а минимальные значения – в школах и на школьном дворе.

Таблица 2 – Данные по мощности поглощенной дозы внешнего γ -излучения в различных локациях населенного пункта, $n \cdot 10^{-8}$ Гр/ч

№№ Измерения	Жилой дом	Двор	Огород	Улица	Школа	Школьный двор	Лес	Луг
Ареал населенного пункта Октябрево								
Средняя	14,46	15,23	15,25	14,31	12,10	14,09	19,13	13,50
Стандартное отклонение	2,17	2,69	2,47	2,98	1,33	1,96	4,96	1,63
Ошибка среднего	0,54	0,95	0,87	1,05	0,47	0,69	1,75	0,58
Коэффициент вариации, %	15,0	17,7	16,2	20,8	11,0	13,9	25,9	12,1
Точность опыта, %	3,8	6,2	5,7	7,4	3,9	4,9	9,2	4,3
Ареал населенного пункта Гончаровка								
Средняя	10,76	11,49	10,5	10,40	9,57	10,69	12,89	10,57
Стандартное отклонение	1,41	1,57	1,90	1,54	1,32	1,50	1,96	1,22
Ошибка среднего	0,35	0,55	0,67	0,54	0,47	0,53	0,69	0,43
Коэффициент вариации, %	13,1	13,6	18,0	14,8	13,8	14,1	15,2	11,6
Точность опыта, %	3,3	4,8	6,4	5,2	4,9	5,0	5,4	4,1

Годовая эквивалентная доза внешнего γ -излучения от ^{137}Cs для школьников составляет 0,28 мЗв и от естественных источников излучения 0,58 мЗв для н.п. Октябрево. В н.п. Гончаровка исследуемые показатели составляют 0,08 и 0,52 мЗв, соответственно (таблица 3).

Основной вклад в годовую эквивалентную дозу от ^{137}Cs для школьников населенных пунктов вносит их пребывание в жилых помещениях – 35%. Вторым важным источником формирования дозы внешнего облучения по ^{137}Cs является нахождение во дворе, в огороде и на улице – по 16% в каждой локации. Вклад леса в годовую дозу не превышает 5%.

От естественных источников излучения наибольший вклад в годовую эквивалентную дозу вносит пребывание школьников в жилых помещениях и в школе – около 60% и 14%, соответственно

Таблица 3 – Годовая эквивалентная доза в различных локациях, мЗв

Доза от	Жилой дом	Двор	Огород	Улица	Школа	Школьный двор	Лес	Луг	Сумма
Населенный пункт Гончаровка									
^{137}Cs , мЗв	0,028	0,013	0,012	0,012	0,007	0,002	0,003	0,002	0,079
Вклад, %	35,85	16,48	15,11	14,92	9,00	2,00	3,62	3,04	100,00
ЕРН, мЗв	0,308	0,043	0,040	0,039	0,071	0,005	0,010	0,008	0,523
Вклад, %	58,77	8,29	7,61	7,51	13,51	1,01	1,82	1,49	100,00

Населенный пункт Октябрьево									
^{137}Cs , мЗв	0,102	0,045	0,045	0,042	0,024	0,005	0,011	0,008	0,282
Вклад, %	36,17	15,96	15,96	14,89	8,51	1,77	3,90	2,84	100,00
ЕРН, мЗв	0,394	0,027	0,027	0,025	0,092	0,003	0,007	0,005	0,579
Вклад, %	68,05	4,66	4,66	4,32	15,89	0,52	1,21	0,86	100,00

Заключение. В ходе проведенных нами исследований были изучены плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , мощности поглощенной дозы внешнего γ -излучения в пределах ареалов населенных пунктов. Исследовано пространственное распределение показателей радиоактивного загрязнения в пределах ареала исследуемых населенных пунктов. Показана существенная роль ^{137}Cs в формировании дозы внешнего гамма-излучения, которая повышается по мере увеличения плотности загрязнения почвы данным радионуклидом.

Рассчитанная годовая эквивалентная доза внешнего γ -излучения по ^{137}Cs для школьников в н.п. Гончаровка составляет 0,079 мЗв/год, в н.п. Октябрьево – 0,282 мЗв/год. Основной вклад в величину исследуемого показателя вносит пребывание в жилых домах (36%), а также пребывание во дворе, на огороде и улице (по 16%).

Рассчитанная годовая эквивалентная доза от естественного γ -излучения для школьников н.п. Гончаровка составляет 0,523 мЗв/год и н.п. Октябрьево – 0,579 мЗв/год. Основной вклад в величину исследуемого показателя вносит пребывание в жилых домах – 0,3-0,4 мЗв/год (что составляет 60%) и в школе – 0,07-0,09 мЗв/год (14%).

Литература

1. Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территории воздушным путем: Методические указания МУ 2.6.1.2153-06. – М.: Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека, 2006. – 32 с.

2. Прогноз доз облучения населения радионуклидами цезия и стронция при их попадании в окружающую среду: Методические указания МУ 2.6.1.2222-07. М.: Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителя и благополучия человека, 2007. – 38 с.

3. Оценка доз облучения детей, проживающих на территориях, радиоактивно загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Методические рекомендации: МР 2.6.1.0007-10. – М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 31 с.

ИЗМЕНЕНИЯ ПРОДУКЦИИ АКТИВНЫХ МЕТАБОЛИТОВ АЗОТА В РЯДУ ПОКОЛЕНИЙ КРЫС ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

Д.Р. Петренев

Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь, danse@tut.by

Введение. Вопросы влияния комплекса радиоэкологических факторов зоны отчуждения после аварии на ЧАЭС на генетическую структуру популяций диких живот-

ных далеки от разрешения. Имеются литературные свидетельства о изменении радиочувствительности организмов из природных популяций, обитающих в условиях хронического воздействия повышенного радиационного фона. Однако механизмы изменения генетической структуры популяции и особенно механизмы отбора наиболее устойчивых фенотипов изучены недостаточно.

Длительное воздействие низкодозового радиационного фактора приводит к формированию комплекса изменений в ряде систем облученного организма. Одним из последствий является неспецифическая активация тканевых фагоцитов с формированием состояния напоминающего хроническое воспаление [1]. Биохимическими маркерами этих изменений является усиление активности тканевых металлопротеиназ и увеличения продукции активных форм кислорода и азота [2]. Экспериментально доказано, что эти изменения повышают риски возникновения неопластических процессов и связаны с преобладанием поляризации тканевых макрофагов по провоспалительному фенотипу M1.

Ранее было показано, что длительное пребывание животных в условиях воздействия радиоэкологических факторов зоны отчуждения после аварии на ЧАЭС приводит к формированию комплекса изменений функциональных показателей клеток иммунной системы, как у животных, подвергавшихся действию фактора, так и у их потомков. Изменяются уровни спонтанной продукции активных форм кислорода (АФК) и азота (АФА) клетками перитонеальной полости и костного мозга [3-5]. Также изменяется функциональный резерв и интенсивность ответа фагоцитов на стимулы. Цели этого исследования – проанализировать изменения продукции АФК и АФА тканевыми фагоцитами в ряду поколений, экспонированных в зоне отчуждения после аварии на ЧАЭС.

Материалы и методы исследования. В качестве модельного организма были использованы белые крысы стадного разведения – потомки аутбредной линии крыс Вистар. Самцов и самок крыс содержали 4 месяца (май-сентябрь) в н.п. Масаны в условиях воздействия радиоэкологических факторов Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ). Общая накопленная доза внешнего облучения составила 0.0145 Гр (экспозиционная доза 5×10^{-6} Гр*ч⁻¹), измеренная активность Cs¹³⁷ накопленного в тканях – 143.4 ± 22.9 Бк*кг⁻¹. Далее животные были перемещены в условия вивария и последовательно получены поколения F1 и F2 свободным скрещиванием. Поколение F2 было подвергнуто действию факторов ПГРЭЗ как описано выше и от них получены поколения F3 и F4. Самцов крыс в возрасте 5-7 месяцев (поколения F1-F4) были выведены из эксперимента для изучения показателей клеток костного мозга.

Для получения суспензии клеток красного костного мозга бедренную кость после удаления эпифизов промывали 6 мл полной среды Дюльбекко (DMEM, D5921, Sigma; 5% эмбриональной телячьей сыворотки, HiClone Inc.; гепарин 10 ед/мл; 100 Ед/мл пенициллин; 100 мг/мл стрептомицин; 0.25 мкг/мл амфотерицин В). Полученные образцы фильтровали через нейлоновые фильтры с диаметром пор 150 мкм для удаления дебриса и фрагментов ткани. Полученную суспензию клеток хранили при 2-8 °С не более 4 ч. до проведения исследований. Концентрацию клеток определяли на гематологическом анализаторе Celltac MEK-6318J/K (Nihon Kohden, Japan), полученные результаты использовали для разведения клеток, нормализации и расчета удельных показателей клеток в функциональных и биохимических тестах.

Суммарную метаболическую активность клеток оценивали по скорости восстановления 3-[4,5-диметилтиазол-2-ил]-2,5-дифенилтетразолия бромид (МТТ, M5655, Sigma) [6]. Для этого в ячейки 96-ти луночного планшета вносили 100 мкл суспензии перитонеальных макрофагов, выдерживали 2 часа в инкубаторе при 37°С и 5% CO₂, вносили 100 мкл 0.1% МТТ в растворе Хенкса для определения базальной метаболической активности и содержащего форболмеристат ацетата (РМА, P1585, Sigma) в кон-

центрации 100 нМ для оценки стимулированного уровня. Инкубировали 2 часа при 37°C и 5% CO₂ среду удаляли, экстрагировали окрашенный формазан прибавлением 200 мкл смеси диметилсульфоксид:этанол (1:1). Метаболическую активность выражали, как прирост оптической плотности при длине волны 570 нм за 1 час в пересчете на 10⁶ кл.

Оценку уровня продукции АФК клетками проводили по скорости восстановления специфичного к супероксидрадикалу зонда – 2,3-Bis(2-methoxy-4-nitro-5-sulphophenyl)-2H-tetrazolium-5-carboxanilide inner salt (ХТТ sodium salt, Х4251, Fluka) с использованием метода, описанного в работе [7], адаптированного нами для проведения скрининговых исследований в микропланшетном формате. Для постановки теста в ячейки 96-луночного планшета вносили 100 мкл клеточной суспензии. Инкубировали в CO₂-инкубаторе (5% CO₂, 37°C) в течение 1 часа, прибавляли равный объем раствора Хэнкса, подогретого до 37°C и содержащего ХТТ в концентрации 125 мМ (0,083 мг/мл). После 2-х часовой инкубации клеток при 37°C и 5% измеряли оптическую плотность на длине волны 450 нм с коррекцией на 650 нм. Результаты представляли, как изменение оптической плотности за час в расчете на 1 млн. клеток.

Интенсивность продукции АФА клетками оценивали по уровню накопления нитрита в суточных культурах клеток [8]. Для постановки теста в ячейки 96-луночного планшета вносили 100 мкл клеточной суспензии (2-4x10⁵ кл.). В ячейки для определения базальной продукции АФА прибавляли равный объем полной культивационной среды без фенолового красного (D5921, DMEM, Sigma; 5% FBS, Invitrogen; 100 Ед/мл пенициллин; 100 мг/мл стрептомицин; 0.25 мкг/мл амфотерицин В). Концентрацию нитрита определяли в реакции с модифицированным реактивом Грисса [9], который готовили *ex tempore*, смешивая равные части 0.35% 4,4 -diamino-diphenylsulfone (Fluka) и 0.1% N-(1-naphthyl)-ethylendiamine (Sigma) в 5% H₃PO₄. Для этого в ячейки с культурами вносили 150 мкл реактива Грисса, инкубировали 10 мин при комнатной температуре и измеряли оптическую плотность на длине волны 570 нм с коррекцией на 650 нм. Для расчета концентрации нитрита использовали калибровочную кривую, построенную по нитриту натрия (от 0.1 до 100 мкМ). Результаты представляли как количество нитрита, нарабатанного в культуре за 24 часа в расчете на 1 млн. клеток.

Полученные результаты и их обсуждение. Как было продемонстрировано ранее, усиление продукции АФК и АФА клетками перитонеальной полости развивается через месяц после радиационного воздействия в дозах 0,5-1 Гр и, вероятно, связано с изменением свойств гемопозитических клеток [10, 11]. В этой связи изучение состояния окислительного метаболизма клеток костного мозга имеет большое значение для понимания механизмов генеза отдаленных последствий.

Хроническое воздействие радиационного фактора малой интенсивности имеет свои особенности. В первую очередь следует отметить, что изменения в окислительном метаболизме клеток костного мозга имели разнонаправленный характер в начальные сроки экспонирования животных в зоне ПГРЗ и через 2-4 месяца. Часто при неизменном уровне спонтанной продукции АФК наблюдали усиление интенсивности ответа клеток на стимуляции форболовым эфиром. В отдельных сериях экспериментов наблюдали снижение интенсивности ответа клеток на стимуляцию зимозаном, что свидетельствует о снижении функционального резерва фагоцитов.

Как видно из данных представленных на рисунке, наиболее выраженные по сравнению с контролем изменения наблюдали в уровнях спонтанной продукции нитрита клетками костного мозга. Повышенные уровни продукции АФА в 1.5-3 раза по сравнению с контролем отмечали не только у животных, экспонированных в зоне ПГРЭЗ, но и у их потомков. Такие показатели, как метаболическая активность клеток и спонтанный уровень продукции АФК не отличались от контрольных значений.

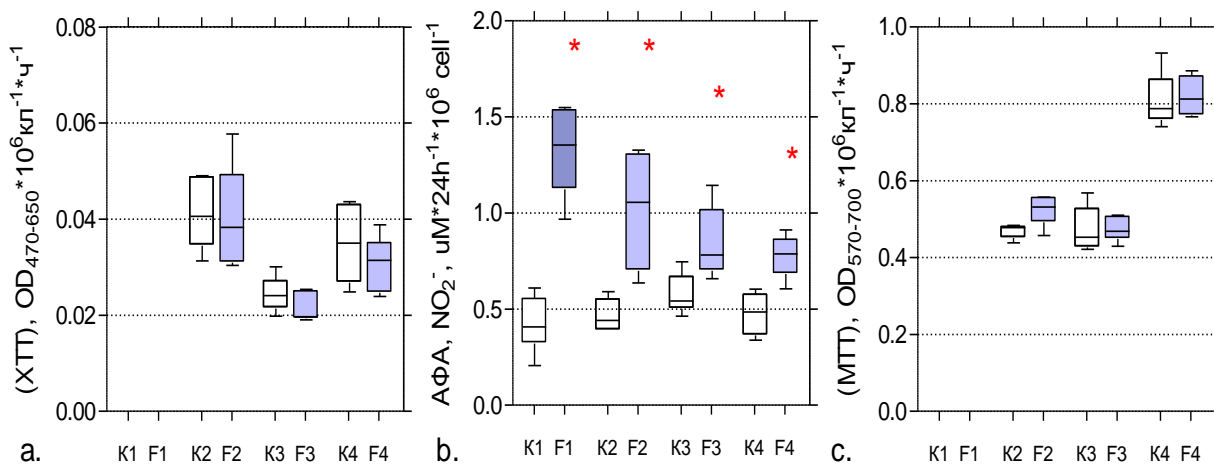


Рисунок – Изменение показателей окислительного метаболизма в первичных культурах клеток костного мозга *ex vivo* в контроле (К 1-4) и в ряду поколений (F 1-4) у крыс, содержащихся в ПГРЭЗ.

Базальный уровень продукции активных форм кислорода (а), определенного в ХТТ-тесте. Базальный уровень продукции активных форм азота (b), определенного по продукции нитрита, а также базальный уровень метаболической активности клеток костного мозга (с) в МТТ-тесте. Данные представлены как медиана, интерквартильный интервал 25-75% и размах min-max. * – отличия от контроля достоверны $p < 0.05$ Mann-Whitney (U-test).

При изучении реактивности тканевых фагоцитов отмечали изменения в способности клеток отвечать на стимулы: был усилен ответ продукцией АФК на форболовый эфир, но не на зимозан, не изменялся ответ продукцией АФА на эндотоксин и незначительно снижался на зимозан. Эти факты, взятые вместе позволяют предположить, что изменено состояние сигнальных каскадов зависимых от активации рецепторов TLR 2, TLR 4, Dectin 1, CR3.

Заключение. Комплекс выявленных изменений соответствует низкоуровневому хроническому воспалению и регистрируется в различных тканях организма подвергавшегося действию радиоэкологических факторов ПГРЭЗ. Выявленные отклонения могут являться причиной изменений фертильности животных, устойчивости к патогенам и паразитам. Усиление спонтанной продукции АФА регистрируется в ряду поколений повторно подвергавшихся действию радиационного фактора. Интенсивность этого изменения снижается в ряду поколений. Учитывая характер получения потомства свободным скрещиванием и связь воспалительных заболеваний со сниженной фертильностью, последнее наблюдение можно трактовать, как один из эволюционных механизмов селекции фенотипов, у которых снижен уровень радиационно-индуцированной воспалительной реакции в тканях.

Литература

1. Lorimore, S.A., et al., Inflammatory-type responses after exposure to ionizing radiation in vivo: a mechanism for radiation-induced bystander effects? *Oncogene*, 2001. **20**(48): p. 7085-95.
2. Coates, P.J., et al., Indirect macrophage responses to ionizing radiation: implications for genotype-dependent bystander signaling. *Cancer Res*, 2008. **68**(2): p. 450-6.
3. Конопля, Е.Ф., и др., Морфофункциональное состояние животных, длительно экспонированных в зоне отчуждения чзэс, начиная с неполовозрелого возраста. Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды: Материалы Международной конференции "БИОРАД-2009"

(Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 28 сентября -1 октября 2009 г.) – 416 с., отв. ред. А.И. Таскаев. – Сыктывкар, 2009. (Научный центр УрО РАН). 2009: р. 66-69.

4. Петренев Д.Р., Системная активация фагоцитов как возможная причина радиационно-индуцированной нестабильности генома. Генетика и биотехнология XXI века. Фундаментальные и прикладные аспекты: материалы Междунар. Науч. Конф., 3-6 дек. 2008 г., Минск / редкол.: Н.П. Максимова (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Изд. Центр БГУ, 2008: р. 23-26.

5. Петренев Д.Р. и др., Изменения некоторых показателей перитонеальных и костномозговых клеток у крыс потомков I поколения, полученных от родителей из зоны отчуждения ЧАЭС. Радиация и Чернобыль: Ближайшие и отдаленные последствия (Радиация и Чернобыль. Том 4) / под общей редакцией академика Е.Ф. Конопля. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2007: р. 142-146.

6. Wang, Y.H., et al., Taxifolin ameliorates cerebral ischemia-reperfusion injury in rats through its anti-oxidative effect and modulation of NF-kappa B activation. J Biomed Sci, 2006. **13**(1): р. 127-41.

7. Sutherland, M.W. and B.A. Learmonth, The tetrazolium dyes MTS and XTT provide new quantitative assays for superoxide and superoxide dismutase. Free Radic Res, 1997. **27**(3): р. 283-9.

8. Green, S.J., J. Anigolu, and J.J. Raney, Oxidative metabolism of murine macrophages. Curr Protoc Immunol, 2001. **Chapter 14**: р. Unit 14 5.

9. Marzinzig, M., et al., Improved methods to measure end products of nitric oxide in biological fluids: nitrite, nitrate, and S-nitrosothiols. Nitric Oxide, 1997. **1**(2): р. 177-89.

10. **Петренев Д.Р.,** Господарев Д.А., Окислительный метаболизм перитонеальных макрофагов в отдаленные сроки после воздействия ионизирующего излучения In vivo Молодежь в науке – 2007: прил. к журн. «Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі». В 4 ч. Ч. 1. Серия биологических наук; серия медицинских наук / редкол. Серии биол. наук: И.Д. Волотовский (гл. ред.), А.Г. Лобанок [и др.], редкол. Серии мед. Наук: Е.Ф. Конопля (гл. ред.), А.Г. Мрочек [и др.]. – Минск: Белорус. Наука, 2008: р. 401-406.

11. Петренев Д.Р., Конопля Е.Ф., Активация системы мононуклеарных фагоцитов в отдаленные сроки после воздействия ионизирующего излучения Новости медико-биологических наук (News Of Biomedical Sciences), 2011. **3**(1): р. 96-101.

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЧВОУЛУЧШАЮЩИХ ДОБАВОК НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ ДОСТУПНОСТЬ ЦЕЗИЯ В ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЧВАХ

О.И. Попова, А.Н. Никитин

Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», Гомель, olga.porova-2009@yandex.ru, nikitinale@gmail.com

Введение. Биоуголь — материал с высоким содержанием углерода (до 90%), получаемый из органической массы (древесина, навоз, травянистая растительность, листва и т.п.), подвергнутой термической обработке (температура около 700 °С) без доступа (или при незначительном доступе) кислорода.

Биоуголь отличается довольно высокой степенью химической устойчивости. Он может долгие годы оставаться в почве, практически не теряя своих свойств [1, 2].

Воздействие биоугля на характеристики почвы и рост культурных растений впервые были исследованы Retan [3] и Tryon [4]. В первой половине XX века множество изданий для практического сельского хозяйства рекомендовало биоуголь в качестве средства для улучшения водоудерживающей способности почв, повышения урожайности, как компонент смесей для теплиц, грунтов для газонов [5, 6]. В 1980-х годах активно занимались исследованием возможностей использования биоугля как мелиоранта в Японии [7, 8].

Целью настоящих исследований явилась оценка возможности использования биоугля (биомассы, прошедшей пиролизную переработку) для снижения перехода ^{137}Cs в продукцию растениеводства на органических почвах.

Практическая значимость результатов состоит в разработке научной основы для решения с помощью продуктов пиролитической обработки биомассы (биоугля) практических задач по снижению негативных последствий присутствия радиоактивного цезия в окружающей среде.

Материалы и методы. Для оценки влияния биоугля и продуктов микробиологической переработки органических отходов (бокаши) на биологическую подвижность ^{137}Cs в системе «почва-растение» в лабораторных условиях проведен эксперимент. В качестве объекта исследований использовалась листовая свекла сорта «Мангольд красный РС 1». Выращивание мангольда длилось 65 дней. Модель лабораторного эксперимента включала 17 вариантов в 4-х повторениях с заданными почвоулучшающими добавками в различных сочетаниях. В эксперименте использовалась почва, отобранная в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, смешанная с торфом в соотношении 1:4 по массе. Согласно схеме лабораторного эксперимента в почвенную смесь добавляли биоуголь из древесины твердолиственных пород в концентрации 1 и 3%; бокаши из отходов переработки пшеницы в концентрации 1 и 3%; бокаши из отходов переработки риса и гречихи в концентрации 3%; трепел (минерал-сорбент) в концентрации 0,1 и 0,4%. Исследуемые добавки вносились отдельно и в составе смесей, в процентном соотношении от общей массы почвенной смеси. Удельная активность готовой почвенной смеси по ^{137}Cs составила 29,4–42,6 кБк/кг.

Для определения форм нахождения ^{137}Cs в почве использовали трехшаговую процедуру последовательной экстракции BCR. Водорастворимая и обменная форма ^{137}Cs (форма А) извлекалась раствором уксусной кислоты (0,11 моль/л); «восстанавливаемая» форма, преимущественно связанная с полуторными оксидами железа и марганца (форма В) – раствором хлорида гидроксиламмония (0,5 моль/л); ^{137}Cs , связанный преимущественно с органическим веществом почвы и сульфитами («окисляемая» форма D) – растворами H_2O_2 (8,8 моль/л) и уксуснокислого аммония (1,0 моль/л). Отбор образцов почвы для анализа форм нахождения ^{137}Cs осуществляли на 10-е (только форма А) и 65-е сутки после внесения добавок.

Результаты исследования и их обсуждение. Биологическая подвижность радионуклидов, уровень накопления их в урожае сельскохозяйственных культур, зависят, в первую очередь, от содержания радионуклида в растворимой и обменной форме, то есть количества, вытесненного из почвы растворами нейтральных солей. Подтверждением данному факту является установленная в настоящем эксперименте прямолинейная связь между долей ^{137}Cs в растворимой и обменной форме и коэффициентом его накопления в надземной биомассе мангольда (рисунок 1). Анализируя полученные результаты можно выделить добавки, при внесении которых, в органической почве происходит снижение доли подвижного цезия.

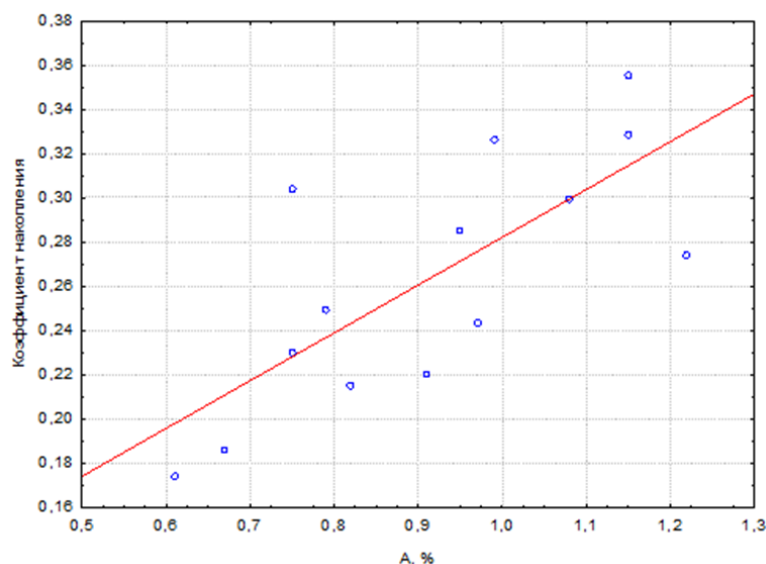


Рисунок 1 – Связь между долей ^{137}Cs в растворимой и обменной формах (А) и его переходом в надземную массу мангольда

При внесении в органическую почву исследуемых добавок наблюдается изменение запаса доступной формы ^{137}Cs . Достаточно высокий показатель скорости перехода ^{137}Cs в нерастворимую форму ($5,3 \text{ Бк кг}^{-1} \text{ сут}^{-1}$) наблюдается при совместном внесении в почву 3% биоугля и 3% бокаши (от общей массы почвенной смеси). Максимальное значение ($7,04 \text{ Бк кг}^{-1} \text{ сут}^{-1}$) снижения запаса доступной формы ^{137}Cs получается при внесении в почву 3% бокаши (таблица 1).

Однако на фоне высокой скорости изменения доступной формы ^{137}Cs при добавлении в органическую почву 3% бокаши происходит увеличение накопления ^{137}Cs в биомассе растений. Биоуголь же в дозе 3% от общей массы почвенной смеси на фоне высокой скорости изменения доступной формы ^{137}Cs снижает переход ^{137}Cs в растения.

Внесение в почву 0,1% трепела оказывает наибольшее влияние на снижение доли подвижного цезия и увеличение не извлекаемой доли радионуклида относительно контроля.

Наибольшая скорость снижения доступной формы ^{137}Cs наблюдается при внесении в почву двухкомпонентной смеси в соотношении 3% биоугля и 1% бокаши.

Двух и трехкомпонентные добавки в эксперименте показатели наилучший результат относительно контроля. Существенное снижение коэффициента накопления ^{137}Cs отмечено при внесении в почву добавки, состоящей из 3% бокаши и 0,4% трепела (от общей массы почвенной смеси). Так же следует отметить добавку, включающую смесь 1% биоугля, 3% бокаши и 0,4% трепела.

Таблица 1 – Влияние добавок на изменение растворимой и обменной формы ^{137}Cs в органической почве

Вариант	УА почвы до, кБк/кг	УА растений (надземная часть), кБк/кг	Кн	А до, %	А после, %	V, Бк кг ⁻¹ сут ⁻¹
контроль	37,85±0,99	8,98±0,36	0,24	1,01	1,22	-1,9
БУ 3%+Б 1%	29,45±0,78	7,26±0,28	0,25	1,73	1,08	4,1
БУ 3%+Б 3%	29,66±0,74	7,38±0,32	0,25	1,80	0,99	5,3
БУ 1%+Б 1%	34,75±0,74	7,89±0,46	0,23	1,22	0,95	2,0
БУ 1%+Б 3%	32,62±0,82	9,75±0,46	0,3	1,33	1,15	1,1

БУ 1%	33,47±0,58	6,02±0,43	0,18	1,47	0,91	4,2
БУ 3%	33,58±0,80	7,28±0,31	0,22	1,36	0,79	3,9
Б 1%	36,37±0,72	11,18±0,61	0,31	1,34	1,15	1,4
Б 3%	39,84±0,70	9,88±0,60	0,25	1,53	0,75	7,0
Б рис 3%	41,83±0,58	8,49±0,43	0,2	1,21	0,97	2,1
Б гречка 3%	42,59±0,69	16,23±0,50	0,38	1,24	1,21	0,2
Б 3%+Т 0,1%	42,36±0,67	9,21±0,37	0,22	1,29	1,15	1,1
Б 3%+Т 0,4%	34,37±0,67	5,34±0,37	0,16	1,71	1,10	4,9
БУ 1%+Б 3%+Т 0,1%	39,19±0,63	7,55±0,49	0,19	1,30	0,82	3,9
БУ 1%+Б 3%+Т 0,4%	39,76±0,67	7,98±0,47	0,2	1,21	0,75	3,5
Т 0,1%	41,05±0,64	5,87±0,41	0,14	1,07	0,61	3,8
Т 0,4%	38,86±0,64	5,83±0,41	0,15	1,01	0,67	2,8

Примечание: БУ – биоуголь; Б-бокаши; Т – трепел

Заключение. Полученные результаты позволят предложить новый прием снижения поступления радиоактивного цезия в продукцию растениеводства. Преимуществами данного метода являются низкая стоимость мелиоранта (продукт пиролитической переработки органических отходов) и долговременный эффект. Внедрение предлагаемого приема позволит снизить себестоимость производства продукции растениеводства на почвах, загрязненных радиоактивными изотопами цезия.

Литература

1. Shindo, H. Elementary composition, humus composition, and decomposition in soil of charred grassland plants / H. Shindo // *Soil Science and Plant Nutrition*. – 1991. – Vol. 37. – P. 651–657.
2. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient / C.H. Cheng, J. Lehmann, J. E. Thies, S.D. Burton // *Journal of Geophysical Research*. – 2008. – Vol. 113. – P. 20-27.
3. Retan, G.A. Charcoal as a means of solving some nursery problems // *Forestry Quarterly*. – 1915. – Vol. 13. – P. 25–30.
4. Tryon, E.H. Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils / E.H. Tryon // *Ecological Monographs*. – 1948. – Vol. 18. – P. 81–115.
5. Santiago, A. Charcoal chips as a practical substrate for container horticulture in the humid tropics / A. Santiago, L. Santiago // *Acta Horticulturae*. – 1989. – Vol. 238. – P. 141–147.
6. Morley, J. Following through with grass seeds / J. Morley // *The National Greenkeeper*. – 1927. – Vol. 1. – No 1. – P. 15.
7. Kishimoto, S. Introduction to Charcoal Making on Sunday / S. Kishimoto, G. Sugiura // *Sougou Kagaku Shuppan*, Tokyo (in Japanese). – 1980.
8. Kishimoto, S. Charcoal as a soil conditioner / S. Kishimoto, G. Sugiura // in *Symposium on Forest Products Research, International Achievements for the Future*. – 1985. – Vol. 5. – P. 12–23.

МИКРОБИОТА КИШЕЧНИКА У ЛИКВИДАТОРОВ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Г.Г. Родионов, И.Э. Ушал, Е.А. Колобова, Е.В. Светкина, Е.И. Павлова

*Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова
МЧС России, Санкт-Петербург, Россия, rodgengeor@yandex.ru*

Введение. Результаты эпидемиологического анализа состояния здоровья граждан, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) в отдаленном периоде, свидетельствуют о том, что болезни органов пищеварения в структуре заболеваемости составляют 11 %, онкологические заболевания желудочно-кишечного тракта – 38 % от всех новообразований [1].

Отдаленная радиационная патология пищеварительного тракта может развиваться в результате воздействия внешних источников радиации и инкорпорации радионуклеидов, для которых желудочно-кишечный тракт является одним из важнейших путей поступления и экскреции из организма. У лиц, подвергающихся низкоинтенсивному профессиональному облучению, развиваются отчетливые дисбиотические изменения, заключающиеся в снижении количества анаэробных микроорганизмов (бактероидов, пептострептококков, фузобактерий, лакто- и бифидофлоры).

По данным авторов [2] функциональные заболевания кишечника у этих лиц составляют 37 %, а в 51 % случаев выявлены признаки воспаления слизистой толстой кишки. Эти данные свидетельствуют об актуальности определения микробиоты кишечника с целью выявления патологических состояний, их направленной коррекции и оценки ее эффективности.

Востребованным количественным экспресс-методом диагностики дисбактериозов и определения возбудителей инфекции является метод хемодифференциация микроорганизмов с помощью газовой хроматографии (ГХ-МС), основанный на количественном определении маркерных веществ микроорганизмов (жирных кислот, альдегидов, спиртов и стерина). Данный метод как медицинская технология позволяет не только проводить мониторинг этих соединений в образцах, но также и рассчитывать численность микроорганизмов того или иного таксона в образце. В этом принципиальное отличие метода, придающее ему качественно новое свойство – возможность разложения суперпозиции всего пула микробных маркеров, что позволяет оценить вклад от каждого из сотен видов микроорганизмов, присутствующих, например, в крови и фекалиях [5].

Предлагаемый метод газовой хроматографии, совмещенной с масс-спектрометрией (ГХ-МС) позволяет одновременно детектировать в исследуемых образцах маркеры широкого спектра микроорганизмов нормальной и патогенной микробиоты человека. Внедрение ГХ-МС позволяет сократить время и стоимость исследования, минуя стадии повторных пересевов первичных колоний и тестовых ферментаций, которые особенно сложны, трудоемки и длительны для анаэробов. Метод позволяет не только определять маркерные вещества (жирные кислоты, альдегиды, спирты и стерин) в чистых культурах микроорганизмов, выделенных из клинического материала [3], но и выявлять и количественно определять состав микробного сообщества, который кроется за набором маркеров конкретной пробы [4, 6].

В 2010 г. Росздравнадзором разрешено его применение в качестве новой медицинской технологии «Оценки микробиологического статуса человека методом хрома-

то-масс-спектрометрии» на территории Российской Федерации (разрешение ФС 2010/038 от 24.02.2010).

Материалы и методы. Для оценки состояния микроэкологического статуса ЛПА на ЧАЭС проанализированы 129 образцов цельной крови объемом 40 мкл.

Анализ проб проводили с помощью газового хроматографа «Agilent 7890» с масс-селективным детектором «Agilent 5975С».

Парное сравнение групп проводили с использованием U-критерия Манна-Уитни.

Результаты и их обсуждение. В норме общее количество микробных маркеров в крови должно находиться в диапазоне от 15 752 до 31 504 клеток/г · 10⁵, в том числе полезной микрофлоры от 9013 до 18 029 клеток/г · 10⁵, условно-патогенной – не более 13 475 клеток/г · 10⁵, коэффициент отношения полезной микрофлоры к условно-патогенной составляет 1,34.

При исследовании пристеночной микробиоты у обследуемых ЛПА обнаружено, что среднее количество микробных маркеров в крови у ликвидаторов находилось на уровне 43 825 клеток/г · 10⁵. Общее количество микробных маркеров в крови у обследуемых ЛПА находилось в пределах нормы у 39 человек (30,2 %), выше нормы – у 78 человек (60,5 %) и ниже нормы – у 12 человек (9,3 %).

Необходимо отметить, что у ЛПА на ЧАЭС с пониженным общим количеством микробных маркеров в крови наблюдалось двукратное снижение количества микробных маркеров полезной микрофлоры на фоне сходной с нормой количеством условно-патогенной флоры. Изменился количественный и качественный состав пристеночной микробиоты. Так, по сравнению с нормой отмечалось снижение количества микробных маркеров полезной микрофлоры *Eubacterium/Cl. Soccoides* и *Vifidobacterium* в 1,8–2,0 раза на фоне некоторого компенсаторного увеличения микробных маркеров *Propionibacterium/Cl. Subterminale* и *Lactobacillus* на 50 и 70 % соответственно.

Отмечалось увеличение количества микробных маркеров условно-патогенной микробиоты *Streptococcus* (оральные) в 10 раз, *Nocardia 14:1d11* в 8,5 раз, *Clostridium hystolyticum* в 4 раза, *Streptomyces* в 3 раза, *Clostridium ramosum* и *Propionibacterium jensenii* в 2 раза, *Nocardia asteroides* в 1,5 раза при сниженном количестве микробных маркеров *Actinomyces viscosus* в 4 раза, *Herpes* в 2 раза и остальных представителей условно-патогенной флоры в 4 раза (табл.1).

У ЛПА на ЧАЭС с повышенным общим количеством микробных маркеров в крови выявлялось двукратное повышение количества микробных маркеров условно-патогенной флоры на фоне умеренного повышения на 34 % количества микробных маркеров полезной микрофлоры. Изменился количественный и качественный состав пристеночной микробиоты. Так, на фоне незначительного снижения микробных маркеров полезной микрофлоры *Eubacterium/ Cl. Soccoides* и *Vifidobacterium* на 8–15 % выявлялось увеличение в 2 раза микробных маркеров *Propionibacterium/Cl. Subterminale*.

Обращают на себя внимание кардинальные различия в составе и количестве отдельных микробных маркеров в крови у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС с различным общим количеством микробных маркеров. У ЛПА на ЧАЭС с пониженным общим количеством микробных маркеров обнаруживалось снижение маркеров *Eubacterium/ Cl. Soccoides*, *Vifidobacterium* в 2 раза и *Nocardia asteroides* в 4 раза. В тоже время у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС с повышенным общим количеством микробных маркеров выявлялось увеличение маркеров *Propionibacterium/Cl. Subterminale* в 2 раза и *Nocardia asteroides* в 1,5 раза и снижение маркеров микр грибов (кампестерол) в 21 раз, микр грибов (ситостерол) в 14 раз.

Таблица 1 – Микробные маркеры условно-патогенной и патогенной микрофлоры в крови у ЛПА на ЧАЭС

№ п/п	Условно-патогенная и патогенная микрофлора	Показатель микробных маркеров, n (%), $г \cdot 10^5$		
		ЛПА		
		Низкий (1) ($n=12$)	нормальный (2) ($n=130$)	высокий (3) ($n=78$)
Грамположительные кокки аэробные или факультативные				
1	Streptococcus (оральные)	2522 (17,0)	249 (1,8)*	3154 (10,8)**
2	Staphylococcus intermedius	791 (5,3)	756 (5,6)	1389 (4,8)**
3	Streptococcus mutans	177 (1,2)	229 (1,7)*	367 (1,3)**
Анаэробы				
4	Clostridium histolyticum	396 (2,7)	95 (0,7)*	1080 (3,7)**
5	Clostridium ramosum	4197 (28,4)	2000 (14,8)*	7262 (24,9)**
6	Propionibacterium jensenii	431 (2,9)	185 (1,4)*	1113 (3,8)**
7	Propionibacterium acnes	84 (0,6)	0*	155 (0,5)**
8	Actinomyces viscosus	305 (2,1)	1190 (8,8)*	1221 (4,2)
Грамположительные палочки аэробные или факультативные				
9	Nocardia, 14:1d11	2376 (16,1)	262 (1,9)*	4393 (15,1)**
10	Nocardia asteroides	731 (4,9)	448 (3,3)*	1457 (5)**
Продолжение таблицы 1				
Грибы, вирусы и прочие				
11	Streptomyces	190 (1,3)	62 (0,5)*	343 (1,2)**
12	Herpes	797 (5,4)	1648 (12,2)*	2929(10,1)**
13	Микр грибы, кампестерол	0	842 (6,2)*	82 (0,3)**
14	Микр грибы, ситостерол	0	384 (2,8)*	61 (0,2)**
Остальные				
15	Остальные	1762 (12,1)	4835 (38,0)*	4123 (14,1)**
Общее количество		14 792 (100)	13 765 (100)	29 129 (100)**

* – различия с группой 1 $p < 0,05$

** – различия с группой 2 $p < 0,05$

Закключение. Проведенное исследование микробиоты кишечника методом хро-мато-масс-спектрометрии микробных маркеров свидетельствует о наличие у обследуемых ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС выраженного дисбиоза, который проявляется в следующем изменении микробиоты:

Общее количество микробных маркеров в крови у ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС находилось выше нормы у 60,5 % и ниже нормы – у 9,3%.

У ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС с пониженным общим количеством микробных маркеров в крови наблюдалось двукратное снижение количества полезной микрофлоры на фоне нормального количества условно-патогенной флоры с изменением ее качественного состава.

У обследованных лиц с повышенным общим количеством микробных маркеров в крови выявлялось двукратное повышение количества условно-патогенной флоры на фоне умеренного повышения количества полезной микрофлоры с изменением ее качественного состава.

Полученные индивидуальные профили микробиома послужили основой для целенаправленной коррекции выявленных нарушений, основными принципами которой являются: диета, деконтаминация условно патогенной микрофлоры, восстановление зубиоза, лечение патологии, приведшей к дисбиозу.

Литература

1. Астафьев О.М., Макарова Н.В., Французова М.Н. [и др.]. Эпидемиологическая характеристика состояния здоровья ликвидаторов аварии на ЧАЭС в отдаленном периоде // 25 лет после чернобыля: состояние здоровья, патогенетические механизмы. Опыт медицинского сопровождения ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции (руководство для врачей). СПб. : ЭЛБИ-СПб, 2011. С. 15–55.

2. Бацков С.С., Старосельская Н.А., Пронина Г.А. Диагностика и лечение заболеваний кишечника у ликвидаторов аварии на ЧАЭС // 25 лет после чернобыля: состояние здоровья, патогенетические механизмы. Опыт медицинского сопровождения ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции (руководство для врачей). СПб. : ЭЛБИ-СПб, 2011. С. 324–329.

3. Вейант Р., Мосс У., Холлис Д. [и др.]. Определитель нетривиальных патогенных грамотрицательных бактерий. М. : Мир, 1999. 792 с.

4. Осипов Г.А. Демина А.М. Хромато-масс-спектрометрическое обнаружение микроорганизмов в анаэробных инфекционных процессах // Вестник РАМН. 1996. Т. 13, № 2. С. 52–59.

5. Luckey T.D. Overview of gastrointestinal microecology // *Nahrung*. 1987. Vol. 31, № 5/6. P. 359–364.

White D.C. Validation of quantitative analysis for microbial biomass, community structure, and metabolic activity // *Adv. Limnol.* 1988. N 31. P. 1–18.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС

И.В. Ролевич, Г.И. Морзак, Е.В. Зеленухо

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, ig-
or_rolovich@tut.by*

Академик В.И. Вернадский (член радиевой комиссии при Петербургской АН – предшественницы МКРЗ), обладавший даром широкого обобщения и прозорливостью, характеризовал открытие явления радиоактивности, как переворот в научном мировоззрении. По его мнению, овладение ядерной энергией дает людям возможность строить жизнь, как они хотят, без нищеты и голода, без рабской зависимости от природных катаклизмов. В то же время оно налагает на человечество объективно неотвратимую необходимость соблюдать принципы общечеловеческой морали и нравственности за все происходящее на Земле. Многие забыли эти слова В.И. Вернадского, что привело в 1986 г. к катастрофе на ЧАЭС, а человечество – на грань гибели. Катастрофа на ЧАЭС привела к серьезным медицинским и радиоэкологическим последствиям, оказала воздействие на все сферы жизнедеятельности человека: производство, культуру, науку, экономику и др. в Республике Беларусь.

Любую аварию, какой сложной или простой она не казалась, следует анализировать с точки зрения правильности и достаточности мер, принятых для ликвидации последствий аварии. В данной работе будет сделана попытка ретроспективной оценки ор-

ганизации радиационной защиты и радиационной безопасности населения в Беларуси в течение ранней и средней фаз развития аварии на ЧАЭС. Это тем более важно сделать с точки зрения одного из авторов этой статьи, долгое время курировавшего в Беларуси проведение мер радиационной защиты и радиационной безопасности населения.

Загрязненными радионуклидами оказались более 18 тыс. км² сельскохозяйственных земель, 14% населенных пунктов Беларуси, в которых проживало более 2 млн. человек (в том числе 500 тыс. детей), включая город Гомель с полумиллионным населением. Радиоактивному загрязнению подверглось 56 из 118 районов Беларуси, были ликвидированы 53 колхоза и совхоза, закрыты девять заводов перерабатывающей промышленности агропромышленного комплекса. Около четверти лесного фонда Беларуси (17,2 тыс. км² леса) подверглись радиоактивному загрязнению, из них выведено из оборота почти 2 тыс. км² лесов.

Первые шаги по преодолению последствий взрыва на ЧАЭС были сделаны еще бывшим СССР. Сразу же после катастрофы была создана Всесоюзная правительственная комиссия. Такая же комиссия была образована и в нашей республике. Ей поручалось разработать и реализовать комплекс срочных мероприятий по оказанию необходимой помощи населению, попавшему в зону радиоактивного воздействия.

Ликвидация катастрофы и ее масштабы только в первые месяцы потребовали огромных материальных и человеческих ресурсов. На загрязненных территориях в тот период было задействовано более 115 тыс. белорусских ликвидаторов, 5 полков химической защиты и гражданской обороны. В зону бедствия были направлены подразделения военнослужащих и добровольцев, техника, стройматериалы, одежда, продукты питания.

До конца 1986 года правительство БССР приняло 32 постановления и распоряжения по ликвидации последствий катастрофы и защите населения, в том числе:

- «О расширении зоны отселения от Чернобыльской АЭС до 30 км и неотложных мероприятиях по размещению населения»;
- «Об оказании денежной помощи гражданам, временно отселенным в связи с аварией на Чернобыльской АЭС» и др.

Масштабы материальных потерь и финансовых затрат на ликвидацию последствий Чернобыльской аварии убедительно свидетельствуют о чрезвычайно высокой цене ошибок и упущений в обеспечении безопасности ядерных энергетических установок и необходимости строго следовать при их разработке, создании и эксплуатации международным требованиям безопасности.

Опыт ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС демонстрирует необходимость создания и поддержания на высоком уровне системы реагирования на возможные техногенные аварии, необходимость контроля общественности за ядерной энергетикой и открытого и объективного диалога с ней по всем аспектам безопасного использования ядерной энергии.

Для координации деятельности по преодолению последствий катастрофы на ЧАЭС в 1991 г. в республике был образован Государственный комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, который в 1994 г. был преобразован в Министерство по чрезвычайным ситуациям и защите населения от последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, а в 1995 г. – в Министерство по чрезвычайным ситуациям (МЧС).

Все мероприятия по защите населения и радиационной безопасности проводились в соответствии с Государственными программами по преодолению в Беларуси последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Решение о разработке первой Государственной программы было принято Постановлением ЦК КПБ и Совет Министров БССР от 22 марта 1989 г. Госпрограмма была разработана и в июле 1989 г., в принципе, была одобрена XI сессией Верховного Совета БССР, но возвращена на доработку. На заседании

этой сессии республика была объявлена зоной национального экологического бедствия. Указанная Программа была окончательно принята в октябре 1989 г., но уже XII сессии Верховного Совета

В ее основу Госпрограммы были положены следующие проблемы:

- осуществление комплекса мер по максимальному снижению дозы радиоактивного облучения;
- обеспечение сохранности здоровья людей за счет медицинской профилактики, оздоровления, социального обеспечения и отселения из населенных пунктов, в которых не соблюдаются критерии безопасного проживания;
- создание безопасных для здоровья человека условий жизнедеятельности в районах, подвергшихся радиоактивному загрязнению;
- повышение качества жизни населения этих районов;
- научное исследование проблем, связанных с радиационным воздействием на человека, экосистемы и др.

В апреле 1990 года Верховным Советом СССР была утверждена Государственная союзно-республиканская программа неотложных мер на 1990-1992 годы по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В нее вошла белорусская программа, как основная. На этом же заседании Верховного Совета СССР было отмечено, что авария на Чернобыльской АЭС «является самой крупной катастрофой современности, общенародным бедствием, которое затронуло судьбы миллионов людей, проживающих на огромных территориях. Экологическое воздействие чернобыльской катастрофы поставило страну перед необходимостью решения новых, исключительно сложных, крупномасштабных проблем, которые затрагивают практически все сферы общественной жизни: многие аспекты науки и производства, культуры, морали».

28 июля 1992 г. Президиумом Совета Министров БССР была одобрена Государственная программа по преодолению в Республике Беларусь последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 1993-1995 гг. и на период до 2000 года. Эта программа решала следующие задачи:

- обеспечение безопасного проживания населения на пострадавших территориях (при необходимости – отселение с них), медицинского обслуживания и оздоровления людей;
- решение вопросов охраны материнства и детства, социальной защиты;
- строительство транспортной и социальной инфраструктуры;
- научное решение проблем нормальной жизнедеятельности населения и ведения хозяйства в районах радиоактивного загрязнения;
- обеспечение правопорядка, пожарной безопасности в зонах, находящихся под контролем и т.д.

Осуществление Государственных программ позволило решить полностью или частично мероприятия по минимизации последствий аварии на ЧАЭС, повышению качества жизни населения и уровня медицинского обслуживания, проведению специальных мероприятий по снижению доз облучения населения. Были проведены мероприятия по радиационной защите и радиационной безопасности населения, включавшие комплекс организационных, технических и санитарно-гигиенических мероприятий. При этом использовали разумное сочетание практической деятельности и оправданного применения мер радиационной защиты

Меры радиационной защиты населения в этих программах базировались на двух основных этических принципах:

- принципе «предупреждения», состоящем в предупреждении возможности возникновения детерминированных эффектов облучения;

- принципе «предосторожности», состоящем в допущении, что любое облучение даже в малых дозах может привести к проявлению стохастических эффектов облучения, т.е. на признании факта, что любое облучение опасно.

Меры радиационной защиты населения начались с эвакуации людей, начавшейся с 1 мая 1986 г. Только в течение года было эвакуировано 24 700 жителей из 107 наиболее пострадавших населенных пунктов. Прежде всего, были эвакуированы дети и беременные женщины на три летних месяца. Это позволило предотвратить угрозу облучения тела дозами более 0,05 Зв и на щитовидную железу – свыше 0,5 Зв. В последующие годы было отселено почти 137,7 тыс. человек из более чем 471 населенного пункта (295 – в Гомельской, 174 – в Могилевской и 2 – в Брестской области). Для переселенных семей было построено свыше 66 тыс. квартир и домов, в чистых районах республики возведено 239 поселков с необходимой инфраструктурой и предприятиями сервиса. К 1995 году отселение сельского населения с территорий, имеющих плотность радиоактивного загрязнения свыше 1480 кБк/м², было практически завершено. Полностью выехали или отселены жители 246 поселений.

Проведен мониторинг загрязненных территорий, составлены карты плотности загрязнения радионуклидами территорий и рассчитаны дозовые нагрузки на население во всех пострадавших населенных пунктах. Именно эти меры позволили выделить территории эвакуации (отчуждения), первоочередного и последовательного отселения и радиационного контроля, своевременно провести эвакуацию населения с наиболее загрязненных радионуклидами территорий, а в последующем – и отселение населения, организовать дозиметрический и радиационный контроль территорий, пищевых продуктов и людей, прогнозировать радиационную обстановку, постоянно снижать устанавливаемые дозовые нагрузки на население. Была организована система постоянного мониторинга окружающей среды. В Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды создана 181 реперная площадка и 19 ландшафтно-геохимических полигонов. Если эвакуация и отселение позволили уменьшить дозу внешнего облучения, то мероприятия в агропромышленном комплексе на загрязненных радионуклидами территориях – внутреннюю дозу. Они касались организации рациональных животноводческого и растениеводческого производств, прекращения хозяйственной деятельности и перепрофилирования в лесном и сельском хозяйстве, мер по снижению содержания радиоактивных веществ в с/х продукции. Медицинское обеспечение радиационной безопасности включало в себя медицинские обследования, профилактику заболеваний, а в случае необходимости, лечение и реабилитацию лиц, у которых выявлены отклонения в состоянии здоровья. Из недостатков следует отметить отсутствие своевременной правдивой информации о катастрофе, а когда она появилась – не компетентность ее. Не эффективной на первом этапе была и дезактивация территории и жилых домов на загрязненных территориях и др.

Таким образом, проведенные мероприятия по радиационной защите позволили снизить коллективную дозу облучения населения посредством технических, административных и экономических мер, существенно улучшить научное понимание возможных причин, сценариев и последствий аварий на ядерных электростанциях, повысить готовность ликвидировать последствия ядерных аварий, включая понимание эффективности различных защитных мер и создать возможности по борьбе с загрязнением окружающей среды радиоактивными материалами, включая накопление экспертных знаний, создание технической базы и соответствующих организаций. «Мы должны помнить о бескорыстном героизме, проявленном спасателями, работавшими на месте трагедии, о страданиях более чем 330 тысяч людей, переселенных из загрязненных районов, о чувстве опасности и страха, которое испытывали миллионы жителей прилегающих регионов» (К. Аннан).

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ПОДВИЖНОСТЬ ПЛУТОНИЯ И АМЕРИЦИЯ В ПОЧВАХ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ

Г.А. Соколик, С.В. Овсянникова, С.Л. Лейнова, Т.Г. Иванова

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, sokolikga@mail.ru

Введение. Работа посвящена анализу физико-химического состояния и миграционных свойств радионуклидов ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в почвенном покрове наземных экосистем, загрязненных радионуклидами в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС. Значительная энергия альфа-излучения радионуклидов и превышающие продолжительность жизни человека эффективные периоды полувыведения после инкорпорирования в организм в сочетании с высокой химической токсичностью соединений плутония и америция дают основание для отнесения ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am к числу наиболее биологически опасных.

Объекты и методы исследования. Объектами изучения являлись образцы почв, отобранные послойно с шагом 1 и 5 см в 1992–2009 гг. в пределах Полесского государственного радиэкологического заповедника (ПГРЭЗ) и прилегающей к нему территории. Содержание $^{238,239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в образцах почв и почвенных растворов определяли посредством радиохимического анализа с альфа-спектрометрической идентификацией радионуклидов [1]. Запас в почвах радионуклидов плутония и америция, обратимо связанных с компонентами почвенного комплекса (обменная форма), оценивали методом химического фракционирования с использованием раствора 1 моль/дм³ NH_4Ac (рН 7). «Горячие» частицы (ГЧ) топливной и конденсационной природы, активность которых превышала сформировавшуюся фоновую не менее чем на 2 порядка, идентифицировали методом радиографии [2].

Результаты и обсуждение. Изучено вертикальное распределение, физико-химические формы и миграционная способность плутония и америция на 23 участках с разным типом почвенного покрова и плотностью загрязнения $^{239,240}\text{Pu}$ от 630 до 26 000 Бк \times м⁻². По полученным результатам с использованием уравнений (1) и (2) установлены глубины залегания (координаты) средневзвешенных количеств $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в почвах (X , см) и определены средние скорости их перемещения вглубь почвенных профилей (V , см \times год⁻¹) [3]:

$$\sum_{i=1}^n (X - X_i) \cdot q_i = 0, \quad (1)$$

где X_i (см) – глубина залегания i -го слоя почвы; q_i (%) – доля активности радионуклида в i -ом слое почвы от суммарной активности радионуклида в почвенном профиле.

$$V = \frac{X}{T}, \quad (2)$$

где T (лет) – время, прошедшее после выпадения радионуклида на поверхность почвы.

Результаты изучения вертикальной миграции радионуклидов свидетельствовали о низкой миграционной способности плутония и америция в почвах. В 2009 г. основной запас радионуклидов в почвах был сосредоточен в (0–5) или (0–10)-см слое и только на пойме р. Припять с неразвитыми аллювиальными почвами – в (0–20)-см слое. Средние скорости вертикальной миграции в почвах средневзвешенных количеств $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в большинстве случаев варьировали в интервале 0,15–0,30 см в год. Лишь в условиях повышенного увлажнения и реализации промывного режима радионуклиды перераспределялись со скоростью 0,68 см в год.

С 1988 по 2009 г. в почвах ПГРЭЗ и за пределами регистрировались ГЧ. По своей природе ГЧ первоначально представляли собой диспергированное ядерное топливо или продукты конденсации соединений радионуклидов на частицах техногенного и природного происхождения, которые присутствовали в воздухе в зоне аварии. По нашим оценкам, в пределах 20 км зоны ПГРЭЗ доля топливной компоненты в первоначальных выпадениях составляла более 85 %, а на расстоянии 40-50 км – 60-85 %. Состав большинства ГЧ топливной природы был близок к составу облученного ядерного топлива, но отличался более окисленным состоянием урана, меньшим содержанием летучих компонентов и присутствием дополнительных ингредиентов, особенно в поверхностном слое частиц.

На исследованной территории выпали преимущественно топливные частицы с окисленной оксидно-урановой матрицей, которые со временем подвергались деструкции и растворению. Наиболее интенсивно ГЧ разрушались в условиях переувлажнения и повышенной кислотности в почвах, обогащенных органическим веществом. Анализ показал, что после пребывания в почвенной среде поверхность частиц в зависимости от типа почвы была покрыта минеральной алюмосиликатной или органической оболочкой. Минеральный каркас в определенной степени изолировал частицы от внешнего воздействия и замедлял процесс разрушения ГЧ, химически активные гумусовые вещества, наоборот, способствовали их разрушению. Со временем различия между интенсивностью выхода радионуклидов за пределы матрицы ГЧ в разных типах почв нивелировались [2, 5].

В 1987 г. на участках, расположенных на расстоянии 20–40 км от ЧАЭС, плотность загрязнения почвенного покрова ГЧ активностью более 0,01 Бк составляла $3,9 \times 10^5$ – $1,2 \times 10^6$, в 2001 г. – не более 500, в 2009 г. – ~ 10 частиц \times м⁻².

Деструкция ГЧ хорошо ($R^2 = 0,96$) аппроксимировалась уравнением (3):

$$\ln(N) = -0,5 \cdot t + 14, \quad (3)$$

где N (частиц \times м⁻²) – плотность ГЧ в почве; t (лет) – время, прошедшее после аварии.

В соответствии с (3) количество ГЧ на 1 м² почвы уменьшалось в среднем в 1,6 раза в год. С 1987 по 1997 г. в природных условиях бета-активность ГЧ в почвах ежегодно сокращалась в 1,2–1,5 раза, а частиц, находившихся в образцах почв, отобранных в 1987 г. и хранившихся в воздушно-сухом состоянии – в 1,1–1,3 раза. В 2001 г. за пределами 20 км зоны вклад ГЧ активностью более 0,01 Бк в суммарную бета-активность почв составлял 0,06–6,5 %, а в 2009 г. – менее 1 %, что свидетельствовало о практически полном разрушении частиц в этой зоне. В процессе деструкции ГЧ радионуклиды плутония и америция поступали в почвенные растворы и перераспределялись по компонентам почвенного комплекса.

Результаты изучения форм нахождения радионуклидов свидетельствовали о низкой миграционной способности плутония и америция в почвенно-растительном покрове. За весь период наблюдения запас в почвах плутония в обменной форме не превышал 9,2 %, а америция – 12,5 % от общего содержания соответствующего радионуклида, причем доля обменного америция, как правило, превышала соответствующую долю плутония. В 2009 г. во всех типах изученных почв относительные количества плутония и америция в обменной форме сохранялись на уровне 1992–1993 гг. (рисунок).

Изменение запаса плутония и америция в мобильной обменной форме могло быть связано с изменением условий увлажнения и характеристик почв, влияющих на скорость разрушения ГЧ и последующее распределение радионуклидов по компонентам почвенного комплекса. После разрушения горячих частиц основное количе-

ство плутония и америция связывалось с малоподвижными компонентами почвенного гумуса.

Запас $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в почве в мобильной обменной форме определялся в основном структурой органических компонентов почвенного комплекса и уменьшался в ряду почв: дерново-подзолистые песчаные и супесчаные – дерновые песчаные и супесчаные – торфяные.

Заключение. В целом, в 2009 г. за пределами 20 км зоны состояние плутония и америция в почвах стабилизировалось. Низкое содержание в почвах радионуклидов в обменной форме ограничивало их перераспределение в почвах, вынос в грунтовые и поверхностные воды и накопление растительностью. Полученные данные составили основу для прогнозирования перераспределения плутония и америция в наземных экосистемах и послужили основой для разработки стратегии рационального природопользования в регионах, загрязненных плутонием и америцием.

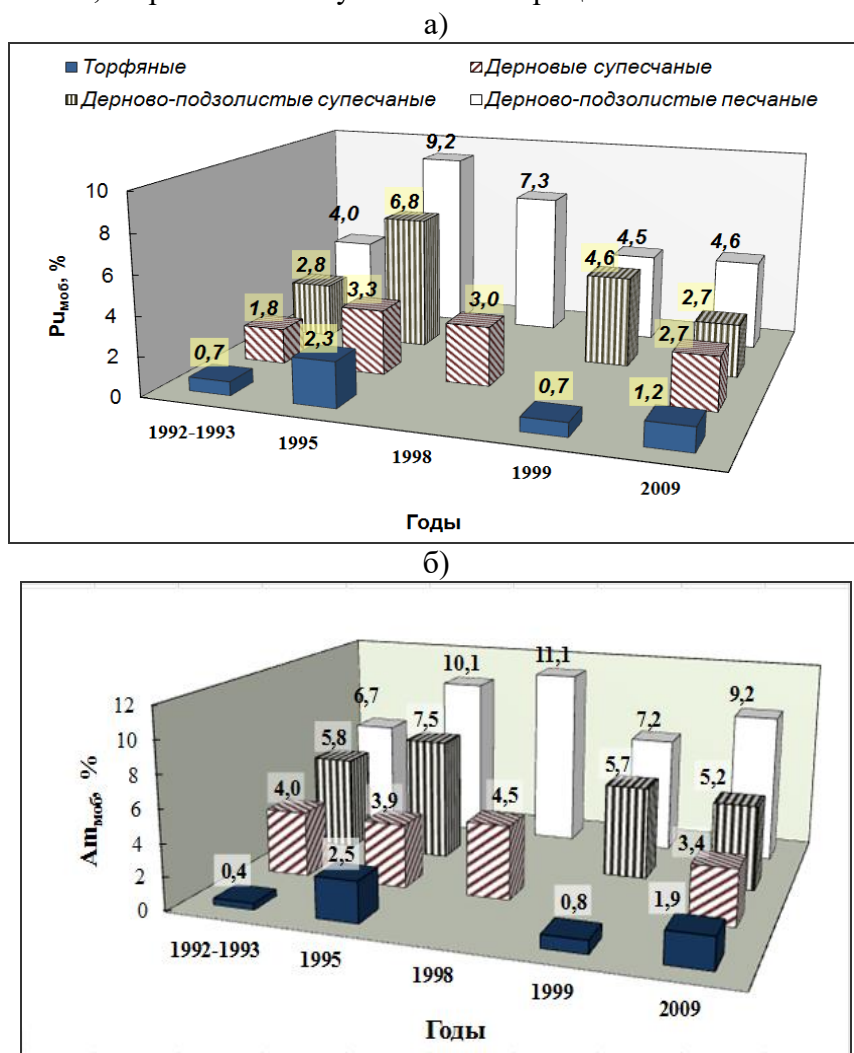


Рисунок – Изменение во времени среднего содержания $^{239,240}\text{Pu}$ (а) и ^{241}Am (б) в обменной форме в образцах (0–5)-см слоев почв на расстоянии 20–40 км от места аварии

Литература

1. Migration Ability of Plutonium and Americium in the soils of Polesie State Radiation-Ecological Reserve / S. Ovsianikova [et al.] // J Radioanal and Nucl Chem. – 2010. – Vol. 286. – P. 409–415.

2. Hot Particles are the Source of Radionuclides on the Territory of Belarus / E. Petryaev [et al.] // Proceedings of the I International Conference “The radiological consequences of the Chernobyl accident”, Minsk. – 1996. – P. 543–547.

3. Forms of Occurrence and Migration of Chernobyl Radionuclides in Byelorussian Soils / E. Petryayev [et al.] // Proceedings of SPECTRUM 1994 “Nuclear and Hazardous Waste Management”. Atlanta, Georgia, USA, 1994. – P. 182–187.

4. Physicochemical Characteristics of fuel and condensed particles and their inhalation intake into respiratory organs of man / A.A. Ter-Saakov [et al.] // Working materials of conference on the radiobiological impact of hot particles from the Chernobyl fallout: Risk assessment, Vienna, 1992. – P. 1–37.

5. Kinetics of Dissolving of Chernobyl Fuel Particles in Soil in Natural Conditions / V.A. Kashparov [et al.] // J. Environ. Radioactivity. – 2004 – Vol. 72. – P. 335–353.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ВЕДЕНИЮ РАСТЕНИЕВОДСТВА НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАДОАКТИВНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

С.И. Спиридонов, В.В. Иванов, Н.И. Санжарова, Т.В. Переволоцкая

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», Обнинск, Россия, spiridonov.si@gmail.com

Введение. Радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных угодий после аварии на Чернобыльской АЭС обусловило необходимость разработки мероприятий, снижающих накопление радионуклидов в агропродукции [1,2]. Реабилитационные мероприятия, с одной стороны, позволяют получать продукцию, отвечающую санитарно-гигиеническим нормативам [3], а, с другой, – обеспечивают сохранение плодородия почв и повышение продуктивности агроценозов. Реабилитационное планирование должно опираться на количественный модельный анализ и основываться на специализированных системах поддержки принятия решений [2, 4].

Материалы и методы. Разработаны программные средства *ReSAL* (язык программирования AutoIt3), в состав которых входят три специализированных программных модуля по ведению растениеводства, кормопроизводства и животноводства в сельскохозяйственных предприятиях на радиоактивно загрязненных территориях Брянской области. Структура каждого модуля *ReSAL* включает расчетные модули, картографический блок и базу данных, содержащую необходимую для расчетов информацию. К числу показателей в составе базы данных относятся параметры перехода ^{137}Cs в звенья сельскохозяйственных цепочек и характеристики реабилитационных мероприятий.

Оценка текущей ситуации в рассматриваемом хозяйстве и прогноз эффективности реабилитационных мероприятий основаны на совокупности радиологических и экономических критериев:

- риск превышения нормативов содержания радионуклидов в продукции;
- предотвращенная коллективная доза (разница между коллективными дозами до и после применения мероприятия);
- затраты на проведение мероприятия;
- отношение величины предотвращенной дозы к затратам на проведение мероприятия («стоимость предотвращенной дозы»).

Для каждого мероприятия и вида продукции растениеводства вычисляется концентрация радионуклидов в продукции, величина коллективной дозы и материальные

затраты на мероприятие. Информация о предотвращенной дозе, отнесенной к затратам, позволяет выбирать мероприятия на основе радиологического и экономического подходов. При расчете рисков превышения санитарно-гигиенических нормативов учитывается важный аспект, касающийся вероятностной оценки загрязнения агропродукции [5]. В результате, компьютерная программа обеспечивает пользователя следующей информацией:

- карта-схема структуры землепользования хозяйств;
- таблицы, включающие совокупность количественных значений упомянутых выше критериев для каждого рассматриваемого хозяйства.

«Открытость» программных средств *ReSAL* позволяет оперативно дополнять базы данных информацией, полученной в результате проведения мониторинговых исследований. Специализированные модули программных средств *ReSAL* предназначены для выполнения на персональном компьютере в среде операционной системы Microsoft Windows со следующими минимальными требованиями:

- Microsoft Windows 2000/XP/Vista/7 с установленными обновлениями;
- процессоры Intel, AMD (или совместимые с ними) с частотой не менее 1 ГГц;
- разрешение экрана 1024x768, 32-битный (и выше) цвет.

Результаты исследования и обсуждения. Посредством программного модуля «Растениеводство» (рисунок 1) программных средств *ReSAL* на примере тестового хозяйства СПК «Увелье» Красногорского района Брянской области проведены расчеты эффективности применения реабилитационных мероприятий для зерновых культур (рисунок 2).

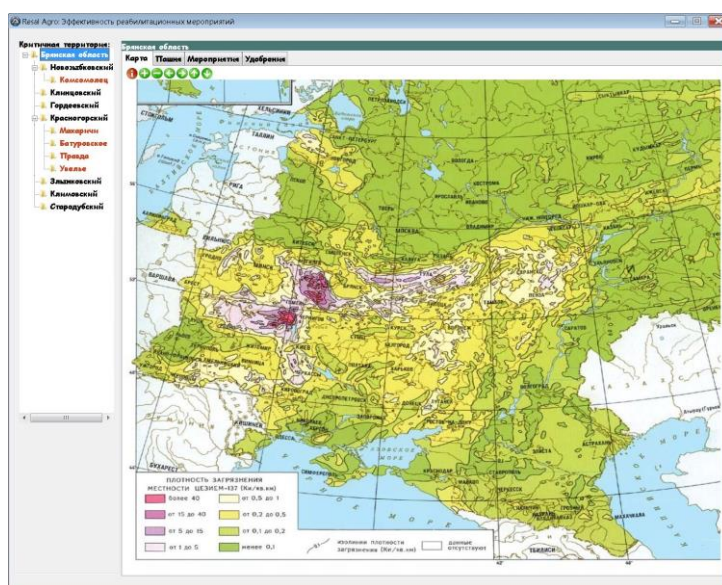


Рисунок 1 – Главное окно модуля «Растениеводство»

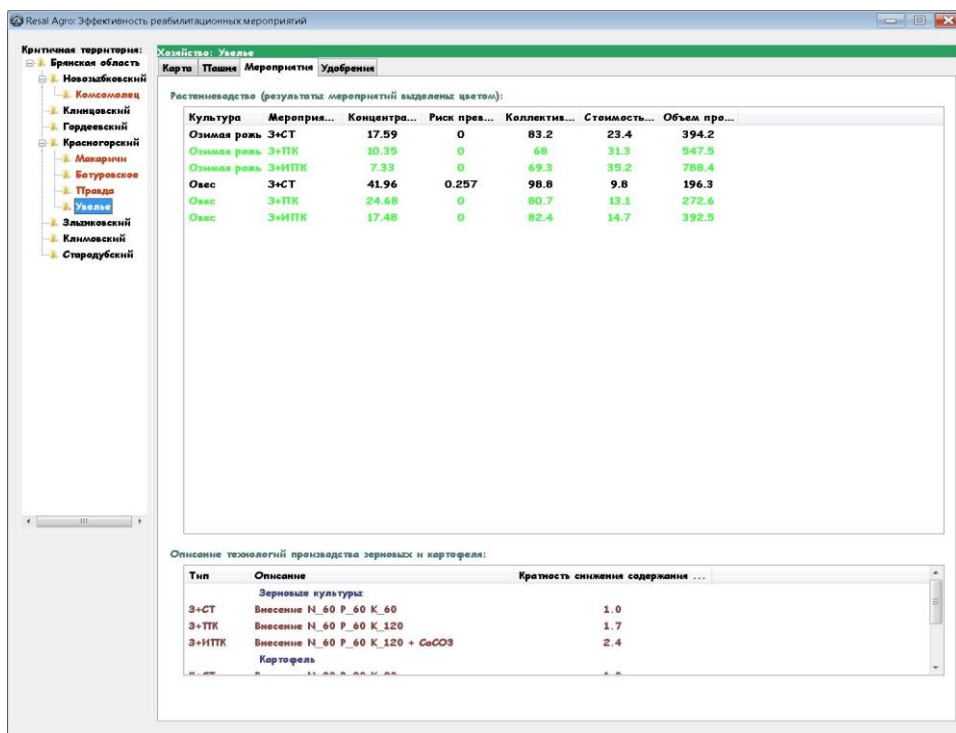


Рисунок 2 – Результаты расчета эффективности реабилитационных мероприятий в СПК «Увелье» Красногорского района Брянской области

При этом рассматривались различные варианты применения мероприятий и вариант, соответствующий стандартным технологиям. Применение различных технологий характеризуется набором показателей, включающих среднюю концентрацию ^{137}Cs в продукции до и после проведения реабилитационных мероприятий; риск превышения норматива; предотвращенную коллективную дозу; ее стоимость; объем производства продукции. Анализ результатов расчета показывает, что в отсутствие реабилитационных мероприятий риск превышения норматива содержания ^{137}Cs в овсе (зерно) составляет 0.257 (рисунок 2). Следует подчеркнуть, что при этом уровне риска средняя концентрация ^{137}Cs в рассматриваемом виде растениеводческой продукции (43 Бк/кг) ниже допустимого уровня (60 Бк/кг). В результате внесения повышенных доз калийных удобрений значение риска снижается до нуля. Применение более затратного мероприятия, связанного с комплексным внесением минеральных удобрений и мелиорантов, в рассматриваемом случае не является необходимым. При этом значения коллективных доз, формируемых после применения этих мероприятий, являются практически одинаковыми. Это связано с тем, что снижение концентрации ^{137}Cs в продукции (с 25.5 до 18.1 Бк/кг) при применении мероприятия З+ИПК, по сравнению с мероприятием З+ПК, компенсируется увеличением ее объема (с 10 до 14 тонн).

Если, согласно расчетам, на исследуемом участке возможно получение продукции с загрязнением ^{137}Cs , превышающим допустимый норматив, то для него (или другого участка) можно дать прогноз применения агро-мелиорантов реабилитационных технологий. Информация будет представлена в виде таблицы, в которую включены следующие характеристики: название культуры, производимой на участке; название агро-мелиоранта; средняя концентрация ^{137}Cs в продукции, получаемой с исследуемого участка, Бк/кг; объем получаемой продукции, т; затраты на проведение технологии на участке, тыс.руб. После отображения отчет можно сохранить или выдать на печать. Карта, отображаемая в отчете совпадает с изображением вкладки **Карта**, которое имеется в момент нажатия кнопки **Отчет** (рисунок 3).

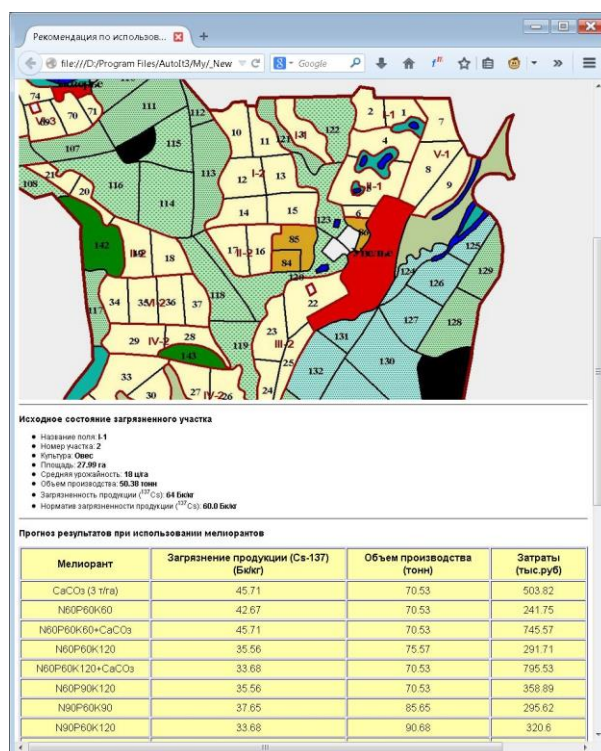


Рисунок 3 – Отчет с результатами прогноза применения агроメリорантов на критическом участке I-1 СПК «Увелье» Красногорского района Брянской области

Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны программные средства *ReSAL* для оценки эффективности реабилитационных мероприятий в хозяйствах, находящихся на радиоактивно-загрязненных сельскохозяйственных землях. Выполнены демонстрационные расчеты эффективности применения реабилитационных мероприятий в тестовом хозяйстве, расположенном на территории Брянской области, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Литература

1. Фесенко, С.В. Оценка эффективности защитных мероприятий в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС/ С.В. Фесенко, Н.И. Санжарова, Р.М. Алексахин // Радиационная биология. Радиэкология. – 1998. – Т. 38. №. 2. – С. 256-266.
2. Remediation of Contaminated Environments. Eds G. Voigt and S. Fesenko.// Elsevier. – 2009. – 477 P.
3. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01. Минздрав РФ, 2001.
4. Yatsalo B.I. Decision Support System for Risk Based Land Management and Rehabilitation of Radioactively Contaminated Territories: PRANA approach // Int. J. Emergency Management. – 2007. –Vol. 4, №3. – P.504-523.
5. Спиридонов, С.И. Вероятностная оценка накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и допустимых уровней радиоактивного загрязнения почв / С.И. Спиридонов, В.В. Иванов // Радиационная биология. Радиэкология. – 2013.– Т. 53. №1. – С. 95-103.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Р.К. Спиров, А.Н. Никитин

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, ruslan.spirov@yandex.ru

Открытие, получение и определение химических свойств трансурановых элементов (ТУЭ) активно развивалось в сороковых годах прошлого столетия в связи с потенциальной способностью новых элементов служить источниками ядерной энергии [1]. В это же время были сформулированы основные принципы радиохимического выделения, необходимого для получения весовых количеств определенного элемента в чистом виде. Дальнейшее изучение химических свойств трансурановых элементов, а также их соединений, позволило расширить методический арсенал радиохимиков, тем самым став основой для современных методов определения ТУЭ в объектах окружающей среды.

Проводившиеся в начале шестидесятых годов XX века испытания ядерного оружия стали основным источником глобального поступления ТУЭ в окружающую среду и послужили причиной более внимательного подхода к экологической обстановке территории, занимаемой человеком. Тем не менее, 26 апреля 1986 года, в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции, около 23 % от общей площади Республики Беларусь оказалось загрязнено радионуклидами. Альфа-излучающие трансурановые элементы чернобыльского происхождения представлены в основном изотопами плутония-238,239,240 и америция-241 [2]. Малая изученность на тот момент поведения трансурановых элементов в экологических системах, их высокая радиотоксичность для живых организмов, а также большая радиологическая опасность, возникающая вследствие увеличения подвижности дочерних радиоизотопов, простимулировала ученых на международном уровне обсудить вопросы радиозэкологической обстановки окружающей среды, создав при этом новый виток в развитии методов определения трансурановых элементов.

На данный момент изучением ТУЭ в Республике Беларусь занимаются: С.В. Овсянникова (Белорусский государственный университет) – геохимия и биологическая миграция радионуклидов; Г.А. Соколик (Белорусский государственный университет) – оценка загрязнения радионуклидами окружающей среды, миграция и биологическая доступность радионуклидов; В.Н. Забродский (Полесский государственный радиозэкологический заповедник) – радиационно-экологический мониторинг; В.С. Аверин (Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины) – трансурановые элементы в агроэкосистемах; С.А. Тагай (РНИУП «Институт радиологии») – методическое обеспечение, изучение процессов и закономерностей долгосрочной миграции радионуклидов плутония и америция в агроэкосистемах; А.Н. Никитин (ГНУ «Институт радиобиологии») – математическое моделирование поведения радионуклидов в экосистемах; В.П. Миронов (МГЭУ им. А.Д. Сахарова) – аккумуляция ТУЭ растительностью природных комплексов, оценка дозовых нагрузок при ингаляционном поступлении и др.

Цель данной работы – аналитический обзор современных методов определения трансурановых элементов в объектах окружающей среды.

Определение содержания трансурановых элементов возможно следующими методами: гравиметрия (методом прокаливания с поправкой на примеси), окислительно-восстановительная титриметрия, комплексонометрические методы, кулонометрия с контролируемым потенциалом, спектрофотометрия, рентгено-флюоресцентный спектрометрический анализ, регистрация альфа-излучения альфа-спектрометром, масс-спектрометрия с поверхностной ионизацией или изотопным разбавлением. Большин-

ство из перечисленных методов не являются специфическими для рассматриваемых элементов, поэтому применимы только для высокочистых соединений. Почвенные и биологические образцы чернобыльского происхождения определяют в основном методами альфа- или масс-спектрометрии, однако и применение этих методов требует качественно проведенных пробоподготовки и радиохимического выделения.

Перевод пробы в раствор является первым этапом при проведении радиохимического анализа ТУЭ. Озоленную в муфельной печи пробу растворяют в горячей смеси 8 М HNO_3 – 0,1 М HF . Зачастую процесс растворения можно ускорить, добавив на поздних стадиях растворения 1-2 капли 48% HF .

Следующим этапом аналитической процедуры после растворения пробы и перевода радионуклидов в раствор является отделение актиноидов друг от друга или от других потенциально мешающих анализу элементов. Необходимость этого этапа связана с тем, что при определении удельной активности ТУЭ спектрометрическим путем, возможно наложение пиков отдельных изотопов в связи с тем, что их альфа-частицы, возникшие в результате распада ядра, имеют близкие энергии, например, ^{238}Pu (5,50 МэВ) и ^{241}Am (5,49 МэВ).

Экстракция растворителем. Первые методы определения трансурановых элементов основаны на экстракции растворителем. Плутоний можно экстрагировать или в виде внутрикомплексного соединения, или в виде экстрагируемой формы ассоциации ионов. Наиболее часто употребляемыми в качестве извлекающего агента используются органические соединения, такие как трибутилфосфат (ТБФ), теноилтрифторацетон (ТТА) и др. При этом комплексы четырехвалентного плутония извлекаются лучше, чем шестивалентного, а трехвалентный плутоний вовсе не экстрагируется.

Экстракцию проводят чаще всего из азотнокислых растворов, поскольку эффективность экстракции в этом случае выше, чем из солянокислых. ТТА часто используется в таких органических растворителях, как бензол и ксилол. Америций и нептуний, присутствующие в растворе азотной кислоты в виде Am(III) , Np(V) или Np(VI) , не экстрагируются в раствор 0,5 М ТТА в ксилоле. Если промыть органическую фазу растворами, переводящими плутоний в трехвалентное состояние, то плутоний можно будет селективно доизвлечь [3].

Ионообменная хроматография. В связи с тем, что плутоний в растворах существует в различных валентных состояниях, возникает большое разнообразие аналитических схем его отделения. Степень адсорбции на анионитах уменьшается в ряду $\text{Pu(IV)} > \text{Pu(VI)} > \text{Pu(III)}$. Последнее связано со стабильностью хлоридного и нитратного комплексов плутония в трехвалентном состоянии. Комплексные ионы четырех- и шестивалентного плутония хорошо адсорбируются из 6 М HCl и 2 М HNO_3 . Трехвалентный плутоний из соляной и азотной кислот любых концентраций адсорбируется очень слабо или не адсорбируется вовсе.

Для слабоактивных проб хорошие результаты показывает предварительное осаждение трансурановых элементов с гидроксидом железа (III). Раствор нейтрализуют безугольным аммиаком и фильтруют. Осадок растворяют в азотной кислоте и стабилизируют плутоний до четырехвалентного состояния нитритом натрия или перекисью водорода. Пропускают через колонки с анионитом АВ-17 в азотнокислой форме. Плутоний элюируют 0,3 М HNO_3 – 0,1 М HF . Америций очищают от железа и урана на колонках с АВ-17, затем пропускают через колонки с ФИБАНом [4].

Один из вариантов ионообменной хроматографии состоит в следующем. Во вскрытую азотной кислотой пробу добавляют известный объем трассера ^{242}Pu и гидросульфитом натрия переводят весь плутоний до Pu^{3+} , затем добавляют нитрит натрия, чтобы перевести Pu^{3+} в Pu^{4+} . Далее пробу (содержащую анион $\text{Pu}(\text{NO}_3)_6^{2-}$, катион Am^{3+} и другие примеси в 8 М HNO_3) пропускают через хроматографические колонки заполненные селективной ани-

онной смолой AG1x4, делают первый промыв 8 М HNO₃, второй промыв 6 М HCl и элюируют Pu³⁺ солянокислым гидроксиламином. Эффлюент с первым промывом содержит катионы Am³⁺ и UO₂²⁺. Второй промыв с катионом Th⁴⁺ отбрасывается. В эффлюент добавляют трассер для определения америция, выпаривают досуха и растворяют в азотной кислоте, добавляют 1 М HNO₃ – 93% CH₃OH и пропускают через колонку с AG1x4. Первый промыв делают 1 М HNO₃ – 93% CH₃OH, второй промыв 0,1 М HCl – 0,5 М NH₄SCN – 80 %CH₃OH, элюируют Am³⁺ 1 М HCl – 80% CH₃OH.

Однако за последние годы, благодаря поиску высокоселективных смол, этот метод претерпел некоторые изменения, развитие получили методы *экстракционной хроматографии*. Во вскрытую азотной кислотой пробу добавляют трассеры для плутония и америция, гидросульфит натрия, чтобы перевести весь плутоний в Pu³⁺, затем пропускают пробу через хроматографические колонки, заполненные UTEVA, эффлюент пропускают через колонки со смолой TRU, промывают 2 М HNO₃ – 0,1 М NaNO₂, 3 М HNO₃, затем элюируют Am 4М HCl, а Pu 0,1 М NH₄HC₂O₄ [5].

Америций и плутоний из полученных элюатов выделяют на счетную мишень соосаждением с гидроксидом церия или методом электроосаждения [6].

Таким образом, рассмотренные методы определения трансурановых элементов успешно применяются для количественной оценки содержания изотопов плутония и америция чернобыльского происхождения в почвенных и биологических объектах.

Литература

1. Сиборг, Г.Т. Искусственные трансурановые элементы : пер. с англ. / Г.Т. Сиборг, под ред. А. К. Лаврухина. – М.: Атомиздат, 1965. – 168 с.
2. Миронов, В.П. Плутоний, америций и другие актиниды на территории Беларуси: источники, уровни, риски / В.П. Миронов, В.П. Кудряшов, П.И. Ананич, В.В. Журавков // Пятнадцать лет после катастрофы. Серия «Экология человека». – 2001. – Вып. 2. – С.25-53.
3. Rogers, D.R Handbook of Nuclear Safeguards Measurement Methods / D.R. Rogers// Monsanto Research Corporation. – 1983. – 712 p.
4. МВИ. МН 1892-2003. Методика определения активности стронция-90 и трансурановых элементов в биологических объектах. – Минск, 2003. – 17 с.
5. Hou, X. Present status and perspective of radiochemical analysis of radionuclides in Nordic countries / X. Hou [et al.] // J Radioanal Nucl Chem – 2016. – P.4-40.
6. Тагай, С.А. Методическое обеспечение для определения ⁹⁰Sr и трансурановых элементов (^{238,239+240}Pu и ²⁴¹Am) в объектах окружающей среды / С.А. Тагай, А.Б. Кухтевич, Н.В. Дударева // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы IV Международной конференции, г. Томск, 4–8 июня 2013г. – 2013. – С.511-513.

МИКРОСКОПИЯ ЛАТЕРАЛЬНЫХ СИЛ КАК НОВЫЙ МЕТОД В ИЗУЧЕНИИ РАДИОГЕННЫХ НЕОПЛАЗИЙ

М.Н. Стародубцева¹, И.Е. Стародубцев¹, Д.Р. Петренев², Н.И. Егоренков¹

УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель, Беларусь, yegorenkov-n@mail.ru

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь,

Введение. Одним из последствий Чернобыльской катастрофы является рост числа онкологических заболеваний человека, в том числе в Республике Беларусь. Ге-

номные нарушения в клетке, ведущие к ее злокачественным перерождениям, выражаются не только в нарушениях процессов клеточного деления, но и в других существенно важных для клетки изменениях, включая изменение трансмембранного потенциала, структурной организации, физико-механических свойств, ее способности к межклеточным контактам, адгезии и миграции. Ключевым моментом в образовании метастазов новообразований является способность раковых клеток к инвазии в окружающие ткани, их входу в кровеносную и лимфатическую системы и выходу из них. Однако для связи физико-механических параметров раковых клеток с их инвазивными свойствами в настоящее время изучена недостаточно, а изучение механизмов, определяющих инвазивные способности раковых клеток, ограничено небольшим набором существующих методов и методик.

Известно, что процессы инвазии связаны с механическими свойствами клеток, обусловленными в существенной мере структурой их поверхностного слоя, в первую очередь, кортикального слоя цитоскелета [1, 2]. Структура поверхностного слоя клетки отражается, естественно, на его физико-механических свойствах, а также на рельефе ее поверхности (ее геометрических характеристиках). В связи с этим новым перспективным методом исследования структуры и свойств поверхности и поверхностного слоя твердых тел на микро- и наноровнях является атомно-силовая микроскопия (АСМ), иначе называемая силовой зондовой микроскопией (СЗМ) – метод силового зондирования наноиндентором поверхности и поверхностного слоя твердых тел, позволяющий определять его морфологические (геометрические, структурные) и физико-механические (упругие, фрикционные, адгезионные и др.) свойства, включая их картирование – получение микрокарт распределения их значений. В АСМ наиболее часто используется опция статического контактного режима АСМ-сканирования, а именно *топография* (запись карт рельефа поверхности) и *микроскопия латеральных сил* (запись карт сил трения скольжения наноразмерного зонда-индентора по исследуемой поверхности – фрикционных сил).

Цель исследования – получение с помощью АСМ и анализ микрокарт рельефа (геометрии) поверхности и микрокарт механических свойств (сил трения скольжения) поверхностного слоя раковых клеток с целью совершенствования методов клеточной диагностики рака.

Объекты и методы исследования. В качестве модели радиогенных опухолей в работе использовали образцы раковых эпителиальных клеток человека (гортани (HEp-2c), легкого (A549) и молочной железы (MCF-7)) и нераковые клетки (первичные фибробласты кожи человека), фиксированные в 0,5 % водном растворе глутарового альдегида. Запись карт рельефа поверхности и карт латеральных сил поверхностного слоя клеток осуществляли на атомно-силовом микроскопе NT-206 («МикроТестМашины», Беларусь) в диапазоне температур (15-90 °С), перекрывающим физиологические температуры (35-42 °С). Для изучения температурных зависимостей свойств поверхностного слоя клеток была использована термоплатформа с автономным контроллером ТТ-01, которой комплектуется микроскоп NT-206. В качестве характеристик клеток использовали: средние значения сил трения скольжения $F_{тр}$ и распределение их отклонений $\sigma_{тр}$ вокруг них, а также значения фрактальной размерности D_f карт [3] исследуемых параметров. Статистический анализ опытных данных проводили с помощью программ Excel, Statistica (версии 6 и 7), OriginPro 8 SRO. Оценивали нормальность распределения признака методами Колмогорова-Смирнова, Шапиро-Вилк. Выборки, подчиняющиеся нормальному закону распределения, анализировались параметрическими методами. Результаты статистического анализа представлены в виде границ доверительного интервала с доверительной вероятностью 0,95. Сравнение выборочных средних проводили с использованием t -критерия Стьюдента с учетом критерия Фишера. Фракталь-

ную размерность (D_F) оценивали с помощью разработанного программного комплекса, основанного на методе подсчета кубов. Для расчета сил трения скольжения с исключением влияния на них сил, связанных с рельефом поверхности клеток, использовался метод «полуразности» латеральных сил для прямого и обратного проходов зонда-индентора АСМ [4].

Полученные результаты и их обсуждение. Профили карт рельефа поверхности и карт латеральных сил качественно на одном и том же линейном участке поверхности клетки различны (рисунок 1), что свидетельствует о принципиальных различиях этих карт как характеристик поверхности клеток.

Показано, что значения фрактальных размерностей как карт рельефа поверхности, так и карт сил трения скольжения раковых клеток различных типов отличаются. Например, отношение фрактальных размерностей $D_F / D_{F\text{фб}}$ для записанных при комнатных условиях карт латеральных сил фибробластов, раковых клеток линий А549, НЕР-2с и МСF-7 составляет соответственно (отн. ед.) $1,00 \pm 0,01$, $0,96 \pm 0,01$; $0,92 \pm 0,01$ и $0,96 \pm 0,02$. При этом абсолютные значения фрактальных размерностей клеток колеблются в пределах 2,1-2,5.

На рисунке 2 представлены температурные зависимости сил трения для раковых клеток линий А549, МСF-7, НЕР-2с и фибробластов. С увеличением температуры испытаний значения сил трения увеличиваются. При этом они незначительно изменяются в области физиологических температур. Существенное увеличение сил трения начинается при переходе через определенную (критическую) температуру T_g (рисунок 2), а точнее через узкую температурную область, значение которой зависит от типа клеток.

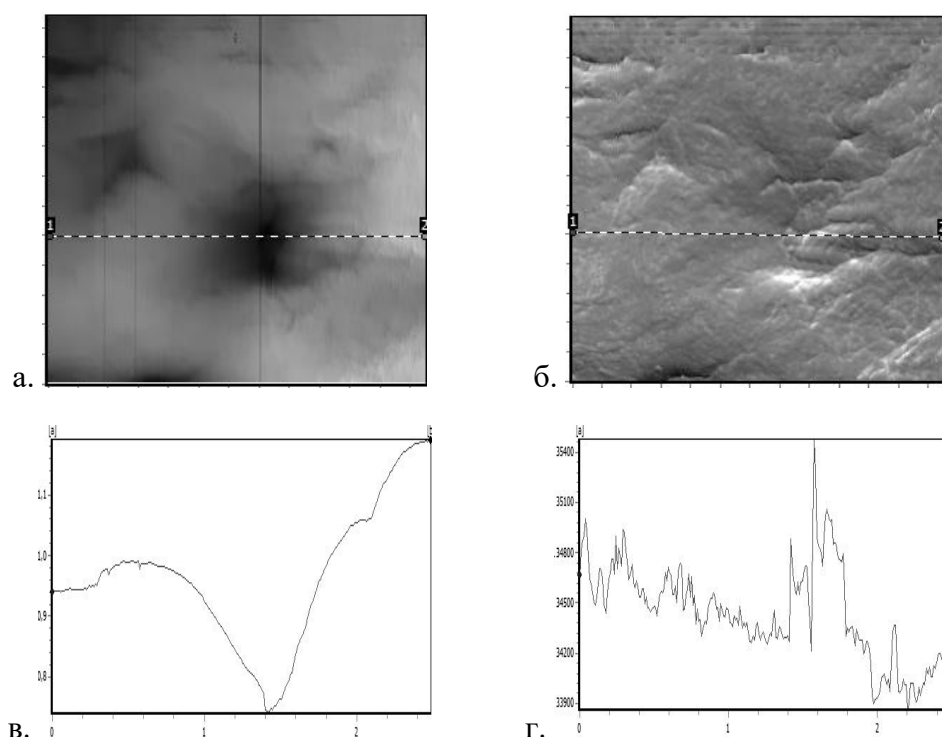


Рисунок 1 – АСМ-изображения участка поверхности раковой клетки А549 (а – карта рельефа поверхности, б – карта латеральных сил) и соответствующих им по линии 1-2 профилей (в – вертикальная ось в мкм; г – вертикальная ось в усл. ед.). Размер участков – 2,5 мкм × 2,5 мкм.

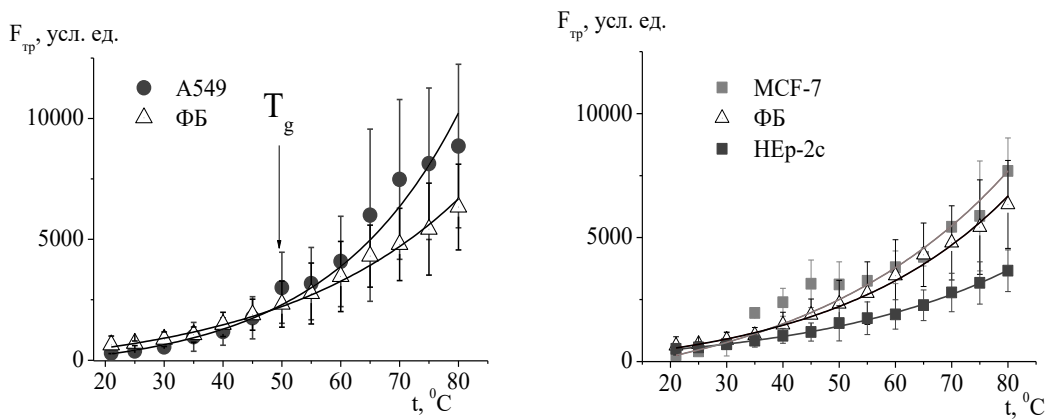


Рисунок 2 – Температурные зависимости сил трения скольжения ($F_{тр}$) для фибробластов (ФБ) и раковых клеток линий A549, MCF-7 и HEP-2c

Температурная область, при переходе к которой имеет место существенное увеличение латеральных сил (сил трения) клеток, соответствует области тепловой денатурации белков – физическому процессу изменения структурного состояния нативного белка. При денатурации белков происходит молекулярное разупорядочение нативной структуры белка и увеличивается его сегментальная подвижность. Аналогичный характер температурных зависимостей сил трения наблюдается для аморфных синтетических полимеров при их оценке как с помощью АСМ-методов, так и макроскопическим способом – посредством перемещения по их поверхности полусферического макроиндентора. При этом температурная область резкого изменения (увеличения) сил трения для аморфных полимеров соответствует области их перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние, то есть температурам их стеклования (при квазиравновесных условиях механических испытаний – температуре структурного стеклования T_g или T_c). В отличие от теплового «расстекловывания» аморфных полимеров увеличение сегментальной подвижности при тепловой денатурации белков является более сложным процессом и напоминает процессы в аморфно-кристаллических полимерах, так как связано не только с неупорядоченными («аморфными») областями белка, но и с разупорядочением путем «плавления», если судить по наличию эндотермического пика на его термограммах, локальных складчатых (упорядоченных по типу кристаллов) структур (структур вторичного уровня организации белка, β -структур).

При химической сшивке макромолекул аморфных линейных полимеров или при увеличении степени отверждения синтетических смол, то есть при появлении трехмерной молекулярной сетки в высокомолекулярных телах и увеличении ее густоты, оцениваемые макроскопическим способом силы трения, как известно, уменьшаются в области температур, превышающих их температуру структурного стеклования. Так как глутаровый альдегид обладает способностью сшивать макромолекулы органических полимеров, включая белки, следовательно, увеличение концентрации глутарового альдегида при обработке его растворами биологических клеток должно приводить к ослаблению зависимости латеральных сил (сил трения) от температуры испытаний, то есть к уменьшению их значений. Это и наблюдается, как показали наши исследования, в действительности. При этом с увеличением концентрации глутарового альдегида уменьшаются как абсолютные значения сил трения, так и зависимость сил трения от температуры. Глутаровый альдегид можно использовать для фиксации клеток при его концентрациях в растворе не более 0,5% и времени обработки не более 30 мин при комнатных условиях.

Заключение. С помощью методов атомно-силовой микроскопии изучены карты рельефа поверхности и физико-механические карты (карты сил трения скольжения) раковых и нераковых клеток человека в широком интервале температур испытаний, включающем физиологические температуры. Показано, что исследованные клетки (фибробласты

кожи и раковые клетки линий HEp-2c; A549; MCF-7) существенно различаются по своим свойствам. Характерные особенности геометрических и физико-механических свойств поверхностного слоя раковых клеток могут рассматриваться как маркеры их патологии, включая онкологию, и эффективно использоваться для изучения радиогенных опухолей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (код проекта Б14-042).

Литература

1. Atomic force microscope-based single cell force spectroscopy of breast cancer cell lines: an approach for evaluating cellular invasion. / R. Omidvar [et al.] // J. Biomech. – 2014. – Vol. 47. – P. 3373-3379.
2. Starodubtseva, M. N. Mechanical properties of cells and ageing / M. N. Starodubtseva // Ageing Res. Rev. – 2011. – Vol. 10, № 1. – P. 16-25.
3. Кузнецова, Т. Г. Способ исследования цитоскелета нативных эритроцитов : пат. 12868 Респ. Беларусь, МПК G01N13/10 (2009) / Т. Г. Кузнецова, М. Н. Стародубцева, Н. И. Егоренков ; дата публ. 28.02.2010.
4. Способ определения температуры структурно-релаксационного перехода вещества : пат. 18895 Респ. Беларусь, МПК G01N13/00 (2006.01) / М. Н. Стародубцева, Н. И. Егоренков, А. А. Суслов, С. А. Чижик ; дата публ. 28.02.2015.

ВЛИЯНИЕ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ОБЛУЧЕНИЯ, МОДЕЛИРУЮЩЕГО ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ У ЛИКВИДАТОРОВ АВАРИИ НА ЧАЭС, НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Д.Г. Сташкевич

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, dmitryst@tut.by

Заболевания сердечно-сосудистой системы являются основной причиной сокращения продолжительности жизни. Частота возникновения сердечно-сосудистых заболеваний и смертности от них повышена у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС [1]. Определяющее значение в развитии реакции организма на различные нагрузки, в том числе и радиационные, принадлежит регуляции всех звеньев кровообращения, в частности, функции сердца, центральной и периферической гемодинамики. Как известно, регуляция функции сердца осуществляется вегетативной нервной системой, рядом гуморальных и рефлекторных воздействий. Парасимпатическая и симпатическая системы находятся в определенном взаимодействии. Предполагают, что в нормальных условиях симпатический отдел играет вспомогательную роль и приобретает роль самостоятельного регулятора лишь в особых, чрезвычайных и стрессовых обстоятельствах [2]. Под действием ионизирующего излучения снижаются приспособительные возможности системы кровообращения, ее устойчивость к действию других повреждающих факторов [3, 4, 5].

В связи с этим представляет интерес анализ вариабельности сердечного ритма животных на пролонгированное облучение, близкое к дозам, которые получили ликвидаторы аварии на ЧАЭС [6].

Методы исследования. Исследования выполнены на белых крысах-самках 5-6 мес возраста. Животные опытной группы были подвергнуты пролонгированному облучению γ -квантами в дозе 1,0 Гр – на установке «ГАММАРИД» (Cs^{137}) при мощности $\approx 0,65$ мГр/час. Исследования проводились в процессе облучения, при дозах 0,125 Гр, 0,25 Гр, 0,5 Гр, 1,0 Гр.

Для оценки влияния облучения на вариабельность сердечного ритма использовали установку «РИТМ», которая включала камеру, блок выделения зубца R электрокардио-

граммы и ЭВМ. По специальным программам проводился математико-статистический анализ сердечного ритма по 100 последовательным кардиоинтервалам [2].

В каждом опыте анализировались следующие показатели: ЧСС – средняя частота пульса, уд/мин; АМо (амплитуда моды) – число кардиоинтервалов, соответствующих значению моды, %; Мо (мода), – диапазон значений наиболее часто встречающихся R-R интервалов, с; Вр (вариационный размах) – степень вариативности значений кардиоинтервалов, с; ИН (индекс напряжения регуляторных систем), усл.ед., – степень централизации управления сердечным ритмом; ИВР (индекс вегетативного равновесия), усл.ед., – соотношение между активностью симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы; ИЦ (индекс централизации), усл.ед., – активность центрального контура управления сердечным ритмом по отношению к автономному; Сд (мощность дыхательных волн), усл.ед. – активность автономного контура регуляции сердечным ритмом.

Результаты и обсуждение. Вариационнопульсометрические показатели у животных, которых подвергли длительному облучению, характеризовались тенденцией к постепенному функциональному сдвигу в сторону выраженного напряжения регуляторных систем (таблица). Так, контрольные животные обнаруживали минимальные значения частоты сердечных сокращений (ЧСС), индекса напряжения (ИН), амплитуды моды (АМо), индекса вегетативного равновесия (ИВР) и максимальные значения вариационного размаха (Вр), мощности дыхательных волн (Сд).

Экспериментальные животные, уже на начальном этапе облучения характеризовались повышенными значениями частоты сердечных сокращений, индекса напряжения, амплитуды моды и индекса вегетативного равновесия, а также пониженными значениями Вр. В процессе эксперимента описанные показатели так и не вернулись к нормальным значениям, что, видимо, связано радиационным стрессом и соответствующей модификацией активности гуморального канала регуляции сердечного ритма.

Как было отмечено выше, пролонгированное облучение животных велось с перерывами на функциональную диагностику. В результате воздействия ионизирующего излучения формировался радиационный стресс, при котором существенно активируются все уровни экстракардиальной регуляции сердечного ритма. Так, у крыс, которые получили дозу облучения 0,125 Гр, по сравнению с контролем, обнаружены следующие изменения регуляции сердечного ритма: вариационный размах (Вр) снижался (на 19,5%), также наблюдалось уменьшение мощности дыхательных волн, которые характеризуют активность симпатического отдела вегетативной нервной системы (на 29,4%) и увеличение индекса вегетативного равновесия (на 21,5%), что свидетельствует об ослаблении активности автономного контура регуляции сердечного ритма.

Таблица – Влияние пролонгированного γ -облучения на экстракардиальную регуляцию сердечного ритма

Показатели	Контроль	Пролонгированное облучение, Гр			
		0,125	0,25	0,50	1,0
ЧСС	457,0±14,1	444,3±18,8	503,0±25,6*	448,6±27,0	495,8±19,7
Амо	94,6±2,4	88,9±5,7	96,5±2,97	91,7±5,1	98,6±0,87
Мо	0,173±0,003	0,169±0,001	0,14±0,008*	0,155±0,008*	0,149±0,007*
Вр	0,225±0,013	0,181±0,014*	0,205±0,008	0,195±0,010*	0,177±0,008*
Сд	0,005±0,001	0,004±0,001	0,004±0,001	0,005±0,0007	0,004±0,001
ИН	1467,4±98,0	1704,3±153*	1664,4±110	1815,1±170*	1941,7±99,1*
ИВР	428,6±18,4	521,5±38,1*	475,2±21,6	480,2±29,6	565,2±26,0*
ПАПР	549,1±14,8	526,3±34,7	609,7±49,2	610,6±53,6	670,8± 29,3*
ИЦ	3,80±1,07	6,44±2,10	4,42±0,62	5,27±1,44	4,16±1,17

* – различия достоверны по отношению к контролю (P<0,05)

Сходная картина наблюдалась и при увеличении дозы облучения до 0,25 Гр. У облученных крыс отмечалось значимое увеличение индекса вегетативного равновесия (на 10,9%), а также уменьшение уровня моды (Mo), который является показателем гуморального канала регуляции (на 18,5%).

Пролонгированное облучение в дозе 0,5 Гр также существенно модифицировало вариабельность сердечного ритма по сравнению с контролем. Наблюдалось снижение показателя вариационного размаха, указывающего на степень активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы на кардиоритм (на 13,3%) и уменьшение коэффициента моды (на 10,4%), а также увеличением показателей индекса напряжения (на 23,7%) и индекса вегетативного равновесия (на 12,0%). Высокая активность центральных механизмов регуляции, вероятно, характеризовала продолжающееся снижение адаптационных возможностей организма, о чем свидетельствует повышенный показатель индекса вегетативного равновесия (на 12,0%) по сравнению с контролем.

При достижении дозы облучения 1,0 Гр у опытных животных, по сравнению с контролем, возросла частота сердечных сокращений (на 8,5%), снизились вариационный размах (на 21,3%) и средняя мощность дыхательных волн (на 27,5%), что указывает на уменьшение активности автономного контура регуляции сердечного ритма. Значительно возрастали индекс напряжения (на 32,3%) и индекс вегетативного равновесия (на 31,9%), которые характеризуют степень напряжения центральных регуляторных систем, а также свидетельствует о том, что уменьшается активность центрального контура регуляции сердечного ритма по отношению к автономному.

Заключение. Таким образом, после облучения в интервале доз моделирующих дозовые нагрузки у ликвидаторов аварии на ЧАЭС, наблюдаются изменения вариабельности сердечного ритма животных. Полученные данные свидетельствуют о значительном усилении функции гипоталамо-гипофизано-адреналовой оси, связанной с повышением синтеза и выброса в кровь АКТГ и катехоламинов. Увеличение показателя адекватности процессов регулирования свидетельствует об активации тиреоидной оси, с целью максимального использования пластических и энергетических ресурсов.

Литература

1. Чиркин, А.А. Особенности регуляции метаболизма у ликвидаторов аварии на ЧАЭС / А.А. Чиркин, Е.О. Данченко, О.М. Тихомирова, Н.А. Степанова // Экологическая Антропология. Ежегодник. Минск: ИООО «Право и экономика», 2008. – С. 69-74.
2. Баевский Р.М. Оценка адаптационного риска в системе индивидуального дозозологического контроля / Р.М. Баевский, А.Г. Черникова // Российский физиологический журнал, 2014.-N 10.-С.1180-1194
3. Маврищев, В.В. Радиоэкология и радиационная безопасность: пособие для студентов вузов / В.В. Маврищев, А.Э. Высоцкий, Н.Г.Соловьева. – Минск: Тетра Системс, 2010. – 208 с.
4. Hildebrandt, G. Non-cancer diseases and non-targeted effects // Mutation Research / Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis. Volume 687, Issues 1–2, 1 May 2010, Pages 73–77.
5. Bulanava K., Labanok L., Kanaplya Ya. Informational perception of the ionizing radiation by living organism // Proceedings of the 37th Annual Meeting of the European Radiation Research Society. Prague (Czech Republic), August 26-29 2009. / Editor J Skopec. – 2010. – Bologna – P. 45-48.
6. Сравнительный анализ риска при радиационно-эпидемиологическом исследовании лиц, принимавших участие в ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, с использованием различных видов облучения / А.Р. Туков [и др.] // Мед. радиология и рад. безопасность. – 2015. – Т. 60, № 6. – С. 27-33.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ В ЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ КЛЕТКАХ ХРУСТАЛИКА ГЛАЗ РЫБ В ВОДОЕМАХ ПГРЭС

С.Н. Сушко¹, А.М. Слуквин², Е.А. Клементьева¹

¹ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель

²ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси», Минск

Введение. Авария на Чернобыльской АЭС привнесла определенный вклад в содержание и изотопный состав урана, находящегося в поверхностном слое почвы и водной системе зоны отселения. В результате Чернобыльской катастрофы из выброшенных в биосферу радионуклидов значительное количество по массе приходится на долгоживущие изотопы урана – ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U . Специфической особенностью выброшенного урана является то, что при работе ядерного реактора помимо трансурановых нуклидов также образуется и долгоживущий изотоп урана – уран-236 вследствие захвата нейтрона ураном-235. Вторым путем генерации ^{236}U на территории, пострадавшей от аварии на Чернобыльской АЭС, является альфа-распад трансуранового элемента ^{240}Pu , период полураспада которого 6580 лет. При этом процессе будет происходить постоянное увеличение количества U^{236} в отдаленный период времени. Уран-236, период полураспада которого составляет $2,4 \times 10^7$ лет, является радионуклидом исключительно техногенного происхождения и в природной смеси изотопов не встречается. Поэтому этот радионуклид может быть маркером поступления топливных частиц в окружающую среду.

Известно, что у рыб легче и в более ранние сроки выявляются эффекты взаимоотношений организма с факторами окружающей среды, что предполагает использование объектов ихтиофауны в качестве индикаторов загрязнения среды, в частности долгоживущими изотопами урана [1]. Считается также, что среди гидробионтов рыбы являются наиболее радиочувствительным звеном [1-4]. Радионуклиды, так же как и все стабильные нуклиды, поступают в тело гидробионтов через пищеварительный тракт, жаберный аппарат и покровные ткани. Интенсивность поступления в организм радионуклида в существенной мере зависит от формы его нахождения и путей проникновения. Радионуклиды, находящиеся в ионном состоянии, интенсивно поглощаются органами и тканями рыб. Так, по данным А.Ф. Маленченко и др. [5] содержание урана в чешуе щуки оз. Персток, составляло $1,0 \pm 0,2$ мкг/г.

Цель работы – определить концентрацию долгоживущих изотопов урана в тканях и органах у мирных и хищных видов рыб, обитающих в водоемах зоны ПГРЭС и оценить их влияние на мутационный процесс.

Материалы и методы. Отлов рыб производили в оз. Персток и р. Припять в 2010-2011 гг. Материал для цитогенетических исследований был собран у представителей 3 видов рыб (серебряный карась, линь, щука), выловленных в водоемах зоны ПГРЭС в количестве 14 особей, в том числе: линь – 10 экз.; карась – 2 экз.; щука – 2 экз. Извлеченные глаза рыб фиксировали в смеси абсолютного этанола и ледяной уксусной кислоты в соотношении 3:1. Препараты эпителиальной ткани хрусталика глаз рыб готовили по утвержденной методике, окраску препаратов осуществляли гемалауном Майера [6,7]. Цитогенетические нарушения в эпителиальных клетках хрусталика глаз анализировали путем учета аберраций хромосом на стадии ана-телофазы при увеличении микроскопа в 100-200 раз [6,7]. Содержание изотопов урана определяли в мышечной и костной (позвоночник) тканях, репродуктивных органах – молоки (икра) и отолитах.

Результаты исследования и их обсуждение. Установлено, что концентрации изотопов урана в органах и тканях изученных особей серебряного карася и линя из оз. Персток располагаются в последовательном ряду: отолиты → молоки (икра) → позвоночник →

мышцы. Органы и ткани щуки из р. Припять по содержанию урана располагаются в следующей последовательности: отолиты → позвоночник → молоки (икра) → мышцы.

В процессе изучения клеток эпителиальной ткани хрусталика глаз у рыб из водоемов ПГРЭЗ были установлены следующие типы цитогенетических нарушений: фрагменты хроматидного происхождения; мосты, как хромосомные, так и хроматидные (чаще хроматидные); отставание хромосом или хроматид; двойные шапки хромосом в анафазе. Преобладающими хромосомными нарушениями (60-80% от общего числа перестроек) были одиночные фрагменты и одиночные мосты, что согласуется с данными о преобладании этих типов aberrаций у гидробионтов при индуцированном мутагенезе [1-5;8-10].

Результаты исследований количества проанализированных клеток и частотах клеток с aberrациями хромосом у рыб из водоемов Чернобыльской зоны представлены в таблице.

Таблица – Уровни aberrаций хромосом в клетках эпителия хрусталика глаз у мирных и хищных видов рыб, отловленных из водоемов и водотоков ПГРЭЗ

Вид рыб, количество (экз.)	Органы	Концентрация, мкг/кг x 10 ⁻³			Количество проанализированных клеток	Количество aberrантных клеток	
		²³⁵ U	²³⁶ U	²³⁸ U		Всего	%
оз. Персток							
Серебряный карась (<i>Carassius gibelio</i> Bloch.) (2)	Мышцы	8,3 – 13,7	1,2 – 2,0	709,4 – 1107,4	400	33	8,25 ±0,5*
	Позвоночник	30,8 – 32,4	1,7 – 2,3	789,2 – 1628			
	Молоки	10,0 – 45,6	2,1 – 10,9	490,0 – 1256,2			
	Отолиты	14,9 – 136,4	14,1 – 26,6	5062,9 – 6537,3			
Линь (<i>Tinca tinca</i> L.) (10)	Мышцы	6,8 – 32,8	0,2 – 2,9	219,5 – 2092,6	2000	135	6,75 ±1,3*
	Позвоночник	26,4 – 61,8	2,7 – 6,1	1518,9 – 2817,0			
	Молоки	4,0 – 31,9	1,3 – 1,6	387,1 – 1490,0			
	Икра	13,5 – 57,9	3,1 – 12,2	329,4 – 2082,8			
р. Припять							
Щука (<i>Esox lucius</i> L.) (2)	Мышцы	7,4 – 16,6	1,0 – 2,9	280,4 – 564,9	400	43	10,75 ±0,5*
	Позвоночник	24,8 – 37,5	1,8 – 4,4	724,1 – 935,5			
	Молоки	28,3 – 47,7	8,2 – 11,4	689,4 – 2848,8			
	Отолиты	14,8 – 276,8	7,2 – 24,6	23,1 – 14845,6			

* различия достоверны при P<0.05

По литературным данным у большинства пресноводных видов рыб спонтанный уровень aberrаций хромосом составляет от 0,9 до 4,6% [1,4,8,10]. Следовательно, любое превышение спонтанного уровня мутационной изменчивости у рыб может свидетельствовать об индуцированном характере мутационного процесса.

Установлено, что частоты aberrантных клеток у изученных видов рыб из оз. Персток и р. Припять в 1,5 – 2,3 раза выше, максимальных спонтанных уровней

аббераций хромосом в клетках эпителия хрусталика глаз для рыб. Также показано, что уровни частот абберантных клеток у карася достоверно отличаются от таковых у линя в оз. Персток (при $P < 0,05$), что, по-видимому, связано с величиной выборки количества рыб, взятых для исследований (2 экз. карася и 10 экз. линя), а также возрастным составом рыб. Следует также отметить, что у хищных видов рыб (щука) даже в проточном водоеме, р. Припять зафиксированы максимальные частоты встречаемости абберантных клеток по сравнению с мирными видами рыб из оз. Персток, что, вероятно, связано с повышенным поступлением радиоактивных взвесей с водосбора реки, а также с активным питанием щуки, которая является конечным звеном в пищевой цепи.

Установлено, что величины средних значений концентраций техногенного урана ^{236}U у рыб (серебряный карась – $7,61 \text{ мкг/кг} \times 10^{-3}$, линь – $3,76 \text{ мкг/кг} \times 10^{-3}$, щука – $7,68 \text{ мкг/кг} \times 10^{-3}$), напрямую коррелируют с величинами частот абберантных клеток, обнаруженных в эпителии хрусталика глаз рыб.

Заключение. Техногенный уран у мирных видов рыб (серебряный карась, линь) из оз. Персток (зона ПГРЭЗ), в большей степени депонируются в отолитах и гонадах, а у хищных видов рыб (щука) из р. Припять (зона ПГРЭЗ) – в отолитах и позвоночнике.

Полученные данные о повышенных уровнях цитогенетической изменчивости в эпителии хрусталика глаз у трех видов рыб (серебряный карась, линь, щука), обитающих в водоемах зоны ПГРЭЗ, свидетельствуют о мутагенности радиоизотопов урана в малых концентрациях у гидробионтов спустя 25 лет после аварии на ЧАЭС.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ, договор № Б09СО-016.

Литература

1. Шеханова И.А. Радиоэкология рыб. М.: Легкая и пищевая пром., 1983. – 208 с.
2. Шевченко и др. Радиационная генетика природных популяций. Генетические последствия Кыштымской аварии – М: Наука, 1992.- 221 с.
3. Поликарпов Г.Г., Цыцугина В.Г. Закономерности распределения аббераций хромосом по клеткам гидробионтов при действии ионизирующего излучения и химических мутагенов среды // Радиобиология. М.: Наука, 1993. Т. 33. Вып.2. С.205-213.
4. Слуквин А.М. Цитогенетические, репродуктивные и морфологические параметры прудового карпа в районах с радиоактивным загрязнением / Дисс. на соиск. уч. степени канд. биол.наук. – Минск: ГНУ ИГиЦ НАНБ, 1997.-198 с.
5. Маленченко А.Ф., Зубарева А.В., Слуквин А.М., Ус В.В., Жук И.В., Бондарь Ю.И. Радионуклиды и микроэлементы в чешуе рыб озера Персток // Весці НАН Беларусі. 2009. №2. С.111-115.
6. Приказ Федерального агентства по рыболовству РФ № 695 от 4 августа 2009 г. «Об утверждении методических указаний по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (приложение 2 к методическим указаниям, п. 7.3. выявление хромосомных мутаций).
7. Никифоров-Никишин А.Л. Морфологические и биохимические абберации в хрусталике глаза рыб под воздействием антропогенных факторов / Дисс. на соиск. уч. степени канд. Биолог. наук. – М.: МГЗИПП, 2000.-141 с.
8. Рябов И.Н. Радиологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС для рыб // Радиационная биология, радиоэкология.1997. Т.37. Вып. 4. С.657-663.
9. Печкуренок В.Л. Влияние аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. На популяцию рыб водоема – охладителя //Радиобиология. М.1991. Т.31. Вып.5. С.704-707.
10. Митрофанов Ю.А. Индуцированная изменчивость хромосом эукариот. М.: Наука, 1994. 139 с.

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС НА КЛЕТКИ КРОВЕТВОРНОЙ СИСТЕМЫ

С.Н. Сушко, С.В. Гончаров, Е.М. Кадукова

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, Беларусь

Введение. Проблема оценки биологических эффектов при комбинированном действии ионизирующего излучения и факторов нерадиационной природы является одной из наиболее сложных и дискуссионных в радиационной медицине и радиобиологии. Накопленный экспериментальный материал свидетельствует, что многофакторное воздействие агентов разной природы индуцирует в клетке сложные разнонаправленные процессы, в том числе, индукцию систем репарации, или подавление их работы [1]. Поэтому результирующий отклик биологической системы на комбинированном воздействии сложно прогнозировать, исходя только из информации об эффектах отдельного действия каждого из факторов [2].

Принимая во внимание специфику радиационного воздействия в поставарийный период (хроническое действие малых доз при низких мощностях дозы), очевидно, что основной акцент в исследовании патогенетических механизмов формирования отдаленных последствий должен быть сфокусирован на выявлении особенностей функционирования организмов, их реактивности, формировании генетического груза в условиях постоянного действия малых доз при низких мощностях дозы и дополнительного воздействия нерадиационных экологических факторов.

Материалы и методы исследований. Исследования выполнены на мышах линии Af, которые в возрасте 11-12 недель с начальной массой 19-20 г были разделены на 2 группы. Одна группа была перемещена на экспериментальную базу ПГРЭЗ (д. Масаны), мощность дозы в местах размещения животных на поверхности почвы составляла $3,3 \pm 0,1$ мкГр/ч. Вторую часть мышей аналогичного возраста содержали на стандартной диете в виварии г. Минска ($0,12$ мкГр/ч) в качестве контроля.

Через 4,5 месяца нахождения в зоне ПГРЭЗ мышей вывозили из зоны для снятия фоновых показателей и оценки их реакции к действию химического мутагена. Для этой цели после транспортировки на виварий, животным вводили 10 % раствор уретана (1 мг/г массы). Аналогичные действия в соответствии со сроками вывоза лабораторных мышей из зоны отчуждения ЧАЭС проводили с животными, находившимися на виварии г. Минска. Интактным животным вводили равное количество физиологического раствора.

Содержание эритроцитов, гемоглобина (Hb) и гематокрит определяли в свежей крови с использованием геманализатора Celltac α . Концентрацию метгемоглобина (MetHb) определяли в отмытых эритроцитах по методу Evellyn–Malloy [3] на спектрофотометре Ultrospec Amersham при $\lambda=630$ нм. Формулу белой крови определяли по стандартной методике [4].

Выбор морфофизиологических показателей в качестве тестов для оценки повреждающих воздействий, в частности индекса селезенки, обусловлен тем, что они являются индикаторами физиологического состояния, позволяющими судить о напряженности обменного баланса в организме как у мышевидных грызунов природных популяций [5], так и в качестве одного из радиобиологических маркеров в лабораторных исследованиях [6].

Результаты исследований и их обсуждение. Экспонирование лабораторных мышей в зоне отчуждения в течение 4,5 месяцев не вызывает достоверных изменений по содержанию эритроцитов, MetHb и гемоглобина по сравнению с контролем (Табл. 1).

Таблица 1 – Гематологические показатели при различных сроках экспозиции лабораторных мышей зоне отчуждения ЧАЭС (% от контроля)

Группа	Лейкоциты, 10 ⁹ /л	Эритроциты, 10 ¹² /л	Нб, г/л	Гематокрит, %	MetHb, %	индекс селезенки, мг/100г
контроль	100	100	100	100	100	100
1 мес. в ПГРЭЗ	98,54	99,92	93,28	105,59	96,53	94,82
2 мес. в ПГРЭЗ	133,70	104,98	100,78	103,97	100,45	138,92*
3,5 мес. в ПГРЭЗ	92,82	89,51	83,93	93,18	127,08	110,98
4 мес. в ПГРЭЗ	105,15	109,65	104,92	101,43	73,74	132,36
4,5 мес. в ПГРЭЗ	119,44	112,47	112,47	111,70	---	99,10

* – статистически значимые различия с контролем (при $p \leq 0,05$)

Отмечено увеличение индекса массы селезенки при экспонировании мышей в течение 2 месяцев. Недостоверность и колебательный характер наблюдаемых изменений некоторых параметров в течение всего срока нахождения в зоне ЧАЭС могут быть связаны с физиологической динамикой иммунологических показателей, возрастным фактором и др. Независимо от срока экспозиции мышей в зоне отчуждения, уровень MetHb, лейкоцитов и индекса селезенки у них недостоверно отличаются от контроля с возрастанием значений в поздние сроки (3,5-4,5 мес.). Причем наибольшая вариабельность отмечена для лейкоцитов (Табл. 2).

Таблица 2 – Индекс массы селезенки (мг/100г), уровень MetHb и содержание лейкоцитов после экспозиции мышей в зоне отчуждения ЧАЭС и последующего введения уретана

	Индекс массы селезенки, мг/100г		MetHb, %		Лейкоциты, (10 ⁹ /л)	
	контроль	уретан	контроль	уретан	контроль	уретан
виварий	503,71 ±05,75	297,8* ±59,43	1,44 ±0,31	0,82* ±0,16	7,1 ±1,67	10,66 ±3,09
ПГРЭЗ (1 мес.)	490,73 ±110,57	359,78 ±62,19	1,3 ±0,16	1,21 ±0,23	7,57 ±3,11	8,03 ±1,69
ПГРЭЗ (3,5мес.)	505,33 ±93,85	365,08 ±87,94	1,83 ±0,56	1,33 ±0,37	6,59 ±2,14	4,8 ±2,38
ПГРЭЗ (4,5мес.)	499,17 ±81,1	470,24 ±141,52	-	-	8,48 ±2,58	9,44 ±4,45

* – статистически значимые различия с контролем (при $p \leq 0,05$)

Введение уретана снижало уровень MetHb и индекс массы селезенки как у интактных мышей (на 41-43%), так и у облученных в зоне отчуждения ЧАЭС. Однако достоверные различия наблюдались только между чистым и уретановым контролями, в остальных случаях значимого эффекта уретана не обнаружено. Отмечена лишь тенденция к увеличению этих параметров в зависимости от срока экспозиции, достигая максимума к 4,5 мес. экспозиции.

Введение уретана интактным мышам повышало содержание лейкоцитов в крови (до 50%). Следует отметить, что при введении уретана интактным и экспонированным мышам не обнаружено как достоверных изменений данного параметра, так и какой-либо закономерности.

Исследование изменений в крови у мышей линии Af, экспонированных в течение 4,5 месяцев в зоне отчуждения ЧАЭС, выявило определенные сдвиги в составе клеток белой крови (Табл. 3): увеличение относительного количества сегментоядерных ($p < 0,05$) и снижение количества палочкоядерных нейтрофилов ($p < 0,05$). Популяция сегментоядерных нейтрофилов у мышей, экспонированных в зоне ЧАЭС, отличалась присутствием гиперсегментированных нейтрофилов, клеток с фрагментозом ядер. Наличие вышеперечисленных патологических клеток является характерным признаком радиационных поражений.

Таблица 3 – Изменения в составе белой крови мышей линии Af после экспозиции в зоне отчуждения ЧАЭС в течение 4,5 месяцев

Эксперимент. группа	Лейкоцитарная формула крови				
	лимфоциты, %	моноциты, %	сегментоядерные нейтрофилы, %	палочкоядерные нейтрофилы, %	эозинофилы, %
Контроль	70,25±6,39	1,75±1,03	20,37±4,37	6,25±3,57	1,38±1,06
Зона отчуждения ЧАЭС	68,05±6,82	0,59±0,72*	28,12±6,71*	1,9±0,6*	1,34±1,41

* – статистически значимые различия с контролем (при $p \leq 0,05$)

В крови мышей, экспонированных в зоне отчуждения ЧАЭС, отмечалось значительное снижение относительного количества моноцитов (34 % от уровня контроля), что может быть связано с изменением пролиферативной активности клеток костного мозга в условиях хронического низкодозового облучения. Снижение количества моноцитов может неблагоприятным образом отразиться на формировании и регуляции иммунного ответа.

Относительное количество лимфоцитов и эозинофилов в крови мышей, которые находились в зоне отчуждения ЧАЭС, по сравнению с контролем снижалось не столь значительно.

По данным литературы у животных, находящихся в условиях хронического облучения, наблюдались гематологические эффекты, как правило, превышающие ожидаемые для дозовых нагрузок, исходящих из экстраполяции данных, описанных при воздействии на организм больших доз. При этом некоторые различия в степени выраженности изменений системы кроветворения обусловлены особенностями проведения опытов (временем, прошедшим после аварии, удаленностью от реактора места проведения экспериментов, его продолжительности).

Так, у экспонированных в зоне отчуждения животных отмечались: умеренно выраженная гипохромная анемия; прогрессирующая с третьего месяца пребывания в зоне лейкопения, преимущественно за счет лимфоцитарной фракции; снижение числа миелокариоцитов на 50-60%. Но наиболее существенным было наличие гранулоцитопении с высоким содержанием эозинофилов. Изменения в миелограмме наблюдались по гипопластическому типу (уменьшение молодых дифференцирующихся элементов с возрастанием доли зрелых гранулоцитов, ретикулярных и плазматических клеток).

К особенностям реакции системы кроветворения относятся выявленные изменения пролиферативной активности костного мозга. У животных после 3-6 мес. пребывания в зоне отчуждения ЧАЭС отмечалось первичное значительное увеличение митотической активности, в ряде случаев сопровождаемое нарастанием клеточности костного мозга, с последующим выраженным снижением числа митозов. Аналогичные результаты отмечены и в системе кроветворения у диких грызунов в зоне аварии на ЧАЭС (внешнее γ -облучение $5,16 \times 10^{-9} - 5,16 \times 10^{-5}$ Кл/кг. В реакции крови были отмечены две фазы: усиление компенсаторных процессов (активация эритро- и миелопоэза) и декомпенсация (на фоне лейко- и эритропений происходит обильный выход в кровь бластных форм и атипичных

клеток). У мышей, экспонируемых в течение 30 дней в 30-км зоне ЧАЭС (с. Янов, доза 0,6 Гр), в крови обнаружили уменьшение числа лимфоцитов и лейкоцитов [7].

Таким образом, экспозиция мышей в зоне отчуждения ЧАЭС в течение 4,5 месяцев, привела к изменению количества и качественного состава клеток белой крови, появлению гиперсегментированных нейтрофилов и клеток с фрагментозом ядер.

Заключение. Экспозиция мышей в зоне отчуждения ЧАЭС в течение 1-4,5 месяцев не вызывает достоверных изменений по содержанию эритроцитов, MetHb и гемоглобина по сравнению с контролем. У мышей, экспонированных в зоне отчуждения в течение 4,5 месяцев, изменяется количественный и качественный состав клеток белой крови: увеличение доли сегментоядерных и снижение доли палочкоядерных нейтрофилов, появление гиперсегментированных нейтрофилов и клеток с фрагментозом ядер. Отмеченное значительное снижение количества моноцитов (34 % от контроля) в условиях хронического облучения может быть связано с изменением пролиферативной активности костного мозга и неблагоприятным образом отразиться на формировании и регуляции иммунного ответа.

Введение уретана снижает уровень метгемоглобина и индекс массы селезенки как у интактных мышей (на 41-43%), так и у экспонированных в зоне отчуждения ЧАЭС. Использование уретана может рассматриваться как вариант физиологического теста с нагрузкой и может быть адаптирован для изучения скрытых радиационных повреждений, нестабильности генома, формирования генетического груза.

Увеличение сроков экспозиции экспериментальных животных в зоне отчуждения ЧАЭС оказывает влияние на интенсивность течения метаболических процессов в клетке и повышает чувствительность животных к действию нерадиационных факторов.

Литература

1. Гераськин С. А. Влияние комбинированного действия ионизирующего излучения и солей тяжелых металлов на частоту хромосомных aberrаций в листовой меристеме ярового ячменя [Текст] / С. А. Гераськин, В. Г. Дикарев, А. А. Удалова, Н. С. Дикарева // Генетика. – 1996, – Т. 32, № 2 – С. 279-288.

2. Маленченко А.Ф. Оценка вклада радиационных факторов в зависимость доза-эффект и время-эффект в процессе опухолеобразования при сочетанном действии ионизирующего излучения и химического канцерогена [Текст] / А. Ф. Маленченко, С. Н. Сушко, Н. В. Салтанова // Экологическая антропология. Ежегодник – Мн.: 2001 – с. 203-209.

3. Биохимические методы в клинике – М.: Медицина, 1969 – с. 373-376.

4. Методы клинических лабораторных исследований /В.С. Камышников, О.А. Волотовская, А.Б. Ходюкова и др.; Под ред. В.С. Камышникова – 2-е изд., пере. и доп. – Мн.: Бел. наука, 2002. – с. 360-362.

5. Кудяшева А. Г. Биологические эффекты радиоактивного загрязнения в популяциях мышевидных грызунов / А. Г. Кудяшева., Л. Н. Шишкина., О. Г. Шевченко, Екатеринбург, 2004 – 214 с

6. Климович М. А. Выявление тестов для оценки биологических последствий воздействия рентгеновского излучения в малых дозах переменной мощности на животных [Текст] / М. А. Климович, М. А. Смотряева, В. Д. Гаинцева, Л. Н. Шишкина // Рад. биол. Радиоэкология, 2009, Т.49, № 4. – С.473-477.

7. Пелевина И.И. Экспозиция клеток в культуре тканей и животных (мышей) в 10-километровой зоне аварии на ЧАЭС. Влияние на чувствительность к последующему облучению [Текст] / И.И. Пелевина, Г. Г. Афанасьева, В. Я. Готлиб // Радиационная биология и радиоэкология. – 1993. – Т. 33, № 1/4. – С. 508 – 520.

ТИРЕОИДНАЯ И РЕПРОДУКТИВНАЯ СИСТЕМА У ПОТОМКОВ ОБЛУЧЕННЫХ¹³¹I РОДИТЕЛЕЙ (КЛИНИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

В.В. Талько¹, О.В. Копылова¹, Е.М. Прохорова¹, О.А. Бойко¹,
Н.П. Атаманюк¹,
О.С. Ватлицова¹, Л.В. Неумержицкая¹, І.П. Дрозд², А.І. Липська²,
О.Я. Плєскач¹, А.А. Чумак¹

¹ ГУ «Национальный научный центр радиационной медицины НАМН Украины»,
Киев, Украина, *talko1950@gmail.com*

² Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина

Результаты изучения отдаленных медицинских последствий аварии на Чернобыльской АЭС, в том числе направленных на изучение проблемы тиреоидной патологии, обусловленной воздействием аварийного радиоактивного йода, представлены во множестве научных публикаций. Известно, что среди общего количества выброшенных из реактора радионуклидов (около 90 МКи) существенную долю составили радиоизотопы йода, из которых 7-10 МКи приходится на самый долгоживущий из них ¹³¹I. Он составлял 80% активности всех радиоизотопов йода и в значительной мере определил так называемый «йодный удар» и его медицинские последствия. ¹³¹I создает существенные поглощенные дозы в ЩЖ, являющейся одним из основных регуляторов метаболизма в организме. [1]. В послеаварийном периоде охарактеризованы радиационные факторы, условия и дозы облучения различных контингентов пострадавших, ближайшие и отдаленные тиреоидные эффекты, связанные с «йодным ударом» у взрослого и детского населения, дана клинико-морфологическая и функциональная характеристика опухолевым заболеваниям щитовидной железы (ЩЗ), хроническому аутоиммунному тиреоидиту и гипотиреозу [1-4]. Рост заболеваемости раком щитовидной железы в послеаварийном периоде среди групп повышенного риска (0–18 лет на время аварии) признан одним из главных медицинских последствий (стохастических) [5].

Клинические наблюдения за состоянием здоровья пострадавших позволили выявить особенности негативного влияния комплекса факторов ядерной аварии на эндокринную систему (нестохастические эффекты), установить зависимость и рассчитать риски развития патологических состояний от дозы радиойода на ЩЗ и возраста на момент облучения. Распространенность эндокринной патологии была наиболее выраженной у эвакуированных из г. Припяти и 30-км зоны, т.е. в когорте обследуемых лиц, где основным дозообразующим фактором являлся радиойод. В структуре эндокринной патологии заболевания ЩЖ у женщин составляли 72,7%; вклад приобретенного гипотиреоза составил 13,90%, из которых 21,2% – впервые выявленный гипотиреоз) [6]. На основе углубленного клинико-эпидемиологического исследования с использованием базы данных КЭР (клинико-эпидемиологического регистра) ННЦРМ с учетом полученной дозы и возраста на время облучения была определена структура и риски развития отдельных болезней эндокринной и половой системы женщин, эвакуированных из г. Припять и 30-км зоны, подвергшихся внешнему гамма-облучению на все тело в диапазоне доз 0,05–25,30 сГр и 14,80–167,60 сГр на ЩЖ [7]. Наиболее выраженный гормональный дисбаланс зарегистрирован у женщин, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения в пубертатном периоде [8]. У женщин репродуктивного возраста с наличием синдрома поликистозных яичников, облученных в пре- и пубертатном периоде, был выявлен гормональный дисбаланс в системе тиреоидных и половых гормонов, приводящий к гиперандрогении (повышение уровня свободного тестостерона за счет снижения содержания глобулина, связывающего тестостерон) [9].

Изучение эффектов, связанных с состоянием ЩЗ детей, рожденных от родителей с облученной ЩЗ, представляется чрезвычайно актуальным, учитывая, что эти лица на момент аварии пребывали в детском возрасте и получили дозу облучения ЩЗ в диапазоне 0,15-0,75 Гр, а в данное время являются родителями детей первого поколения, рожденных после аварии на ЧАЭС. Научные исследования и клинические наблюдения, проводимые в течение всего послеаварийного периода, свидетельствуют об ухудшении состояния здоровья детей, рожденных от родителей, подвергшихся облучению вследствие аварии на ЧАЭС, при этом существенная роль в возрастании заболеваемости принадлежит эндокринным нарушениям [10].

Целью настоящего исследования явилось изучение эффектов в эндокринной системе потомков облученных радиойодом родителей. Предполагалось охарактеризовать состояние отдельных регуляторных звеньев эндокринной системы и особенностей полового созревания. Экспериментальная часть исследования предполагала оценку таких же эффектов вследствие облучения радиойодом родителей и получения потомства от животных (белых лабораторных крыс), получивших дозовую нагрузку на ЩЖ в пределах величин, характерных для острого «йодного» периода.

Нами было проведено ретроспективный анализ накопленных данных за последние 5 лет (2010-2014 гг.) по заболеваниям ЩЗ, нарушениям полового развития, выявлению признаков пубертатного диспитуитаризма у детей, рожденных от родителей, облученных в результате аварии на ЧАЭС. Анализировались результаты обследования детей, рожденных от родителей, эвакуированных из 30-км зоны, УЛНА на ЧАЭС и жителей радиоактивнозагрязненных территорий (РЗТ). За 5 лет в условиях отделения радиационнойэндокринологии клиники ННЦРМ проведено углубленное обследование с верификацией диагнозов 2155 детей в возрасте 10-16 лет.

5-летняя динамика выявленных заболеваний ЩЗ и нарушений сомато-полового развития у детей, родившихся от лиц, облученных в результате аварии на ЧАЭС, характеризуется ростом числа выявленных случаев гипоталамического синдрома пубертатного периода. Следует отметить наличие у этих детей клинических проявлений инсулино- и лептинорезистентности на фоне ожирения. В этот период частота впервые выявленных болезней ЩЖ среди детей этой группы существенно не превышала частоту заболевания, определенного среди лиц в предыдущие годы обследования. Так, диффузный нетоксичный зоб I в. в 2010г. Был выявлен в 13,8%, в 2011г. – в 12,6%, а в 2014 – в 9,5% случаев.

При сопоставлении с предыдущими годами (2009г. – 16,9%), количество детей с увеличенной ЩЗ уменьшается. На наш взгляд, это связано с более тщательным обследованием детей после аварии на ЧАЭС и проведением профилактических мероприятий. Хронический аутоиммунный тиреоидит в 2010г. был обнаружен в 9,9%, в 2011г. – у 14,7%, а в 2014 г. – у 10,4% обследованных.

При сопоставлении с результатами обследования детей, пострадавших вследствие аварии на ЧАЭС, количество выявленных хронических аутоиммунных тиреоидитов уменьшилась, что позволяет подтвердить факт влияния радиоактивного йода на развитие аутоиммунных процессов в ЩЖ.

Нарушение полового развития, а именно: преждевременное половое развитие, синдром неправильного пубертата, нарушения менструального цикла пубертатного периода, гипогонадизм, гиперандрогенизма у девочек определялся в пределах 8,0 – 9,5% в течение всех последних пяти лет наблюдения. При сопоставлении с предыдущими пятью годами (2005-2009 гг.) нарушение полового развития диагностировалось в 0,89-2,68% случаев, что свидетельствует о значительном росте заболеваний, связанных с нарушениями на уровне гипоталамо-гипофизарно-гонадной системы.

В группе детей, рожденных от родителей, эвакуированных из 30-км зоны, зафиксировано гораздо меньший процент вышеупомянутой патологии, чем у детей, рожденных от родителей, которые постоянно проживают на РЗТ.

Ретроспективный анализ антропометрических и клинико-лабораторных показателей указывал на то, что детей с клиническими проявлениями инсулино- и лептинорезистентности среди когорты, родившихся от родителей, которые, будучи детьми, проживали на загрязненных территориях, было значительно больше, чем от эвакуированных. Поэтому, фактор проживания на РЗТ является важным в реализации болезней в вышеупомянутой когорте детей.

Среди детей, родившихся от эвакуированных родителей, выявление гипоталамического синдрома пубертатного периода было значительно меньше, чем от проживающих на РЗТ. Этот факт позволяет утверждать, что проживание на РЗТ может приводить к изменениям в нейроэндокринной регуляции в период полового развития детей и вызывать появление некоторых заболеваний желез внутренней секреции. Среди жителей РЗТ относительное количество впервые диагностированных случаев пубертатного диспитуитаризма среди мальчиков была несколько большей по сравнению с девочками, но обнаруженная тенденция не достигла статистической значимости.

Ретроспективный анализ антропометрических и клинико-лабораторных показателей указывал на то, что детей с клиническими проявлениями инсулино- и лептинорезистентности среди когорты, родившихся от родителей, которые, будучи детьми, проживали на РЗТ, было значительно больше, чем от эвакуированных. Поэтому, фактор проживания на РЗТ является важным в реализации болезней в вышеупомянутой когорте детей.

Таким образом, у детей, рожденных от родителей, облученных в результате аварии на ЧАЭС, отмечается напряженность в функционировании гипоталамо-гипофизарной системы, что имеет большое значение в формировании тиреоидной патологии и нарушений соматополового развития. Такое состояние в итоге приводит к снижению продукции тиреоидных гормонов, вызывает повышение секреции тиреотропного гормона гипофиза. Под влиянием ТТГ ЩЗ на первом этапе наращивает свою массу, что приводит к формированию эндемического зоба. Устойчивое перманентное увеличение ЩЗ чаще всего приводит к формированию узлового зоба и других пролиферативных процессов, а именно к канцерогенезу.

В экспериментальном исследовании на 48 половозрелых белых лабораторных крысах обоего пола у особей первого поколения, родившихся от животных, подвергшихся воздействию инкорпорированного ¹³¹I (создана модель облучения путем однократного приема внутрь радионуклида, вследствие чего сформированы дозы облучения ЩЗ у самцов в диапазоне 3,5-3,8 Гр, у самок – 5,4-5,9 Гр), выявленные изменения содержания ТТГ, эстрадиола и тестостерона, концентрации глюкозы, увеличения массы тела указывают на дискоординацию функционирования гипофизарно-тиреоидной, гипофизарно-гонадной звеньев эндокринной регуляции, нарушение углеводного обмена.

Литература

1. Введение в радиационную тиреологическую / под ред. А.Н. Коваленко, Д.Е.Афанасьева, А.А. Самойлова. – К., ИП «Томіріс-Н», 2006. – 615 с.

2. Боярская, О.А. Состояние эндокринной системы у детей, пострадавших вследствие аварии на ЧАЭС, на протяжении послеварийного периода / О.А. Боярская, О.В. Копылова, Д.Е. Афанасьев // Медицинские последствия аварии на Чернобыльской атомной станции. Книга 2. Клинические аспекты Чернобыльской катастрофы / Под ред. проф. В.Г. Бебешко, д.м.н. А.Н. Коваленко. - Киев, "Медэккол" МНИЦ Био-эко. – 1999. – С. 66-78.

3. Boyarskaya, O.Y. Health of exposed children. Endocrine functions / O.Y. Boyarskaya, O.V. Kopylova, D.Y. Afanasyev / Health effects of Chernobyl accident: Monograph in 4 parts / Ed. A. Vozianov, V. Bebeshko, D. Vazyka. – Kyiv: DIA, 2003. – P.433-443.

4. Bojarskaja, O.J. Exaggerated thyroid stimulating hormone secretion in children exposed to the Chernobyl nuclear reactor catastrophe / O.J. Bojarskaja, O.V. Korilova// J of Pediatrendocrin and Metabol. – 2008. – Vol.21. – P.165-171.

5. Thyroid cancer in Ukraine after Chernobyl dosimetry, epidemiology, pathology, molecular biology/ ed. M.Tronko [et al.]. Printed in Japan, 2014. – 175 p.

6. Эпидемиологические исследования неопухолевой заболеваемости в взросло-го населения, эвакуированного из г. Припять и 30-километровой зоны Чернобыльской АЭС/ В.А. Бузунов [и др.]// Int. J. Rad. Med. – 2001. – Vol. 3, № 3–4. – P. 26–45.

7. Бузунов, В.О. Епідеміологічний аналіз захворюваності статеві системи жінок, евакуйованих з 30-км зони ЧАЕС, у віддаленому періоді після опромінення / В.О.Бузунов, О.В. Тацій, В.В. Талько // Проблеми екологічної та медичної генетики і клінічної імунології. Зб. наук. праць, Київ-Луганськ-Харків. – 2004. – Вип. 9 (62). – С. 293-300.

8. Тацій О.В. Роль ионизирующей радиации в развитии гормональных нарушений в отдаленные сроки после аварии на Чернобыльской АЭС у женщин репродуктивного возраста, подвергшихся воздействию облучения в пре- и пубертатном периоде. – Дисс. канд. мед. наук: 03.00.01 – радиобиология. Научный центр радиационной медицины АМН Украины. Киев, 2006. – 188 с.

9. Спосіб контролю ризику розвитку гормональних порушень в статевій системі жінок, які зазнали впливу іонізуючого випромінювання / Талько В.В. [та ін] // Патент на корисну модель. Україна (19) UA, (11) 6742, U (13), (51) МПК (2012.01) A61B 1/00, (21) u200511505, (24) 27.02.2006 (46) 27.02.2012 Бюл. № 4, 2012 р.

10. Health effects of the Chernobyl Accident – A Quarter of Century Aftermath / Eds A. Serdiuk, V. Bebeshko, D. Bazyka, S. Yamashita. – Kyiv: DIA, 2011. – 648 p.

11. Копилова, О.В. Особливості функціонування гіпоталамо-гіпофізарно-тиреоїдної системи у дітей, народжених від осіб опромінених внаслідок аварії на ЧАЕС / О.В. Копилова, О.А Степаненко // Український радіологічний журнал. – 2015. – № 3. – С. 289-291.

COMPARATIVE ANALYSIS IN THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL EFFECTS OF CHRONIC EXPOSURE FROM INCORPORATED PLUTONIUM RADIONUCLIDES ON THE BLACK SEA HYDROBIONTS

N.N. Tereshchenko, V.Yur. Proskurnin, T.A. Krylova

*The A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of Russian AS,
Sevastopol, ntereshchenko@yandex.ru*

Introduction. According to various estimations, about 94 TBq of plutonium alpha-radionuclides ($^{238,239,240}\text{Pu}$) were released into environment after accident on the Chernobyl nuclear power plant (ChNPP), which happened on 26th of April 1986 [1]. The alpha-radioactive isotopes of plutonium $^{239,240}\text{Pu}$ belong to the after-accident long-lived radionuclides that form the main radiation dose commitments for the Black Sea hydrobionts. In the Black Sea their concentration activity have not reached affecting levels [1, 2]. But the $^{239,240}\text{Pu}$ radioactive isotopes, playing the role of tracers, provide an opportunity to determine “in vivo” parameters of radioecological processes of radionuclide redistribution in the components of marine ecosystems. This, in turn, serves as a scientific basis to develop approaches for assessment the environmental impact of the expected levels of radionuclides on living organisms in natural ecosystems. The study of radioecological characteristics of anthropogenic radionuclides in the Black Sea and the regularities of their distribution after the ChNPP accident enable forecasting assessments of their migration in the ecosystem and evaluation of dose rates for marine organisms and prediction of the state of the marine environment in different

radioecological situations, including emergencies, and developing science-based recommendations for minimization of the accident's consequences.

The aim of our study was to investigate the contamination of the Black Sea hydrobionts and marine environment by transuranic radionuclides and to use of the comparative analysis and equidosimetric approach to the ecological effects assessment from $^{239,240}\text{Pu}$ on hydrobionts in a wide range of these radionuclides concentration activity in seawater.

Material and methods. Radiochemoecological monitoring of the ecological state of the Black Sea ecosystem was carried out in the period between 1986 and 2014. Alpha-radionuclides of $^{239,240}\text{Pu}$ were analyzed in the Black Sea water, bottom sediments and the following hydrobionts: macroalgae – *Cystoseira crinita* Duby, *Cystoseira barbata* C. Agardh, *Ulva rigida* C. Agardh, *Phyllophora crispa* (Hudson) P.S. Dixon, bivalves – *Mytilus galloprovincialis* Lamark, 1819; crab – *Carcinus maenas* (Linnaeus, 1758) and fish – *Trachurus mediterraneus ponticus* (Aleev, 1956), *Sprattus sprattus phalericus* (Risso, 1827) and *Merlangius merlangus euxinus* (Nordmann, 1840).

Determinations of $^{239,240}\text{Pu}$ were carried out according to accepted radiochemical techniques [1]. The plutonium alpha-samples were then analyzed with the "EG & G ORTEC OCTETE PC" alpha-spectrometer. The plutonium alpha-radionuclide ^{242}Pu was added to the samples, as a radio-tracer standard for determination of chemical yield. The total error of the $^{239,240}\text{Pu}$ concentration determination was not more than 20%.

Absorbed dose rates (D_{abR} , Gy/y) and equivalent dose rates (H_{eqR} , Sv/y) were calculated in accordance with widely accepted procedures [1, 3]. To assess the level of environmental impact of ionizing radiation doses of radionuclides, the Polikarpov's conceptual model of chronic action zonality of ionizing irradiations dose rates in the nature [1, 4] was used. The obtained results were compared with the scale of Polikarpov's zones of chronic dose rates and their effects in the ecosystem, as well as with the limit of safe dose rate of ionizing radiation for hydrobionts.

Result and discussion. Results of the analysis of $^{239,240}\text{Pu}$ concentration activity ($\text{mBq}\cdot\text{kg}^{-1}$ wet weight (ww)) in the Black Sea hydrobionts were shown as relatively high against sea water and terrestrial organisms. The concentration activity in brown algae *C. crinita* and *C. barbata* varied from 1.0 to 13.6, in green algae *U. rigida* it did not exceed 1.2, in bivalve *M. galloprovincialis* it ranged from 0.8 to 2.4 mBq/kg ww, and in fish *M. merlangus euxinus*, *S. sprattus phalericus* and *T. mediterraneus ponticus* it ranged from 0.3 to 1.8 mBq/kg ww [1, 5]. The concentration activity of $^{239,240}\text{Pu}$ in *Ph. crispa* from different areas of the Black Sea varied from 53 ± 2 to 95 ± 10 mBq/kg ww.

The Black Sea studied hydrobionts can be placed in the following order with a decrease in accumulative ability for radionuclides $^{239,240}\text{Pu}$ according to the value of the plutonium- $^{239,240}\text{Pu}$ concentration factor ($C_f(\text{Pu})$): phytoplankton (1×10^5) > macroalgae (1×10^4) > zooplankton (1×10^3) > bivalves (5×10^2) > crab (1×10^2) > fish (1×10^2).

Based on our own results and the published data on the levels of anthropogenic plutonium contamination of marine organisms, the internal exposure doses of biogenic components of the Black Sea ecosystem from these radioisotopes have been determined. The contemporary radioecological situation in the Black Sea after the Chernobyl accident is safe [1, 5]. The range of absorbed dose rates of internal exposure from alpha-radiation of $^{239,240}\text{Pu}$ that incorporated into Black Sea hydrobionts was 0.01–4.94 $\mu\text{Gy}/\text{year}$, and equivalent dose rates was 0.24–98.84 $\mu\text{Sv}/\text{year}$. The maximum radiation exposures observed for the Black Sea organisms were for phytoplankton and red macroalgae *Ph. crispa*. In general, the observed equivalent dose rates for the Black Sea hydrobionts were 4–7 orders of magnitudes lower than the limit of safe dose rate of 4 Sv/year, and were not a threat to the Black Sea hydrobionts.

It is shown Polikarpov's zones of dose rates and their effects in the biosphere according to conceptual model and comparison of the radioecological effects of chronic ionizing ra-

diation dose rate levels from alpha-radiation of $^{239,240}\text{Pu}$ for the Black Sea hydrobionts of different taxonomic groups to safe limit of dose rates level for hydrobionts in Fig. 1. According to the Polikarpov's conceptual model of ecological zones, radioecological effects of chronic ionizing radiation the dose rate levels from alpha-radiation of $^{239,240}\text{Pu}$ for the Black Sea hydrobionts are specific for the "Well-being zone" and "Uncertainty zone" [1, 5].

The border plutonium concentration activities in sea water were also calculated for each Polikarpov's zone for each group of hydrobionts with their characteristic value of accumulative ability. They varied for "Damage to ecosystems zone" from 1×10^{-2} to 5×10^{-2} $^{239,240}\text{Pu}$ Bq/l in sea water (Table 1).

Depending on the accumulative ability of marine organisms against $^{239,240}\text{Pu}$, the border critical concentration activity of these radionuclides in sea water varied in the range of 3 orders of magnitude for different groups of the studied Black Sea hydrobionts. Since species radiosensitivity, being characterized by LD_{50} (the dose causing 50% death rate of organisms), within each taxonomic group is known to vary in a range from 1 to 3 orders of magnitude [1], then for radioresistant species, being able to tolerate higher radiation doses, the critical radionuclides concentration activity in seawater will be accordingly higher by 1-3 orders of magnitude.

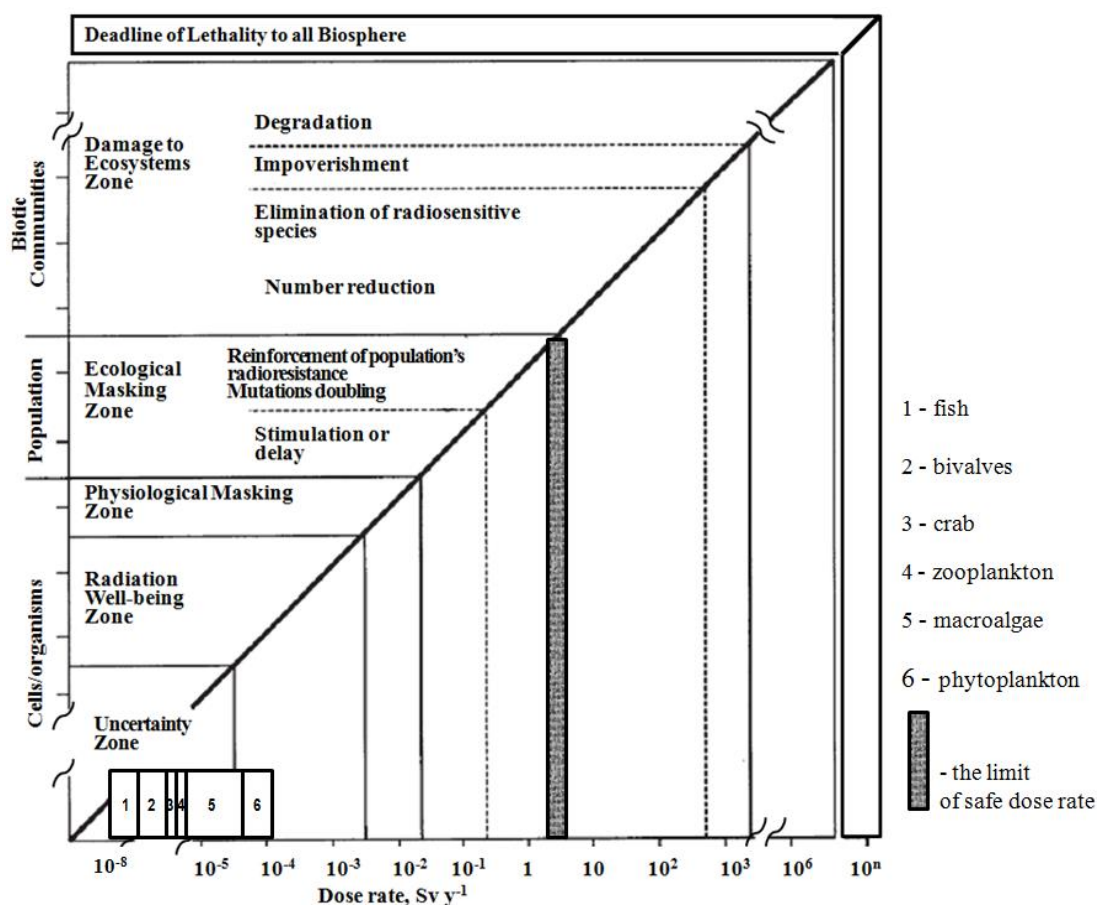


Fig. 1. Contemporary radioecological situation in the Black Sea ecosystem against radionuclides of plutonium in the period after the Chernobyl nuclear power plant accident

Table 1 – The border $^{239,240}\text{Pu}$ concentration activity in the Black sea water for each Polikarpov's zone for each group of hydrobionts

Hydrobionts	Border $^{239,240}\text{Pu}$ concentration activity in sea water, Bq/l				
	Uncertainty zone	Well-being zone	Physiological masking zone	Ecological masking zone	Damage to ecosystems zone
Phytoplankton	$3.84 \cdot 10^{-10}$	$1.53 \cdot 10^{-7}$	$1.92 \cdot 10^{-5}$	$1.92 \cdot 10^{-4}$	$1.40 \cdot 10^{-2}$
Phyllophora	$6.41 \cdot 10^{-9}$	$2.56 \cdot 10^{-6}$	$3.21 \cdot 10^{-4}$	$3.21 \cdot 10^{-3}$	$2.34 \cdot 10^{-1}$
Zooplankton	$3.84 \cdot 10^{-8}$	$1.53 \cdot 10^{-5}$	$1.92 \cdot 10^{-3}$	$1.92 \cdot 10^{-2}$	$1.40 \cdot 10^0$
Cystoseira	$7.12 \cdot 10^{-8}$	$2.85 \cdot 10^{-5}$	$3.56 \cdot 10^{-3}$	$3.56 \cdot 10^{-2}$	$2.60 \cdot 10^0$
Bivalves	$2.18 \cdot 10^{-7}$	$8.73 \cdot 10^{-5}$	$1.01 \cdot 10^{-2}$	$1.01 \cdot 10^{-1}$	$7.97 \cdot 10^0$
Crab	$3.37 \cdot 10^{-7}$	$1.35 \cdot 10^{-4}$	$1.69 \cdot 10^{-2}$	$1.69 \cdot 10^{-1}$	$1.23 \cdot 10^1$
Ulva	$3.63 \cdot 10^{-7}$	$1.45 \cdot 10^{-4}$	$1.81 \cdot 10^{-2}$	$1.81 \cdot 10^{-1}$	$1.32 \cdot 10^1$
Fish	$1.28 \cdot 10^{-6}$	$5.13 \cdot 10^{-4}$	$6.41 \cdot 10^{-2}$	$6.41 \cdot 10^{-1}$	$4.68 \cdot 10^1$

Conclusion. Thus, the expected ecological effect of the radiation is determined by the level of $^{239,240}\text{Pu}$ in sea water, the value of accumulative ability of marine species and its radiosensitivity. In after ChNPP accident period the levels of dose rates were formed from plutonium did not exceed the levels typical for the “Well-being zone”. Therefore, the contemporary levels of plutonium concentration activity in the Black Sea, have no a noticeable negative effect on the Black Sea hydrobionts. The Black Sea hydrobionts are exposed to the action of the concentration of different contaminants in the water environment, and they also have an increased accumulative ability. They are capable of accumulating contaminants (in particular $^{239,240}\text{Pu}$) to levels exceeding hundreds and tens thousands times their concentration activity in the water, and thus the risk is increased many times of the negative influence of radioactive contamination on biological systems and objects. In connection with this, the radioecological monitoring investigations must include the determinations of the radionuclide concentration activity, both in the water environment and in the indicated species of hydrobionts. It has been shown that the Black Sea macrophytes (in particular, perennial algae *Phyllophora crispa*) and the mollusks (sedentary filter feeders mussels – *Mytilus galloprovincialis*) can be the indicated species for estimation of the radioecological state of coastal water areas.

Radiological study the quantitative characteristics of the Black Sea hydrobionts describing the features of biotic migration of plutonium in the sea-ecosystem may serve as the basis for assessment of the radioecological situation in the Black Sea and its forecast for a wide range of the plutonium concentration activity in the sea water.

Such a comparative analysis with the use of the Polikarpov's conceptual model and monitoring observations may be applied for the evaluation and prediction of the environmental situation in the different aquatic ecosystems.

References

1. Polikarpov G.G. Radio-ecological response of the Black Sea to the Chernobyl accident / Polikarpov G.G., Egorov V.N., Gulin S.B. et al. / Eds. G.G. Polikarpov and V.N. Egorov. 2008, Sevastopol: ECOSI-Hydrophysica, 667 p. (in Russian)
2. Marine Environmental Assessment of the Black Sea. Working Material. Regional Technical Co-operation Project RER/2/003. – Vienna: Reproduced by the IAEA. – 2004. – 358p.
3. Tereshchenko N.N. Migration and distribution of $^{238,239,240}\text{Pu}$ in the ecosystem of the Black Sea (in comparison with those of other oceans and seas ecosystems) / Tereshchenko

N.N. and Polikarpov G.G. // Problems of radioecology and border disciplines / Eds. Migunov A.V. and Trapeznikov A.V. – Yekaterinburg: Yekaterinburg University Press – 2007. – Iss. 11. – P. 40–67. (in Russian)

4. Polikarpov G.G. Conceptual model of responses of organisms, populations and ecosystems in all possible dose rates of ionizing radiation in the environment / RADOС 96-97, Norwich/Lowestoft, 8-11 April, 1997 // Rad. Prot. Dosimetry. – 1998. – 75, № 1–4. – P. 181–185.

5. Tereshchenko N.N. Contemporary radioecological state of the North-western Black Sea and the problems of environment conservation / Tereshchenko N.N., Mirzoyeva N.Yu., Gilin S.B., Milchakova N.A. // Marine Pollution Bulletin. – 2014. – 81, № 1. – P. 7–23.

НАЦИОНАЛЬНАЯ КОМИССИЯ БЕЛАРУСИ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ: ИТОГИ 25-ЛЕТНЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В.И.Тернов, А.Н.Стожаров, Я.Э.Кенигсберг

*Национальная комиссия Беларуси по радиационной защите, Минск, Беларусь,
dhme@tut.by*

В феврале 1991 года впервые в истории Беларуси при Совете Министров Республики была создана Национальная комиссия по радиационной защите (НКРЗ Беларуси). Инициатором создания такого общественного органа выступил Верховный Совет БССР, который руководствовался стремлением оптимизировать реализацию 1-ой Государственной программы по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС). Юридически создание комиссии было оформлено Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 39 от 4 февраля 1991 года. Согласно этого постановления НКРЗ «является межведомственным научным рекомендательно-консультативным органом по вопросам радиационной защиты и контроля, нормам и правилам радиационной безопасности». Сроки полномочия комиссии определены в 3 года и пролонгируются новым Постановлением Совета министров. Это предопределило динамику организационных основ деятельности кадрового состава комиссии и определенную коррекцию направлений ее деятельности.

В 2008 году статус НКРЗБ был повышен: функции и полномочия ее были закреплены в очередной редакции Закона Республики Беларусь «О радиационной защите населения». Согласно этому закону «национальная комиссия Беларуси по радиационной защите при Совете Министров Республики Беларусь является межотраслевым научно-экспертным и рекомендательно-консультативным органом по вопросам обеспечения радиационной безопасности, радиационной защиты и радиационного контроля».

В разные периоды деятельности НКРЗ ее возглавляли: профессор Тернов В.И. (1991-1992, 1995-2002 г.г.), академик АМН СССР и НАН Беларуси Матюхин В.А. (1992-1995 г.г.), профессор Кенигсберг Я.Э. (2002-2013г.г.). В настоящее время НКРЗ возглавляет профессор Стожаров А.Н. Членами комиссии являлись и являются ведущие ученые и практики, работающие в системе радиационной безопасности Беларуси.

НКРЗ начинало свою деятельность в достаточно сложный период минимизации последствий аварии на ЧАЭС. Сложности эти были обусловлены масштабом самой аварии, отсутствием международного и регионального опыта минимизации ее последствий и как следствие – значительными неопределенностями при выборе критериев, на основе которых можно и нужно выстраивать тактику и стратегию защитных мер. Ситуацию усугубило то обстоятельство, что с распадом СССР Республика, по сути дела,

осталась без научного сопровождения, которое до этого осуществляла Национальная комиссия по радиационной защите СССР.

Принятые в республике законы «О социальной защите населения, пострадавшего от катастрофы на Чернобыльской АЭС» и «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» в качестве критериев зонирования пострадавших территорий принимали плотности загрязнения почвы цезия-137, стронцием-90 и плутонием-239, 240, а также годовую дозу облучения.

С позиций радиационной защиты смешение таких критериев представлялось недопустимым, поскольку плотность загрязнения не является полным отражением уровня присутствия радиационного фактора в среде обитания человека, а тем более гигиенической значимости его. Согласно международным подходам основным критерием, закладываемым в решение о радиационной защите должна быть поглощенная доза облучения.

В итоге, с принятием указанных выше законов Правительство обязано было принимать беспрецедентные научно не обоснованные решения, инициировавшие массовое административное отселение, строительство на «чистых» территориях тысяч новых объектов, развертывание исследовательских работ, итоги которых в большинстве своем были заранее predetermined.

Задача НКРЗ в этот период по сути дела сводилась к нахождению разумного, научно-обоснованного компромисса между современными знаниями о биологической активности ионизирующей радиации по отношению к организму человека и требованиям по радиационной защите, оговоренными принятыми законами. В этих условиях при принятии решений НКРЗ концептуально руководствовалась принципом оптимизации, базирующемся на «дозовом» подходе. При этом, исходя из конкретной задачи, учитывались различные дозовые критерии: среднегодовая эффективная доза критической группы, коллективная эффективная доза, предотвращаемая доза и т.п. Плотность же загрязнения территорий как самостоятельный критерий не принимался во внимание и использовался лишь для нужд дозиметрии.

Основываясь на таких принципах, экспертами НКРЗ для Правительства были подготовлены принципиально важные рекомендации, которые были использованы в практике принятия решений, позитивно повлиявших как на тактику, так и на стратегию государственных мер по минимизации последствий аварии на ЧАЭС.

Среди основных материалов, подготовленных с экспертным участием НКРЗ, следует назвать: концепцию мер в восстановительный период для населения, проживающего на территории Республики Беларусь, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате Чернобыльской аварии с рекомендациями по ее реализации; законы Республики Беларусь «О социальной защите населения, пострадавшего от катастрофы на Чернобыльской АЭС» и «О радиационной защите населения», от 1998 года с последующими изменениями и добавлениями их; каталоги доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь; рекомендации Правительству о нецелесообразности административного отселения жителей 5 районных центров Республики (Ветка, Хойники, Брагин, Наровля, Чечерск); рекомендации по оптимизированным мерам радиационной защиты 24 наиболее проблемных населенных пунктов Гомельской области с определением перспектив их существования; экспертиза ряда нормативных документов, регламентирующих содержание радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в объектах окружающей среды; заключения на проекты Государственных программ по преодолению последствий аварии на ЧАЭС и итогам их выполнения; заключение о нецелесообразности проведения широкомасштабного мониторинга доз внутреннего облучения населения и массового применения сорбирующих агентов (БАД); заключение о гигиенической значимости присутствия в окружающей среде трансураниевых элемен-

тов; рекомендации по методологии идентификации категории «критическая группа» и практика ее применения.

НКРЗ Беларуси активно сотрудничала с аналогичными структурами России и Украины. В итоге чего были подготовлены единые с Россией нормы радиационной безопасности (НРБ -2000). Члены НКРЗ многократно выступали на различных научных форумах, в том числе и международных. Деятельность НКРЗ находила отражение в публикациях [1-20].

Надо полагать, что принятое 25 лет тому назад решение о создании НКРЗ Беларуси оправдало себя. Деятельность ее способствовала тому, что вся работа по минимизации последствий аварии вошла в системное, научно-обоснованное русло, что, в конечном итоге, приносит свои положительные результаты.

Доказательством тому может служить динамика состояния радиационной ситуации на радиационно-загрязненных территориях Беларуси: гамма-фон на них имеет четкую тенденцию к нормализации; местные продукты питания, получаемые в государственном секторе уже давно в 100% случаев отвечают требованиям безопасности, оставаясь значительно ниже регламентов; по данным каталога доз 2015 года лишь в 78 населенных пунктах (с числом жителей 22500 человек) средняя годовая эффективная доза превышает 1 мЗв и лишь в 9 населенных пунктах (1000 жителей) лежит в интервале 2-3 мЗв.

В настоящее время НКРЗ, опираясь на международно признанную методологию и накопленный опыт работы, продолжает экспертное сопровождение мер по минимизации последствий аварии на ЧАЭС, активно проявляет себя в деле гармонизации нормативной базы Евразийского экономического союза, научного сопровождения строительства и эксплуатации Бел АЭС, принимает участие в подготовке очередной редакции закона республики Беларусь «О радиационной защите населения».

Литература

1. Ternov, V.I. Principles of organizing radiation protection during development of major radiation accidents/ V.I.Ternov// Intern. Conference “Ten years the Chernobyl catastrophe”, Minsk, Belarus, 12.10.96. – UNESCO, 1996. – P.85-89

2. Тернов, В.И. Стратегия медицинской защиты населения Республики Беларусь, проживающего на территориях, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС /Тернов В.И.//Int. Intern. Conference “One decade after Chernobyl: summing up the consequences of the Accident”, Austria, 8-12 April 1996.–P.132-133.

3. Minenko, V. Control of Internal Exposure doses of Belarus Population / V. Minenko, V.Drozdovich, A.Ivanovski, V.Ternov, I.Vasilyeva // Int. Intern. Conference “One decade after Chernobyl: summing up the consequences of the Accident”, Austria, 8-12 April 1996. – P.13-16.

4. Ternov, V.I. Some aspect of improvement of the organizational basis for public protection of those residing under the conditions of chronic emergency irradiation/ V.I.Ternov// Cong. IRPA, Viena, 14-17 april 1996. – Viena, 1996. – P.175-176.

5. Ternov, V.I. Modern approaches to implementing radiation protection measures for people residing in the contaminated areas of the Republic of Belarus/ V.I.Ternov// Int. Conference on Radiation and Health Beer Sheva, Israel, November 3-7 1996. – Israel, 1996. – P.133-134.

6. Тернов, В.И. Национальная комиссия Беларуси по радиационной защите и ее участие в минимизации последствий аварии на ЧАЭС/В.И.Тернов, Я.Э.Кенигсберг, Е.Ф.Конопля, И.Л.Васильева//Десять лет после Чернобыля: сб. материалов.-Мн., 1996. – С.278.

7. Тернов, В.И. Концептуальная оценка текущего этапа аварии на ЧАЭС/В.И.Тернов//Международ. Конференция «Десять лет после Чернобыльской катастрофы (научные аспекты проблемы).-Мн., 1996. 1 печ.л.

8. Тернов, В. И. Сравнительная оценка риска воздействия различных источников ионизирующей радиации / В.И.Тернов // *Здравоохранение*. – 1998. – N : 11. – С. 30-31.
9. Ternov, V.I. Adequacy of current criteria for rehabilitation and perspective development in Belarus/ V.I.Ternov// *EC Workshop on restoration contaminated resulting from the Chernobyl accordant*, Brussel, 29-30 June 1998.
10. Тернов, В. И. Стратегия действий по оптимизации защиты населения Республики Беларусь от воздействия ионизирующей радиации / В. И. Тернов [и др.] // *Актуальные проблемы научного обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения и пути их реализации: сб. материалов*. – Минск, 2000. – С. 36-39.
11. Тернов, В. И. Место дозовых критериев в решении научных и практических задач по минимизации последствий аварии на ЧАЭС: сборник / В.И.Тернов // *Беларусь и Чернобыль. 15 трудных лет: Материалы Междунар. науч.-практ. конф.* – Минск, 2001. – 1. – С. 34-35.
12. Тернов, В. И. Приоритетность медицинской радиационной защиты населения Республики Беларусь на современном этапе минимизации последствий аварии на ЧАЭС / В.И.Тернов // *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Матер. Междунар. науч.-практ. конф.*- Минск, 2001. – С. 143-144.
13. Тернов, В. И. Стратегия действий по оптимизации радиационной защиты населения Республики Беларусь/ В. И. Тернов// *Межд. Конф. «Пятнадцать лет Чернобыльской катастрофе. Опыт преодоления»: сб. тез.* – Киев, 2001.-С. 4-20.
14. Тернов, В. И. Категория "критическая группа" и использование ее в практике ведения контроля доз облучения населения/ В.И. Тернов // *Современные проблемы гигиенической науки и практики : Сб. матер. Объединенного Пленума Респ. пробл. комиссии по гигиене и Правления Бел. науч. об-ва гигиенистов*. – Барановичи, 2003.-С. 212.
15. Тернов, В. И. Особенности современного этапа проведения мер защиты населения, проживающего на территориях, загрязненных радионуклидами / В.И. Тернов // *Современные проблемы гигиенической науки и практики : Сб. материалов Объединенного Пленума Респ. пробл. комиссии по гигиене и Правления Белор. науч. об-ва гигиенистов*. – Барановичи, 2003. – С. 213-214.
16. Тернов, В. И. О некоторых проблемах реализации концепции радиационной реабилитации населения и территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС / В.И. Тернов, А.А. Тернова // *Преодоление последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС: состояние и перспективы: Сб. науч. тр. II междунар. науч. – практ. конф.* – Гомель, 2004. – С. 124-127.
17. Тернов, В. И. Эколого-гигиенические и медицинские проблемы, сопряженные с процессом получения электроэнергии на атомных станциях/ В. И. Тернов // *Здравоохранение : научно-практический ежемесячный журнал*. – 2009. – N 9. – С. 21-28.
18. Тернов, В.И. Авария на Чернобыльской АЭС: некоторые итоги и уроки минимизации гигиенических и медицинских последствий // *Здравоохранение*.-2014.- №1,-с.36-49
19. Кенигсберг Я.Э. Облучение населения Беларуси в результате аварии на Чернобыльской АЭС/ Я.Э. Кенигсберг, Ю.Е.Крючок// *Сб. «Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших регионов»*, Минск,19-21 апреля 2006 г.-Мн.,2006.- С.266- 280.
20. Ильин Л.А. Радиационная защита населения при реагировании на Чернобыльскую аварию / Л.А.Ильин, Я.Э.Кенигсберг, И.И.Менге, И.А.Лихтарев, М.Н.Савкин // *Сб. «Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших регионов»*, Минск,19-21 апреля 2006 г.-Мн.,2006.- С.74-78.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛУГОВЫХ И ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОЙМЫ Р. СОЖ ВЕТКОВСКОГО РАЙОНА

С.Ф. Тимофеев, Н.М. Дайнеко

УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», Гомель, sertimo@mail.ru

Введение. Через несколько десятилетий после первичного загрязнения пойменных угодий радионуклидами в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, на пойме активно идет вторичное перераспределение радионуклидов. Этот процесс связан с аллювиально-фациальной дифференциацией вещества паводковыми водами, отложением наилок, процессами переувлажнения и заболачивания, подтоками грунтовых вод, сорбцией органическим веществом, окислами железа и глинистыми минералами. Травянистые растения также могут по-разному накапливать радионуклиды в зависимости от видовых особенностей. В результате до сих пор данные угодья могут являться основными поставщиками грязных кормов.

Целью работы являлась радиоэкологическая оценка луговых и прибрежно-водных экосистем поймы р. Сож спустя более четверти века после катастрофы на ЧАЭС.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований являлись луговые и прибрежно-водные экосистемы. Почвенно-грунтовые условия луговых экосистем изучались общепринятыми в почвоведении и геоботанике методами [1, 2].

Агрохимический анализ почвы, урожайность травостоев изучались общепринятыми методами. Отбор проб воды выполняли батометром ПВ-1,0. Содержание тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Mn, Ni, Co, Cr, Fe) определяли в РНИУП «Институт радиологии» МЧС Беларуси. Измерение содержания ^{137}Cs в почвенных и растительных образцах производили на гамма-спектрометрах Tennelec-Oxford и Canberra-Pakard. Погрешность измерений составляла 15 – 20 %.

Флористический состав изучали по методу А. А. Корчагина [3] одновременно с геоботаническим описанием травостоев луговых экосистем. Классификацию растительности луговых и прибрежно-водных экосистем выполняли в соответствии с принципами и методами эколого-флористической классификации Браун – Бланке [4].

Результаты исследования и их обсуждение. Исследования проводили в 2013 – 2015 гг. Ниже приводится эколого-флористическая классификация изучаемых объектов. Всего было обследовано 7 луговых и 3 прибрежно-водных экосистем правобережной и левобережной пойм реки Сож на территории Ветковского района Гомельской области.

Объект 1. Ровное понижение притеррасной правобережной части поймы р. Сож.

По эколого-флористической классификации луговая экосистема относится к ассоциации *Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis* Alexandrova 1989, союзу – *Agrostio stoloniferae – Beckmannion eruciformis* Mirkin 1989, порядку *Molinietalia*, классу *Molinio-Arrhenatheretea* Tx. 1937.

Объект 2. Пониженная притеррасная равнина правобережной части поймы р. Сож. По эколого-флористической классификации луговая экосистема относится к ассоциации *Juncus compressi – Agrostietum stoloniferae* Bulokhov 1990, союзу *Agropyro-Rumicion crispus* Nordh. 1940, порядку *Agrostietalia stoloniferae* Oberd. 1967, классу *Plantaginetea majoris* Tx. et Presing 1950.

Объект 3. Повышенная равнина шириной 25 м и длиной 100 м правобережной центральной поймы р. Сож, примыкает к озеру. Проективное покрытие 90 %. По эколого-флористической классификации луговая экосистема отнесена к ассоциации

Deschampsio-Agrostietum tenuis, союзу *Cynosurion* Тх. 1947, порядку *Arrhenatheretalia* Pawl.1928, классу *Molinio-Arrhenatheretea* Тх.1937.

Объект 4. Продолжение повышенной равнины объекта № 3 прибрежной центральной поймы р. Сож. Ширина 50 м, длина 300 м. По эколого-флористической классификации луговая экосистема относится к ассоциации *Deschampsietum cespitosae*, субассоциации *Poetosum palustris*, варианту *Leontodon autumnalis*, союзу *Cynosurion*, порядку *Arrhenatheretalia* Pawl.1928, классу *Molinio-Arrhenatheretea* Тх. 1937.

Объект 5. Расположен вблизи д. Шерстин около первой надпойменной террасы. По эколого-флористической классификации эта луговая экосистема относится к базальному сообществу *Trifolium repens* (*Cynosurion*).

Объект 6. Глубокое понижение, примыкающее к озеру Кривое вблизи д. Шерстин. По эколого-флористической классификации луговая экосистема относится к ассоциации *Caricetum gracilis*, союзу *Magnocaricion elatae* Koch 1926, порядку *Magnocaricetalia* Pignatti 1953, классу *Phragmiti – Magnocaricetea*.

Объект 7. Пониженная равнина центральной правобережной поймы р. Сож вблизи д. Шерстин. По эколого-флористической классификации луговая экосистема относится к ассоциации *Junco-Deschampsietum cespitosae* Bulokhov 1990, союзу *Agropyro-Rumicion crispi* Nordn. 1940, порядку *Agrostietalia stoloniferae* Oberd. in Oberd. et al. 1967, классу *Molinio-Arrhenatheretea* Тх. 1937.

Почвы обследованных лугов характеризуются низким уровнем естественного плодородия. Так кислотность почвенного раствора варьировала от 3,9 до 4.8.

По обеспеченности подвижным калием и фосфором относится к очень низко и низко обеспеченным. По органическому веществу почву можно отнести в основном к высокообеспеченным. Плотность загрязнения территории лугов варьировала в пределах 140 – 887 кБк/м² (3,7 – 24,0 Ки/км²). Наибольшая плотность радиоактивного загрязнения выявлена на 1 и 2 объектах, наименьшая на 6 объекте.

В связи с радиоактивным загрязнением территории республики, производится нормирование кормов, в том числе и травяных по содержанию радиоцезия [5].

Результаты радиологического анализа показали, что травяной корм полученный с естественных лугов в ассоциациях *Caricetum gracilis*, *Agrostio stoloniferae – Beckmannion eruciformis* (объекты 1,5) можно использовать без ограничений. Содержание радиоцезия от 408 до 1087 Бк/кг.

Травяной корм трех ассоциаций: базального сообщества *Trifolium repens*, *Deschampsietum cespitosae* и *Deschampsio – Agrostietum tenuis* (объекты 3, 4, 6) пригоден для получения молока с обязательной его переработкой в другие молочные продукты (сметана, масло). Содержание радионуклида 1465 – 1525 Бк/кг. Растительность ассоциаций *Junco compressi – Agrostietum stoloniferae* в связи с высокой удельной активностью не пригодна для кормления сельскохозяйственных животных (объекты 2, 7). Аккумуляция радиоцезия 1902 – 3488 Бк/кг.

Ниже приводится эколого-флористическая классификация изучаемых объектов прибрежно-водной растительности Ветковского района.

Объект № 1. Правый приток р. Сож, вблизи населенного пункта Новоселки, в 0,5 км от р. Сож. Экосистема асс. *Glycerio maximae – Caricetum acutae* Sapegin 1986 союза *Magnocaricion elatae* W. Koch 1926, порядка *Magnocaricetalia* Pign. 1953, класса *Phragmito – Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941.

Объект № 2. Левобережная пойма р. Сож, перед мостом, вблизи г. Ветка. Растительность поймы представляет комплекс травяных, лугово-болотных экосистем.

Экосистема с преобладанием аира обыкновенного отнесена к асс. *Acoretum calami* Egger 1933 союза *Phragmition communis* W. Koch 1926, порядка *Nasturtio-*

Glycerietalia Pignatti em. Kopecky 1961 in Kopecky it Hejny 1965, класса *Phragmito – Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941.

Экосистема рогоза широколистного *Thypha latifolia* входит в состав ассоциации *Thyphetum latifoliae* Soó 1297 союза *Phragmition communis* W. Koch 1926, порядка *Nasturtio-Glycerietalia* Pignatti em. Kopecky 1961 in Kopecky it Hejny 1965, класса *Phragmito – Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941.

Объект № 3. Окраина д. Старое Село, берег озера Чечиль. Экосистема с господством *Carex acuta* отнесена к ассоциации *Caricetum gracilis* (Almqvist 1929) R.Tx.1937 союза *Magnocaricion elatae* Koch 1926, порядка *Magnocaricetalia* Pignatti 1953, класса *Phragmito – Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941.

Радиологический анализ проб воды показал, что содержание радиоцезия в воде не превышало установленной нормы и колебалось около 3 Бк/л.

Активность почвогрунта составила от 251 Бк/кг (2 объект) до 1615 Бк/кг (1 объект). Содержание радиоцезия в почве составляло от 111 Бк/кг (1 объект) до 1251 Бк/кг (2 объект).

Для оценки уровня радиоактивного загрязнения прибрежно-водной растительности целесообразно использовать нормативы РДУ/ЛТС-2004 [6]. Содержание радиоцезия в лекарственном сырье нормируется 370 Бк/кг. Средние значения содержания радиоцезия в растениях (Бк/кг) и величины КН (Бк/кг/Бк/кг) по группам составили следующие значения.

Аэрогидрофиты высокорослые 135,3 / 0,6; аэрогидрофиты среднерослые 742,0 / 1,9; эуигрофиты среднерослые 202,8 / 0,5; гигрогелофиты среднерослые 77,1 / 0,3.

Анализ состояния радиоактивного загрязнения растительных образцов показал, что наибольшая удельная активность по цезию-137 отмечена у сабельника болотного во втором объекте (1928 Бк/кг), аэрогидрофита хвоща полевого (1384 Бк/кг), гигрофита среднерослого вербейника обыкновенного (870 Бк/кг). Превышение нормативов РДУ/ЛТС-2004 по содержанию радионуклида составило от 5,2 до 2,3 раза. Основная масса исследуемой растительности соответствовала нормативным значениям. Величины КН варьировали в широких пределах – от 0,01 до 86,7 Бк/кг:Бк/кг. Наибольшим коэффициентом накопления цезия характеризовались: роголистник обыкновенный (86,7), сабельник болотный (7,7), горец земноводный (1,61).

Заключение. Доминантами травостоя на обследованных угодьях являются бекмания обыкновенная, полевица побегообразующая, полевица тонкая, птармика хрящеватая, осока острая, ситник сплюснутый, луговик дернистый. Плотность радиоактивного загрязнения пойменных лугов от 4 до 24 Ки/км². В связи с пестротой радиоактивного загрязнения имеет место и вариабельность по удельной активности кормов.

Изучение прибрежно-водных экосистем свидетельствует о том, что содержание радиоцезия в воде не превышает 3 Бк/л. Аккумуляция радионуклида в почвогрунте и почве с берегов находится в пределах 111 – 1615 Бк/кг. Превышение нормативов РДУ/ЛТС-2004 по содержанию радиоцезия в растительности составило от 5,2 до 2,3 раза. Основная масса исследуемой растительности соответствовала нормативным значениям.

Литература

1. Методика полевых геоботанических исследований / отв. ред. Б. Н. Городков. – М. ; Л. : Изд. АН СССР, 1938. – 215с.
2. Ярошенко, П. Д. Геоботаника. Основные понятия, направления и методы / П. Д. Ярошенко. – М. – Л. : Наука, 1961. – 476с.
3. Корчагин, А. А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения / А. А. Корчагин // Полевая геоботаника : сб. науч. ст. – Л. : Наука, 1964. – Т. 3. – С. 39.

4. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie / J. Braun-Blanquet. – Wien – New-York : Springer-Verlag, 1964. – 865s.
5. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2011 – 2015гг. / Гомель, 2013. – 95с.
6. Республиканский допустимый уровень содержания цезия-137 в лекарственно-техническом сырье (РДУ/ЛТС-2004). – Мн., 2004. – 3с.

ОСОБЕННОСТИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЛЕЙКОЗАМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

А.А. Чешик, И.В. Веялкин, Э.А. Надыров

ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», Гомель, Беларусь, veyalkin@mail.ru

Введение. Ранними формами проявления радиационного канцерогенеза являются лейкозы, которые могут начаться отмечаться уже через 2-3 года после острого облучения [1]. В тоже время проведенный нами анализ литературных источников показал небольшое количество публикаций, характеризующих тенденции заболеваемости лейкозами в Республике Беларусь в послеаварийный период. Знание особенностей заболеваемости лейкозами в Беларуси важно для реализации решения задач по оценке рисков развития этих заболеваний у пострадавшего населения для определения вклада радиационного фактора в формирование этой патологии. В связи с этим целью данной работы было проанализировать особенности заболеваемости лейкозами в Республике Беларусь за период с 1991 по 2014 гг.

Материалы и методы. В работе были проанализированы данные Белорусского республиканского канцер-регистра за период с 1991 по 2014 гг. Были проанализированы динамики заболеваемости лейкозами (С91-С95, согласно кодировки международной классификации болезней 10 пересмотра). Были рассчитаны грубые интенсивные (CR), повозрастные (AsR) и стандартизованные по возрасту (ASR, World стандарт) показатели заболеваемости лейкозами (на 100 000 населения). Статистическая обработка материала проводилась согласно стандартным методам, принятым в эпидемиологии злокачественных новообразований: сравнение показателей заболеваемости, проводилось с помощью z-критерия, стандартной ошибки среднего (SE) и сравнения 95% доверительных интервалов (95%ДИ) [2, 3]. Анализ динамик показателей проводился путем сравнения темпов среднегодового прироста (APC) с использованием пакета Joinpoint Regression Program 3.4.3.

Результаты исследования и их обсуждение. По данным МАИР заболеваемость лейкозами в мировой популяции мужчин в 2012 году составила 5,6‰, у женщин – 3,9‰. В то же время отмечено, что показатель заболеваемости у мужчин в развивающихся странах (4,4‰) в два раза ниже, чем у мужского населения развитых стран (8,8‰). Среди женского населения различия в уровнях заболеваемости в развитых (5,8‰) и развивающихся (3,2‰) странах находятся примерно на том же уровне, что и у мужчин [4].

Необходимо отметить высокую (по отношению к заболеваемости) смертность от лейкозов в развивающихся странах (0,8). Соотношение же величины показателя смертности к величине показателя заболеваемости у мужчин и женщин, проживающих в развитых странах ниже – 0,5.

В структуре заболеваемости населения Беларуси злокачественными опухолями у мужчин лейкозы на протяжении 1991 – 2014 годов составляли порядка 2 – 3%, как у мужчин, так и у женщин.

За период с 1991 по 2014 годы в Республике Беларусь зарегистрировано 23 683 случая лейкозов. Соотношение числа заболевших мужчин и женщин за это время составило 1,07/1.

В течение всего периода наблюдения с 1991 по 2014 гг. наблюдался незначительный рост числа ежегодно заболевших лейкозом на территории РБ. Так, число ежегодно регистрируемых новых случаев заболевания в 1991 году составило 904 (478 у мужчин и 426 у женщин), а в 2014 – 1040 случаев (533 у мужчин и 507 у женщин) (среднегодовой темп прироста составил 0,7% (0,3-1,1%) ($p < 0,05$)).

На рисунке 1 приведены повозрастные показатели заболеваемости лейкозами мужчин и женщин Республики Беларусь за период с 1991 по 2014 гг. Как видно из рисунка, показатели заболеваемости лейкозами выше у мужчин, чем у женщин, статистически значимо в возрастных группах 15-24 года ($p < 0,001$) и старше 40 лет ($p < 0,001$). При этом следует отметить, что в первые 5 лет жизни риск заболеть лейкозом значимо выше ($p < 0,001$), чем в последующие годы жизни до возраста 45 лет. После 45 лет риск заболеть лейкозом резко увеличивается с возрастом, достигая максимума в возрастной группе 75-79 лет у мужчин ($60,3 \pm 3,6\text{‰}$) и у женщин ($30,9 \pm 1,65\text{‰}$). После 80 лет заболеваемость лейкозами начинает снижаться.

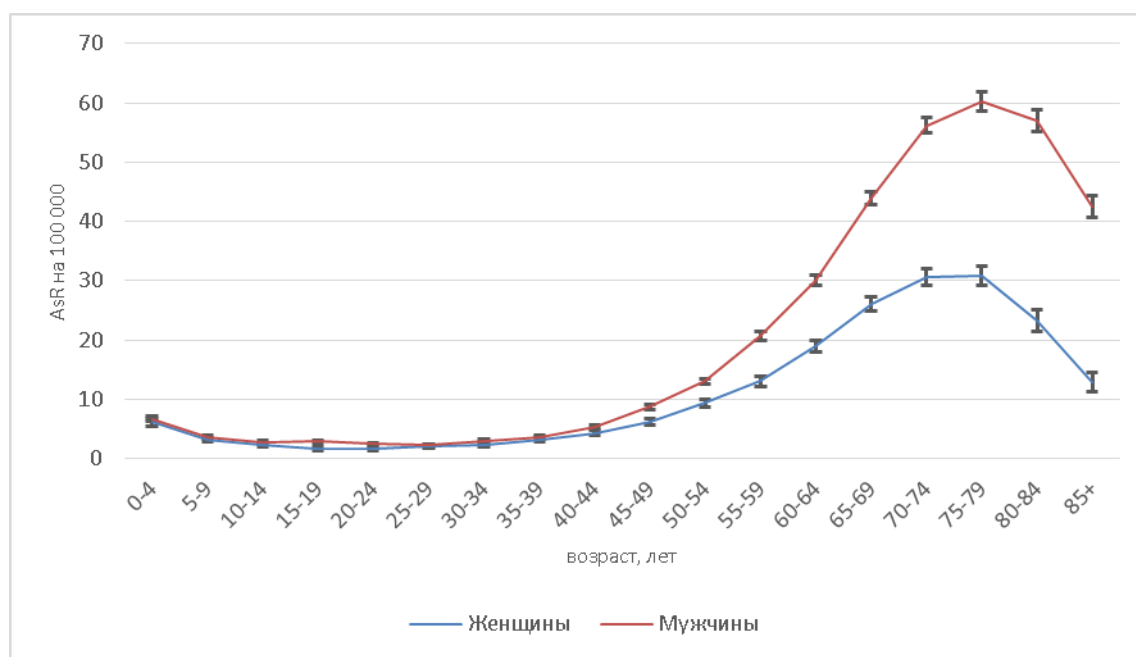


Рисунок 1 – Повозрастные показатели заболеваемости (AsR 95%ДИ) лейкозами мужчин и женщин Республики Беларусь за период с 1991 по 2014 гг.

Заболеваемость лейкозами на 100 000 населения (грубый интенсивный показатель) имеет положительные среднегодовые темпы прироста порядка 1% как у мужчин, так и у женщин, жителей города и села. Так показатель заболеваемости у мужчин вырос с $10,0 \pm 0,9\text{‰}$ в 1991 г. до $12,1 \pm 1,03\text{‰}$ в 2014 г. (АРС = 0,9 (0,43–1,47)% ($p < 0,05$), (у городских с $9,0 \pm 1,03\text{‰}$ в 1991 до $11,9 \pm 1,17\text{‰}$ в 2014 г. (АРС = 1,2 (0,5–1,81)% ($p < 0,05$) и сельских с $12,1 \pm 1,73\text{‰}$ в 1991 до $12,8 \pm 2,17\text{‰}$ в 2014 г. (АРС = 0,7 (0,18–1,29)% ($p < 0,05$)). При этом у женщин показатель заболеваемости вырос с $7,9 \pm 0,75\text{‰}$ в 1991 г. до $10 \pm 0,87\text{‰}$ в 2014 г. (АРС = 1,4 (0,96–1,77)% ($p < 0,05$), (у городских с $7,6 \pm 0,9\text{‰}$ в 1991 до $9,3 \pm 0,96\text{‰}$ в 2014 г. (АРС = 1,6 (1,06–2,05)% ($p < 0,05$) и сель-

ских с $8,5 \pm 1,34$ ‰ в 1991 до $12,3 \pm 2,03$ ‰ в 2014 г. (APC = 1,2 (0,53–1,79)% ($p < 0,05$)). Следует отметить, что заболеваемость лейкозами на протяжении всего периода наблюдения у сельских жителей была значимо выше, чем у городских как у мужчин, так и у женщин. Статистически значимые различия ($p < 0,05$) грубых интенсивных показателей заболеваемости лейкозами у мужчин и женщин отмечаются во все годы наблюдения за исключением 2010-2014 гг.

Таблица 1 – Динамика грубых интенсивных показателей заболеваемости лейкозами по пятилетним временным интервалам (CR±z×SE), по полу и месту проживания, и среднегодовой темп прироста (APC % (95%ДИ))

Годы	женщины все	женщины город	женщины село	мужчины все	мужчины город	мужчины село
1991-1994	7,9±0,38 ⁺	7,6±0,45* ⁺	8,7±0,68* ⁺	10,4±0,46 ⁺	9,8±0,54* ⁺	11,8±0,86* ⁺
1995-1999	8,2±0,34 ⁺	7,6±0,4* ⁺	9,4±0,65* ⁺	10±0,4 ⁺	9,3±0,47* ⁺	11,6±0,78* ⁺
2000-2004	9,2±0,37 ⁺	8,5±0,42* ⁺	10,9±0,74* ⁺	11,2±0,43 ⁺	10,4±0,49* ⁺	13,1±0,87* ⁺
2005-2009	9,9±0,39 ⁺	9,4±0,44* ⁺	11,2±0,79* ⁺	12,2±0,46 ⁺	11,7±0,53* ⁺	13,7±0,93* ⁺
2010-2014	10,2±0,39 ⁺	10,0±0,45 ⁺	10,8±0,83 ⁺	11,6±0,45 ⁺	11,2±0,51* ⁺	12,8±0,95* ⁺
1991-2014	9,1±0,17 ⁺	8,7±0,19* ⁺	10,1±0,33* ⁺	11,1±0,2 ⁺	10,5±0,23* ⁺	12,6±0,39* ⁺
APC ₁₉₉₁₋₂₀₁₄ %	1,4 (0,96–1,77) [^]	1,6 (1,06–2,05) [^]	1,2 (0,53–1,79) [^]	0,9 (0,43–1,47) [^]	1,2 (0,5–1,81) [^]	0,7 (0,18–1,29) [^]

* – $p_{\text{город/село}} < 0,05$; ⁺ – $p_{\text{мужчины/женщины}} < 0,05$; [^] – $p_{\text{APC}} < 0,05$

Для сопоставления показателей заболеваемости в Беларуси с аналогичными показателями в других странах (с отличной от белорусской возрастно-половой структурой населения) и для изучения динамики заболеваемости в республике за продолжительный промежуток времени (когда произошли значительные изменения в возрастно-половой структуре населения), были рассчитаны стандартизованные по возрасту показатели заболеваемости, которые позволяют нивелировать влияние различий в возрастной структуре популяций на величину показателей заболеваемости. Стандартизованные показатели заболеваемости приведены в таблице 2. Как видно из таблицы динамики стандартизованных показателей имеют отличия от динамик грубых интенсивных показателей. Статистически значимый рост показателей ASR отмечается только для женщин (APC=0,7%(0,29–1,13%)), при этом отдельно для женщин городских и сельских жителей статистической значимости в увеличении заболеваемости не отмечается. Стандартизованные показатели заболеваемости у мужчин практически не менялись и составляли $9,4 \pm 0,87$ ‰ в 1991 г. и $9,7 \pm 0,89$ ‰ в 2014 г. (APC = 0,2 (-0,28–0,67)% ($p > 0,05$)), (у городских $-10,2 \pm 1,22$ ‰ в 1991 и $10,2 \pm 1,07$ ‰ в 2014 г. (APC = -0,2 (-0,8–0,46)% ($p > 0,05$)) и сельских $-8,6 \pm 1,37$ ‰ в 1991 и $8,4 \pm 1,66$ ‰ в 2014 г. (APC = 0,5 (-0,19–1,14)% ($p > 0,05$)). При этом у женщин стандартизованный показатель заболеваемости вырос с $5,8 \pm 0,6$ ‰ в 1991 г. до $6,7 \pm 0,74$ ‰ в 2014 г. (APC = 0,7 (0,29–1,13)% ($p < 0,05$)), однако у городских и сельских жителей он практически не менялся, составляя соответственно $6,6 \pm 0,82$ ‰ в 1991 и $6,7 \pm 0,84$ ‰ в 2014 г. (APC = 0,4 (-0,04–0,87)% ($p > 0,05$)) и $4,6 \pm 0,91$ ‰ в 1991 и $4,3 \pm 1,13$ ‰ в 2013 г. (APC = 0,7 (-0,17–

1,64)% ($p>0,05$). Следует отметить, что в отличие от грубых интенсивных показателей заболеваемости, стандартизованные по возрасту показатели выше у городских, чем у сельских жителей, у мужчин и у женщин. При этом стандартизованный показатель заболеваемости, как и при сравнении грубых показателей выше у мужчин, чем у женщин.

Анализ стандартизованных показателей заболеваемости по областям не выявил выраженных отклонений в заболеваемости лейкозами в областях, наиболее загрязненных радионуклидами. В 2010-2014 гг. показатели заболеваемости (оба пола, все жители) равнялись: в Брестской области $ASR=6,0\pm 1,64$; в Витебской области $ASR=8,1\pm 2,0$; в Гомельской области $ASR=7,4\pm 1,65$; в Гродненской области $ASR=9,6\pm 2,19$; в Минской области $ASR=7,3\pm 1,65$; в г. Минске $ASR=7,5\pm 1,32$ и в Могилевской области $ASR=8,4\pm 2,2$; в целом по РБ $ASR=7,7\pm 0,25$. Статистически значимые темпы прироста отмечались только в Гродненской ($APC= 1,4 (0,77-2,02)$) и Могилевской областях ($APC=0,9 (0,08-1,64)$), в остальных регионах прирост показателей заболеваемости отсутствовал.

В структуре заболеваемости лейкозами у всего населения на первых местах находятся хронические лимфоцитарный (37,3%) и миелоцитарный (16,8%) лейкозы. У детского населения (0-14 лет) наоборот на первом месте находится острый лимфобластный (76,7%) и миелобластный (12,0%) лейкозы. Хронические лейкозы у детей практически не встречаются.

Таблица 2 – Динамика стандартизованных показателей заболеваемости лейкозами по пятилетним временным интервалам ($ASR\pm z\times SE$), по полу и месту проживания, и среднегодовой темп прироста ($APC\ % (95\% ДИ)$)

Годы	женщины все	женщины город	женщины село	мужчины все	мужчины город	мужчины село
1991-1994	6,0±0,31 ⁺	6,7±0,42 ^{**}	5,2±0,53 ^{**}	9,7±0,44 ⁺	10,9±0,62 ^{**}	8,4±0,68 ^{**}
1995-1999	5,9±0,29 ⁺	6,4±0,36 ^{**}	5,4±0,51 ^{**}	8,9±0,37 ⁺	9,8±0,51 ^{**}	7,9±0,6 ⁺
2000-2004	6,2±0,3 ⁺	6,6±0,37 ^{**}	5,9±0,55 ^{**}	9,6±0,4 ⁺	10,3±0,52 ^{**}	9,0±0,69 ^{**}
2005-2009	6,4±0,32 ⁺	6,8±0,38 ^{**}	5,9±0,61 ^{**}	9,9±0,4 ⁺	10,5±0,51 ^{**}	8,9±0,72 ^{**}
2010-2014	6,8±0,33 ⁺	7,1±0,39 ^{**}	6,2±0,68 ^{**}	9,3±0,39 ⁺	9,7±0,47 ^{**}	8,7±0,76 ^{**}
1991-2014	6,3±0,14 ⁺	6,7±0,17 ^{**}	5,7±0,25 ^{**}	9,5±0,18 ⁺	10,3±0,23 ^{**}	8,6±0,3 ^{**}
$APC_{1991-2014}\%$	0,7 (0,29–1,13) [^]	0,4 (-0,04–0,87)	0,7 (-0,17–1,64)	0,2 (-0,28–0,67)	-0,2 (-0,8–0,46)	0,5 (-0,19–1,14)

* – $p_{город/село} < 0,05$; ⁺ – $p_{мужчины/женщины} < 0,05$; [^] – $p_{APC} < 0,05$

Заключение. Проведенный анализ заболеваемости не позволяет сделать выводы о значительном росте заболеваемости лейкозами у населения Беларуси в послеаварийный период. При этом следует отметить, что заболеваемость лейкозами выше у мужчин, чем у женщин, и у жителей села, чем города. Однако анализ стандартизованных по возрасту показателей показывает, что различия в уровнях заболеваемости жителей города и села связаны с различиями в возрастной структуре этого населения, и риск заболеть лейкозом выше у жителей города. Также нами не было отмечено значительных

различий в заболеваемости у жителей отдельных регионов Республики Беларусь и особенно у населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях.

Литература

1. Биологические эффекты при облучении в малых дозах. Источники и эффекты ионизирующего излучения. Отчет НКАДР 2000 г. Генеральной Ассамблее ООН с научными приложениями. – Т.2: Эффекты (Ч.3) / Пер. с англ. – М.: РАДЭКОН, 2000. – С.215.

2. Breslow N. E., Day N. E. Statistical methods in cancer research. The design and analysis of cohort studies. — Lyon: IARC, 1987, Vol. 2, 404 p.

3. Моисеев, П.И. / Эпидемиология злокачественных новообразований: принципы и методы / П.И. Моисеев, И.В. Веялкин, Ю.Е. Демидчик // Руководство по онкологии: учебник / О.Г. Суконко [и др.] ; под ред. О.Г. Суконко. – Мн., 2015. – С. 51–82.

4. Globocan 2012: Estimated cancer incidence, mortality and prevalence worldwide in 2012 [Electronic resource] / International Agency for Research of cancer. – France, 2012. – mode of access: <http://globocan.iarc.fr> . – date of access: 12.01.2016.

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПГРЭЗ НА РЕПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

Н.В. Чуешова, К.Н. Шафорост, Д.А. Ноздрев, Н.Н. Веялкина

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, svetsu50@mail.ru

Введение. Одной из важнейших медико-биологических проблем является оценка влияния малых доз радиации на воспроизводство [1]. Как известно, сперматогенный эпителий является одной из наиболее радиочувствительных тканей организма. Радиочувствительность мужских гамет зависит от интенсивности их пролиферации и степени дифференцировки во время облучения. Предполагается также, что радиационное нарушение сперматогенеза зависит не только от деградации сперматогенного эпителия, но и от нарушения функции клеток Сертоли, обеспечивающих трофику и гормональную регуляцию дифференцирующихся сперматогоний.

Следует отметить, что решающее значение в поражении облученных сперматогенных клеток имеют нарушения структуры ДНК и хроматина [2]. Фрагментация ДНК сперматозоидов – относительно недавно открытая причина снижения мужской фертильности, которая интенсивно исследуется в последнее десятилетие. Она включает двухцепочечные и одноцепочечные разрывы, а также конформационные изменения молекулы ДНК. Исследования на животных показали, что развитие эмбриона и имплантация отчасти зависят от целостности ДНК сперматозоидов (в частности, фрагментации ДНК [3-4]).

Динамика популяционной структуры, включая и ее половой состав, представляет собой один из важнейших экологических механизмов эволюционного процесса. Изучение вторичного (при рождении) соотношения полов у млекопитающих имеет не только научный интерес, но и большое практическое значение, так как вскрытие причин, определяющих половой состав новорожденных, открывает пути для направленного регулирования пола в потомстве. Изучение вторичного (при рождении) соотношения полов у млекопитающих имеет не только научный интерес, но и большое практическое значение. Рядом авторов сделан вывод об экологической обусловленности динамики половой структуры у мышеобразных [5].

Целью исследования было оценить влияние хронического радиозоэкологического фактора зоны ПГРЭЗ на репродуктивную функцию лабораторных животных.

Материалы и методы. В работе использовали лабораторных мышей линии Af (самцов и самок) в возрасте 11-12 недель, которые были помещены для хронического облучения (1 месяц) на экспериментальную базу Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ, д. Масаны). Мощность экспозиционной дозы на поверхности почвы в местах размещения животных составляла $3,3-3,8 \pm 0,10$ мкГр/ч.

После 1 месяца экспозиции в ПГРЭЗ мышей вывозили в виварий г. Минска и использовали для получения потомства F₁; у 2-й части самцов анализировали процессы сперматогенеза. Контрольную группу мышей содержали на стандартной диете в виварии г. Минска при нормальном γ -фоне (0,1 мкГр/ч).

Предварительно взвешенных животных подвергали декапитации, выделяли семенники с эпидидимисами, массу которых оценивали с точностью до 1 мг, с последующим расчетом относительной массы выделенных органов. В клеточной суспензии, полученной из тестикулярной ткани, проводили анализ состава популяций сперматогенных клеток методом ДНК-проточной цитометрии (цитофлюориметр Cytomics FC 500, Beckman Coulter, США) [6]. Основываясь на соответствующей интенсивности флуоресценции содержания ДНК, клеточные популяции были классифицированы как сперматогонии, сперматоциты в прелептотене и I порядка, круглые и удлинённые сперматиды. Также проводили оценку состояния ДНК эпидидимальных сперматозоидов (степень фрагментации – DFI) с использованием проточной цитометрии (м-д SCSA) [7].

Результаты и обсуждение. Пребывание самцов мышей линии Af на территории ПГРЭЗ (Масаны) с повышенным γ – фоном в течение 1 месяца оказывает влияние на массовые показатели репродуктивной системы животных, что выражается в достоверном снижении относительных масс семенников – на 32% и эпидидимисов – на 17%. (табл. 1). Анализ относительных масс семенников и эпидидимисов у потомства F₁ 6-месячного возраста после нахождения родителей в зоне ПГРЭЗ в течение 1 месяца также показало статистически значимое снижение относительной массы семенников и эпидидимисов (на 8-19 %) по сравнению с возрастным контролем.

Таблица 1 – Изменение массы тела, относительных и абсолютных масс семенников и эпидидимисов самцов мышей в условиях пребывания в зоне ПГРЭЗ (Масаны) и самцов мышей в потомстве F₁

Серии опытов	Абсолютная масса семенников, г	Относительная масса семенников, %	Абсолютная масса эпидидимисов, г	Относительная масса эпидидимисов, %
Контроль	0,09±0,003	0,31±0,012	0,03±0,001	0,12±0,004
Зона ПГРЭЗ	0,06±0,004	0,21±0,013*	0,03±0,001	0,10±0,002*
Контроль F ₁	0,087±0,002	0,31±0,01	0,035±0,002	0,123±0,003
Зона ПГРЭЗ F ₁	0,082±0,004	0,25±0,01*	0,037±0,001	0,113±0,002*

*– достоверные изменения по отношению к контролю при $p < 0,05$

Интерес вызывает степень повреждения нитей ДНК в сперматозоидах, а именно индекс фрагментации ДНК – DFI, который отражает количество одиночных и двойных разрывов. Полученные нами данные указывают на повреждающую способность радиа-

ционно-экологического фактора зоны ПГРЭЗ в течение 1 месяца, на что указывает достоверное увеличение данного показателя на 188,7 % (табл.2).

Таблица 2 – Распределение популяций сперматогенных клеток в тестикулярной ткани семенников и индекс фрагментации ДНК сперматозоидов (DFI, %) самцов мышей после экспозиции в зоне ПГРЭЗ в течение 1 месяца

Исследуемые показатели	Серии опытов		
	Контроль	ПГРЭЗ	% к контролю
Сперматогонии	13,65±1,12	19,58±1,29*	143
Сперматоциты в прелептотене	3,40±0,25	3,96±0,15	116
Сперматоциты I порядка	3,68±0,23	8,64±0,53*	235
Круглые сперматиды	36,03±2,38	45,94±1,15*	128
Удлиненные сперматиды	39,63±3,14	19,20±0,96*	49
DFI, %	2,21±0,43	4,17±0,67*	189

*– достоверные изменения по отношению к контролю при $p < 0,05$

Рассматривая количественный состав сперматогенных клеток тестикулярной ткани у экспонированных животных необходимо отметить о значительном снижении клеток завершающего этапа сперматогенеза – удлиненных сперматид (49 %, $p < 0,05$), что в результате может привести к снижению фертильности.

Также были изучены показатели рождаемости и соотношение полов в потомстве мышей, полученных от родителей, которые пребывали на территории ПГРЭЗ (Масаны) с повышенным γ – фоном в течение 1 (табл. 3).

Таблица 3 – Количественные показатели рождаемости и соотношение полов потомства F₁ от родителей, экспонированных в течение 1 месяца в ПГРЭЗ

Группа	Количество потомства			Соотношение полов (самки/самцы)
	Всего	Самки	Самцы	
F ₁ от 1 мес ЗОНА ПГРЭЗ	17	10	7	1,43
F ₁ от контрольных мышей	30	17	13	1,31

Анализ данных о половой структуре потомства F₁ от родителей, экспонированных в течение 1 мес в ПГРЭЗ, родившихся и содержавшихся в условиях вивария, свидетельствует о снижении полученного помета (56,6 %) и о смещении соотношения полов в сторону самок в группе исследуемого радиозоологического фактора (9,35 %).

Заключение. Таким образом, пребывание самцов мышей линии Af на территории ПГРЭЗ (Масаны) с повышенным γ – фоном в течение 1 месяца влияет на развитие дегенеративных процессов в семенниках животных, что отражается в снижении относительных масс семенников и эпидидимисов, изменении в распределении популяций сперматогенных клеток тестикулярной ткани и повышении индекса фрагментации ДНК сперматозоидов. Тогда как у потомства данные изменения выражены в меньшей степени, что указывает на снижение трансгенерационных процессов в поколении при отсутствии повреждающего фактора.

Совокупность представленных данных может свидетельствовать не только о чувствительности репродуктивной системы к хроническому облучению, но и об отдаленных последствиях, возникающих у потомков после контакта их родителей с ИИ и получения суммарного облучения от доз, значительно меньших, чем предельно допустимые.

Литература

1. Проблема индуцированной геномной нестабильности как основы повышенной заболеваемости у детей, подвергающихся низкоинтенсивному воздействию радиации в малых дозах / Сусков И.И., и др. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2006. – Т.46, №2. – С.167-177.
2. González-Marín C. Types, Causes, Detection and Repair of DNA Fragmentation in Animal and Human Sperm Cells / C. González-Marín, J. Gosálvez, R. Roy // Int. J. Mol. Sci. – 2012. – Vol. 13. – P. 14026-14052.
3. Direct and Delayed X-Ray-Induced DNA Damage in Male Mouse Germ Cells / Cordelli E., et all. // Environmental and Molecular Mutagenesis. – 2012. – Vol. 53. – P.429-439.
4. Sakkas D. Sperm DNA fragmentation: mechanisms of origin, impact on reproductive outcome, and analysis / Sakkas D., Alvarez J. G. // Fertility and Sterility. – 2010. – Vol. 93, No. 4. – P. 1027-1036.
5. Оленев Г.В. Функционально-онтогенетический подход в изучении популяций цикломорфных млекопитающих. Дисс. д-ра биол.наук. Екатеринбург, 2004. 482 с.
6. DNA flow-cytometric analysis of testicular germ cell populations of the bonnet monkey (*Macaca radiata*) as a function of sexual maturity / Aravindan G. R, et all. // J. Reprod. Fertil. – 1990. – Vol. 89. – P. 397-406.
7. Evenson, D.P. Sperm Chromatin Structure Assay: Its Clinical Use for Detecting Sperm DNA Fragmentation in Male Infertility and Comparisons With Other Techniques / D.P. Evenson, K.L. Larson, L.K. Jost // J. Andrology. – 2002. – V. 23, № 1. – P. 25–43.

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СРЕДНЕГОДОВОЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Л.А. Чунихин¹, Д.Н. Дроздов²

¹УО «Гомельский государственный медицинский университет», Гомель

²УО «Гомельский государственный университет имени Ф.Скорины», Гомель, Беларусь

Введение. Распределение во времени средней годовой дозы внутреннего облучения жителей сельских населенных пунктов, расположенных на территории радиоактивного загрязнения имеет не монотонный убывающий характер. Динамика спада дозы внутреннего облучения обусловлена естественной убылью радионуклидов, а также рядом природных и социальных особенностей, сложившихся на загрязненных территориях. Влияние этих особенностей наиболее интересны, поскольку позволяют оценить перспективу снижения дозовых нагрузок населения. Для оценки средних годовых доз облучения жителей населенных пунктов в настоящее время существует несколько методических подходов. Основной методический подход для Республики Беларусь, разработанный на основе инструментальных СИЧ-измерений индивидуальных доз внутреннего облучения ограниченной выборки жителей населенного пункта [1, 2, 5-7]. Другой, более распространенный в странах СНГ методический подход, основан на оценке дозы внутреннего облучения основывается на данных среднесуточного поступления радионуклидов с продуктами питания [3, 4]. Оба подхода имеют свои плюсы и минусы, однако позволяют достаточно объективно оценивать радиационную опасность (или безопасность) территории проживания в отношении радиационного фактора. В тоже время накопленный за многолетний период наблюдений период массив данных позволяет разработать унифицированную динамическую модель оценки дозы внутреннего

облучения сельских населенных пунктов, расположенных на территории радиоактивного загрязнения. Установленные в работах разных авторов (Скрябин А.М., 1995, Шевчук В.Е., 1996, Чунихин Л.А., 1998, Власова Н.Г., 1999, Дроздов Д.Н., 2010 и др.) закономерности позволяют выделить и оценить влияние основных факторов формирования дозы внутреннего облучения и прогнозировать возможную динамику этой величины для населенного пункта [7]. Цель работы состояла в разработке динамической модели, позволяющей проводить оценку средних годовых эффективных доз внутреннего облучения жителей населенных Республики Беларусь, проживающих на загрязненных черномыльскими радионуклидами территориях.

Материалы и методы исследования. Для разработки модели данные СИЧ-измерений базы Государственного дозиметрического регистра за период с января 1992 года по декабрь 2008 года. Было установлено, что за указанный период, число населенных пунктов, где в течение года производилось более 30 измерений, составило 447. Для этих населенных пунктов была сформирована выборка за каждый год измерений. Информация о плотности загрязнения населенных пунктов ^{137}Cs , была представлена Республиканским центром радиационного контроля и мониторинга окружающей среды за 1992, 1998, 2001, 2004 и 2009 года. Используя представленные данные, для каждого населенного пункта была построена экспоненциальная зависимость и для каждого года определено значение плотности загрязнения территории населенного пункта. Учитывая региональные особенности формирования дозы внутреннего облучения жителей населенных пунктов, были рассчитаны СГЭД внутреннего облучения. При расчете СГЭД внутреннего облучения жителей сельских была принята модель равновесного содержания ^{137}Cs в теле человека, когда значение среднего в течение года суточного поступления радионуклида соответствует его среднему суточному выведению. СГЭД внутреннего облучения жителей ^{137}Cs ($E_{\text{инт}}^{\text{инт}}$) определяется согласно выражению (1):

$$E_{\text{инт}}^{\text{инт}} = K_d \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i / M_i), \text{ мЗв/год} \quad (1)$$

где K_d – дозовый коэффициент, равный 2,5 (мЗв/год)/(кБк/кг); Q_i – содержание ^{137}Cs в организме i -го человека по данным СИЧ-измерений, кБк; M_i – масса тела i -го человека, кг; n – количество обследованных на СИЧ жителей населенного пункта.

Для каждого населенного пункта было рассчитано величина приведенной дозы, т.е. отношение дозы на плотности загрязнения и построены графики зависимости динамики приведенной дозы для трех регионов Полесье, Северо-Восток, Центр согласно [7, 8]. Для последующей статистической обработки данных использовались методы дескриптивная статистика, регрессионный и дисперсионный анализ. Статистическая обработка была проведена с помощью пакета статистических программ STATISTICA 6.0 и редактора MS Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение. Динамика снижения приведенной дозы хорошо описывается двух экспоненциальной моделью. Первая экспонента аппроксимирует быстрый компонент на начальном отрезке времени (быстрая фаза), а вторая экспонента описывает участок кривой медленного снижения приведенной дозы внутреннего облучения в последующий период (медленная фаза). Аппроксимация двух экспонент имеет следующее объяснение: основные объемы противорадиационных мероприятий в первые годы после аварии были реализованы в регионе Центр, включающий Брагинский, Хойникский и Наровлянский районы. В связи с этим величина периода полууменьшения дозы ($T_{1/2}$) в уравнения для Центрального региона принимает наименьшее значение 3 и 12 лет. Крупные масштабы и большой объем контрмер были выполнены и в регионе

Северо-Восток (Ветковский, Чечерский, Кормянский и др. районы), хотя имела место значительная задержка по времени. Величина периода полууменьшения дозы ($T_{1/2}$) в уравнения для региона Северо-Восток принимает значение 4 и 15 лет. Значения периода полууменьшения дозы внутреннего облучения для региона Полесье в быструю фазу снижения составил 5 лет, а в медленную фазу 31 год. Регион Полесье резко отличается от других по условиям формирования дозы внутреннего облучения. В основном, это объясняется преобладанием почв с аномально высокими коэффициентами перехода цезия-137 в системе почва-растение и пищевыми привычки жителей этого региона, связанными с традиционно высоким потреблением пищевых продуктов леса. Кроме этого, территория региона в меньшей степени загрязнена чернобыльскими радионуклидами, вследствие чего объем проведенных контролей был меньшим, чем в других регионах. Результатом влияния этих факторов является увеличение значение периода полууменьшения дозы для региона Полесье в медленную фазу. На первый взгляд, это величина является парадоксом, т.к. превышает значение периода полураспада цезия-137. Этот факт означает, что активность дикорастущих грибов и лесных ягод практически не меняется, а потребление в условиях фактического отсутствия запретов на пользование лесом значительно зависит от урожайности «даров леса».

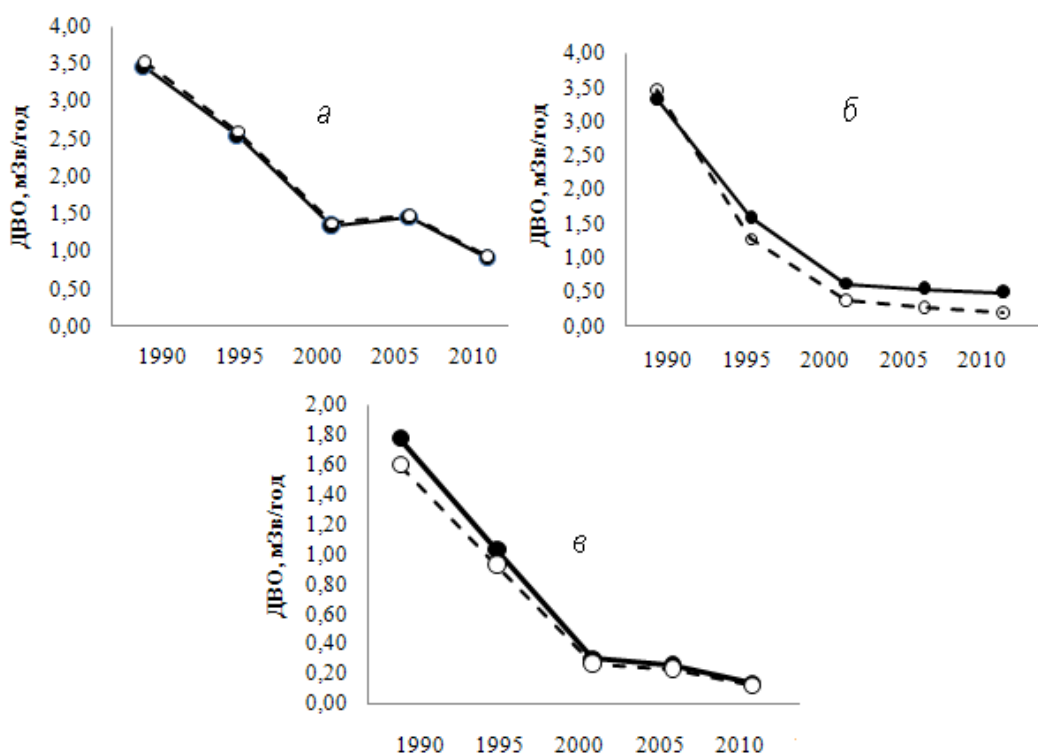


Рисунок 1 – Динамика СГЭД населенных пунктов согласно каталогов 1992-2008 и модельные оценки для 3-х регионов: а – полесье, б – центр, в – северо-восток.

Статистический анализ результатов оценки дозы внутреннего облучения, проведенный на выборках сравнения для трех регионов, выполненных по 2-экспоненциальной динамической модели и полученных непосредственно из результатов СИЧ-измерений, показал однородность всех выборок по критерию Манна-Уитни. Значения достоверной вероятности различия (р-уровень) для регионов Полесье, Центр и Северо-Восток, составили 0,88, 0,28 и 0,72 соответственно. Результаты оценки СГЭД, полученные по динамической модели, экстраполированы на 2014 года и сопоставлены с данными каталога доз за 2014 год. Результаты сравнения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа

Год	ДВО, мЗв/год						р-уровень
	полесье		центр		северо-восток		
	К*	М**	К	М	К	М	
1992	3,45±0,35	3,53±0,53	3,33±0,33	3,47±0,26	1,77±0,27	1,59±0,26	> 0,05
1998	2,54±0,38	2,59±0,31	1,59±0,21	1,28±0,20	1,03±0,20	0,93±0,18	> 0,05
2004	1,34±0,16	1,37±0,22	0,61±0,10	0,38±0,05	0,30±0,10	0,27±0,05	> 0,05
2009	1,45±0,23	1,48±0,15	0,55±0,10	0,27±0,10	0,26±0,10	0,23±0,05	> 0,05
2014	0,91±0,10	0,93±0,20	0,49±0,10	0,20±0,05	0,14±0,05	0,13±0,05	> 0,05

* – по данным Каталогов доз облучения, ** – расчет по модели

Закключение. Анализ результатов, полученных на выборках сравнения для трех регионов, показал, что с помощью предложенной модели можно адекватно и корректно оценить средние годовые эффективные дозы внутреннего облучения жителей НП Республики Беларусь, проживающих на загрязненных чернобыльскими радионуклидами территориях.

Литература

1. Постановление Кабинета Министров Республики Беларусь № 283. – 05.05.1993.
2. ISPR Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Ann. ICPR. Oxford: Pergamon Press, 2007. – 332 с.
3. Ильин, Л.А. Радиационная безопасность и защита: справочник / Л.А. Ильин, В.Ф. Кириллов. – М. : Медицина, 1996. – 336 с.
4. Радиационный мониторинг облучения населения в отдаленный период аварии на Чернобыльской АЭС / ТС проект RER/9/074 / Балонов М.И., Барковский А.Н., Брук Г.А., Власова Н.Г., Голиков В.Ю., Кенигсберг Я.Э., Перевозников О.Н., Чумак В.В., Шевчук В.Е. – Вена, Австрия, 200.
5. Каталог доз облучения жителей, НП Республики Беларусь. Утверждено Министром здравоохранения В.С. Казаковым 19 октября 1992г. Минск – 1992 г. – 94 с.
6. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / Н.Г. Власова [и др.]; утв. М-стром здравоохранения Республики Беларусь 7.07. 2009 г. – Гомель: РНПЦ РМиЭЧ, 2009. – 86 с.
7. Оценка средней годовой эффективной дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь, для целей зонирования / Н.Г. Власова, В.Ф. Миненко, Л.А. Чунихин, Ю.Е. Крюк, Ю.В. Висенберг, С.В. Лещева, Д.Н. Дроздов, В.Б. Масыкин, Е.П. Куц; утв. Министерством здравоохранения Республики Беларусь 27.06.08 г. №ГР 044-0508. – Гомель, 2008. – 13с.
8. Дроздов, Д. Н. Прогноз дозы внутреннего облучения в отдаленный период аварии на ЧАЭС / Д.Н. Дроздов, Л.А. Чунихин // Чернобыльские чтения – 2014: Материалы международной научно-практической конференции (Гомель, 10-11 апреля 2014г.) / М-во здравоохр. РБ, РНПЦ радиац. медиц.; под общ. ред. А.В. Рожко. – Гомель, ГУ «Респ. науч.- пр. центр рад.мед. и экол. чел.». Гомель, РНИУП «Институт радиологии». – 2014. – С. 42-44.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ НА ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Н.В. Шамаль

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, Беларусь,
namahasha@rambler.ru

Радиоактивное загрязнение окружающей среды, обусловленное катастрофой на Чернобыльской АЭС, стимулировало разработку проблемы радиационной защиты биоты, что требует исследования радиационных эффектов в объектах живой природы и изучения соотношения «доза-эффект». В тоже время данные о радиобиологических эффектах, наблюдаемых на радиоактивно-загрязненных территориях, как правило, не всегда легко объяснимы [1, 2]. Возможными причинами считаются трудности дозиметрии, биологические особенности развития организмов, неравномерность распределения радионуклидов по тканям и органам. Кроме того живые организмы в естественных условиях постоянно подвергаются воздействию факторов окружающей среды, которые могут выступать модификаторами радиобиологических эффектов. Целью данного исследования было изучение функционального состояния растений ячменя, выросших из гамма-облученных семян, развивающихся в условиях засоления среды произрастания.

Материалы и методы. Исследования проводили на ячмене (*Hordeum vulgare*) сортов «Жытень» и «Гонар». Семена в воздушно-сухом состоянии облучали на γ -установке «Игур» в дозе 2,5 и 5,0 Гр (источник – ^{137}Cs , мощность дозы 5,6 сГр/мин). В лабораторных условиях облученные и необлученные (контрольные) семена проращивали на дистиллированной воде и 1,0 % растворе NaCl (осмотическое давление 0,71 МПа) [3]. Определяли параметры набухания семян, лабораторную всхожесть и проводили цитологический анализ хромосомных нарушений апикальных корневых меристем [4].

В полевых условиях растения выращивали в полиэтиленовых пакетах («пакетный метод»), заполненных дерново-подзолистой почвой. Засоление создавали добавлением в почву NaCl (0,7 % от веса почвы). NaCl вносили в два этапа: предпосевное в качестве соли (0,5 %) и на этапе кущения в виде раствора (0,2 %). Семена высевали в верхний слой почвы, не содержащий NaCl, чтобы не подавить их прорастание. Влажность почвы в контроле и при засолении почвы поддерживалась на уровне 60-70 % полной полевой влагоемкости на протяжении всего вегетационного периода. Анализ растений проводили на этапе кущения, цветения и созревания семян.

Результаты исследования и их обсуждение. В лабораторных условиях было изучено влияние засоления на процесс прорастания семян. Облучение семян стимулировало процесс их раннего прорастания, что выразилось в активировании поступления воды в семена, более высоком коэффициенте набухания и сокращении длительности прорастания. Длительность I и II этапов прорастания ячменя контрольного варианта составила 21,3 и 37,8 часа, варианта облучения в дозе 2,5 Гр – 19,8 и 36,9 часа, для 5,0 Гр – 19,5 и 36,7 часа.

При прорастании семян в условиях засоления отмечено замедление прорастания. Сочетание облучения и засоления усилило торможение этого процесса (эффект синергизма повреждающего действия). Длительность I и II этапов прорастания в высокоосмотической среде у необлученных семян ячменя составила 32,9 и 67,7 часа, варианта облучения в дозе 2,5 Гр – 33,5 и 71,8 часа, для 5,0 Гр – 35,2 и 76,4 часа.

Облучение семян не оказало достоверного влияния на параметр всхожести, в связи с высоким потенциалом жизнеспособности популяции. В тоже время фактор

засоления, а также сочетание этого фактора с предпосевным облучением привело к достоверному снижению энергии прорастания и всхожести семян в популяции. Дисперсионный анализ показал существенный вклад засоления в изменение параметров прорастания. При этом влияние этого фактора оказалось решающим, при достоверном, хотя и незначительном влиянии сочетанного действия обоих факторов.

Оценка апикальных меристем показала, что у облученных растений при оптимальных условиях произрастания наблюдается ускорение темпов деления клеток. При засолении отмечается снижение митотической активности, однако у облученных растений он оставался выше, свидетельствуя о сохранении стимулирующего темпов деления клеток ионизирующим излучением.

В условиях нормального режима прорастания наблюдалась зависимость между дозой облучения, с одной стороны, и выходом аберрантных клеток и поврежденностью клеток, с другой. Уровень аберрантных клеток для вариантов облучения 2,5 и 5,0 Гр возрос в 3,2 и 4,7 раза, соответственно, к уровню спонтанного мутирования, а также возросла и нагруженность клеток повреждениями. В условиях засоления эта зависимость не отмечалась, количество аберрантных клеток возрастало во всех вариантах, что является следствием токсического действия соли. Кол-во аберрантных клеток у контрольного варианта увеличилось в 5,6 раза, вариантов облучения 2,5 и 5,0 Гр – в 2,3 и 1,3 раза, соответственно, к уровню пресного фона.

Изменение уровня поврежденности клеток является отражением изменения частоты и спектра аберраций. При обоих режимах прорастания отмечается прямая зависимость между дозой облучения и частотой встречаемости мостов. В то же время частота фрагментов в меристемных клетках при нормальном режиме возрастает с увеличением дозы облучения, а в условиях засоления наоборот падает.

Основным типом структурных мутаций у необлученного варианта при нормальном режиме проращивания были хроматидные мутации – одиночные фрагменты. У облученных вариантов в оптимальных условиях отмечено появление одиночных мостов и двойных фрагментов (соответственно, хроматидных и хромосомных мутаций). В условиях засоления во всех вариантах эксперимента обнаруживались и хроматидные, и хромосомные мутации. Эффект засоления наблюдался в появлении у контрольных растений одиночных мостов и двойных фрагментов, а у облученных растений в снижении доли одиночных мостов по сравнению с растениями аналогичных вариантов облучения при нормальных условиях проращивания и появлении двойных мостов.

В полевых условиях оценено влияние засоления на развитие растений в течение вегетационного сезона. На этапе кущения в нормальных условиях отмечается положительное действие облучения на физиологические параметры: увеличение высоты растений, накопления сухой биомассы, снижение водного дефицита. В условиях засоления в листьях растений возрастает водный дефицит, и наблюдаются различия в ответной реакции необлученных и облученных растений на засоление. Высота и биомасса у необлученного варианта была выше данных контрольного, а у облученных вариантов ниже аналогичных вариантов пресного фона.

Установлено, что листья растений, выросших из облученных семян, характеризуются более высоким содержанием хлорофиллов и каротиноидов. Эта зависимость прослеживается в течение всего вегетационного периода при обоих условиях выращивания. В условиях пресного фона доля хлорофилла в светособирающем комплексе (ССК) облученных вариантов на этапе кущения была ниже (58 %), а на этапе цветения выше (52-55 %) значений необлученного варианта (64 и 49 %, соответственно). При этом доля желтых пигментов, обеспечивающих защиту молекул хлорофилла от деструктивного фотоокисления, на этапе кущения растений возрастала и наоборот сни-

жалась на этапе цветения у облученных вариантов (отношение хлорофилл/каротиноиды).

В условиях засоления содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях было выше значений аналогичных вариантов пресного фона. Предположительно, это связано с генетически-обусловленной устойчивостью ячменя к слабому засолению почвы (которое было до этапа кущения). Являясь пластичной культурой растения ячменя легко приспособляются к засолению почвы. Засоление вызвало снижение доли хлорофилла в ССК и увеличение доли желтых пигментов. Для всех вариантов эти значения были одинаковы (56 % ССК и 3,3 отношение хлорофилл/каротиноиды).

На этапе кущения возрастает концентрация общего белка у растений облученных вариантов по сравнению с необлученными, и у растений, произрастающих в условиях засоления, по отношению к растениям, растущим в нормальных условиях. Увеличение содержания белка в облученных вариантах происходило за счет глиадинов.

Увеличение уровня засоления с этапа кущения и длительность воздействия фактора привели к снижению содержания фотосинтетических пигментов и увеличению доли желтых пигментов на этапе цветения. Отношение хлорофилл/каротиноиды уменьшилось до значений 2,3-2,5. Стресс-фактор оказал угнетающее действие на содержание общего белка в листьях растений. Изменился качественный состав белка. Резко снизилось содержание альбуминов и глютеинов. В условиях пресного фона доля этих белков составила около 15 %, в условиях засоления у необлученного варианта и варианта облучения 2,5 Гр она снизилась до 5,1 и 5,7 %, у варианта облучения 5,0 Гр – до 9,5 % от общего количества белка.

Облучение способствовало увеличению общей продуктивности растений. В условиях пресного фона в большей степени эффект облучения отразился на зерновой продуктивности и качестве зерна и в меньшей на накоплении вегетативной массы. Солевой стресс оказал отрицательное действие на продуктивность растений во всех вариантах. Однако, положительный эффект облучения в этих условиях сохранился по показателям: накопление вегетативной массы и массе зерна.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования показали, что предпосевное γ -облучение семян в дозах 2,5 и 5,0 Гр повышает чувствительность растений к последующему действию стресс-фактора. Засоление при прорастании семян выступают в качестве факторов, модифицирующих повреждающее действие ионизирующего излучения.

При анализе апикальных меристем корня отмечается, что воздействие стресс-фактора на популяцию растений, приводит к торможению прорастания и гибели менее жизнеспособных особей, что соответственно ведет к снижению уровня аберрантных клеток, поврежденности клеток и изменению спектра аббераций в популяции.

В полевых условиях предпосевное облучение семян оказывает стимулирующее действие на рост и развитие растений. Засоление почвы вызывает уменьшение содержания пигментов, активности фотосистем и продуктивности растений. При сочетанном действии факторов наблюдается компенсация их влияния. При этом, засоление хотя и является определяющим фактором угнетения развития растений, эффект положительного действия облучения не компенсируется им полностью.

Литература

1. Гродзинский, Д.М. Радиационное поражение растений в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС / Д.М. Гродзинский, И.Н. Гудков. // Радиационная биология. Радиоэкол. – 2006. – Т. 46, № 2. – С. 189-199.
2. Гусакова, Л.П. Типы дефектов семян ячменя, выявляемые рентгенографическим методом, и их агробιοлогическое значение / Л.П. Гусакова // Доклады Российской академии с/х наук. – 2004. – № 6. – С. 15-17.

3. Строгонов, Б.П. Структура и функции клеток растений при засолении / Б.П. Строгонов. – М.: Наука, 1970. – 318 с.
4. Паушева, З.П. Практикум по цитологии растений / З.П. Паушева– М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.

СОСТОЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В ТКАНЯХ ДИКИХ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ ИЗ ЗОНЫ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Л.Н. Шишкина¹, А.Г. Кудяшева², О.Г. Шевченко², Н.Г. Загорская², А.И. Таскаев²

¹ФГБУН Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва,
shishkina@sky.chph.ras.ru,

²ФГБУН Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар

Вследствие Чернобыльской катастрофы значительные территории Белоруссии, Украины и России оказались в зоне длительного воздействия радиации с низкой мощностью дозы. Это вызывает необходимость разработки моделей и поиска тестов для адекватной оценки биологических последствий воздействия на млекопитающих и человека техногенного радиоактивного загрязнения окружающей среды. Комплексное изучение состояния клеточной регуляции в органах грызунов из природных популяций в зонах аварии на Чернобыльской АЭС с разным уровнем техногенного радиоактивного загрязнения в течение 1986-1993 гг. выявило сложную картину нарушений в системе регуляции перекисного окисления липидов (ПОЛ) и энергетического обмена в тканях [1, 2]. Несмотря на прогнозируемую способность природы к самосохранению и очищению через механизмы глобального перераспределения, обнаружены качественные изменения состояния природных популяций мышевидных грызунов из зоны аварии на ЧАЭС. Формирование качественно новых субпопуляций мышевидных грызунов, длительное время обитающих в разных радиоэкологических условиях, впоследствии было подтверждено и при комплексных исследованиях субпопуляций полевки-экономки, в течение более 70 лет обитающих на участках с повышенным радиационным фоном в Республике Коми [3]. Выбор параметров ПОЛ для анализа биологических последствий воздействия на организм млекопитающих техногенного загрязнения окружающей среды обусловлен как важной ролью процессов ПОЛ в регуляции клеточного метаболизма в норме и при действии ионизирующего излучения в малых дозах [4], так и наличием обратной зависимости интенсивности ПОЛ от дозы облучения и ее мощности, что было многократно показано в экспериментах *in vitro* и *in vivo*.

Анализ экспериментального материала позволил выявить, с одной стороны, высокую чувствительность параметров физико-химической системы регуляции ПОЛ к действию радиоактивного фактора в зоне аварии, с другой, – обнаружить как определенное сходство, так и существенные различия в изменении биофизических и биохимических показателей в тканях зверьков, отловленных в 30-км зоне отчуждения на участках с разным уровнем внешнего γ -излучения в первые 8 лет после аварии и в 2007 г. [1, 2, 5].

Среди однотипных изменений в тканях грызунов из аварийной зоны можно отметить следующие эффекты, которые ранее были обнаружены и в лабораторных исследованиях при остром облучении животных. **Во-первых**, обеднение липидов органов антиоксидантами протекает в соответствии с природной радиорезистентностью вида и радиочувствительностью органа. **Во-вторых**, изменения в составе липидов характери-

зуются возрастанием относительного количества лизоформ и доли более трудноокисляемых фракций фосфолипидов (ФЛ), падением содержания ФЛ в составе общих липидов органов, увеличением свободных жирных кислот в липидах эритроцитов. Необходимо подчеркнуть, что морфологические изменения в печени этих же групп мышевидных грызунов [6-8] аналогичны наиболее распространенным типам поврежденных гепатоцитов при внутреннем и внешнем облучении лабораторных животных [9]. Это находится в соответствии и с данными о постоянном снижении вклада в суммарную поглощенную дозу внешнего β - и γ -излучения на фоне увеличения дозы от инкорпорированных радионуклидов [1].

При длительном воздействии радиации с низкой мощностью дозы выявлены и особенности изменения параметров системы регуляции ПОЛ в органах зверьков из аварийной зоны относительно аналогичных показателей в тканях животных, как обитающих на территориях с нормальным радиационным фоном, так и при облучении лабораторных грызунов в сублетальных и минимально летальных дозах. Наиболее важными, по нашему мнению, являются следующие. **Во-первых**, во многих случаях обнаружено изменение порядка расположения органов по величинам антиокислительной активности (АОА) липидов по сравнению с аналогичными последовательностями у грызунов с контрольных участков. **Во-вторых**, выявленные существенные изменения количественного соотношения не только минорных, но и основных фракций ФЛ органов, кинетических характеристик и степени ненасыщенности липидов обуславливают появление нестандартных кинетических кривых окисления метилолеата в присутствии липидов, выделенных из органов грызунов из аварийной зоны. При этом, относительное количество необычных кривых окисления увеличивается спустя 5–7 лет после аварии. **В-третьих**, обнаружена полимодальная зависимость «биологический эффект – доза», т.е. отсутствие монотонности падения уровня АОА липидов и масштаба изменения показателей липидного обмена с увеличением мощности дозы внешнего γ -излучения на участках отлова грызунов. **В-четвертых**, масштаб изменения биохимических показателей в органах грызунов из зоны отчуждения ЧАЭС сопоставим и даже превосходит масштаб изменения этих же параметров в исследованиях на лабораторных животных при облучении их в сублетальных и летальных дозах. **В-пятых**, обнаружена высокая гетерогенность кинетических характеристик и состава липидов, наиболее выраженная в первых год после аварии в тканях грызунов, отловленных на участке со средним уровнем радиоактивного загрязнения.

Разная чувствительность параметров системы регуляции ПОЛ тканей грызунов к радиоактивному загрязнению среды их обитания и неодинаковая способность к нормализации антиоксидантного статуса, сохраняющиеся в течение длительного времени после аварии, вызывают изменение масштаба и характера взаимосвязей между скоординированными в норме показателями данной системы регуляции, обуславливая переход ее функционирования на другой уровень. Так, несмотря на некоторую нормализацию состава ФЛ печени полевых мышей, отловленных в 2007 г. в 30-км зоне аварии на ЧАЭС на участках со средним и высоким уровнем радиоактивного загрязнения, нарушения взаимосвязей между способностью липидов к окислению и структурным состоянием мембранной системы печени этих зверьков выявлены и спустя 21 год после аварии. Это позволяет предложить изменение взаимосвязей между параметрами физико-химической системы регуляции ПОЛ в тканях грызунов, обитающих в условиях техногенного загрязнения, в качестве комплексных тестов для прогнозирования биологических последствий воздействия радиационного фактора на млекопитающих. Переход системы регуляции ПОЛ на другой уровень функционирования, возможно, является информационным сигналом, определяющим выбор стратегии адаптации организма к хроническому действию радиационного фактора.

Литература

1. Кудяшева А.Г., Шишкина Л.Н., Загорская Н.Г., Таскаев А.И. Биохимические механизмы радиационного поражения природных популяций мышевидных грызунов. СПб.: Наука, 1997. – 156.
2. Шишкина Л.Н. Регуляция окислительных процессов в тканях мышевидных грызунов, отловленных в зоне аварии на ЧАЭС / Л.Н. Шишкина, А.Г. Кудяшева, Н.Г. Загорская, А.И. Таскаев // Радиационная биология. Радиационная экология. – 2006. – Т. 46, № 2. – С. 216-232.
3. Biological consequences of increased radiation background for *Microtus oeconomus* Pall. populations / A.G. Kudyasheva, L.N. Shishkina, O.G. Shevchenko, L.A. Bashlykova, N.G. Zagorskaya // J. Environ. Radioactivity. – 2007. – Vol. 97. – P. 30-41.
4. Шишкина Л.Н. Новые подходы к оценке биологических последствий воздействия радиации в малых дозах / Л.Н. Шишкина, Е.В. Кушнирева, М.А. Смотряева // Радиационная биология. Радиационная экология. – 2004. – Т. 44, № 3. – С. 289-295.
5. Adaptation to Radioactive Contamination of of the Chernobyl NPP Zone / L.N. Shishkina, A.G. Kudyasheva, N.G. Zagorskaya, O.G. Shevchenko, A.I. Taskaev // The Lessons of Chernobyl: 25 Years Later / Eds. Elena B. Burlakova, Valeria Naidich. New York: Nova Science Publishers. – 2012. – P. 187-208 (Chapter 15).
6. Шишкина Л.Н. Структурно-функциональные нарушения в печени диких грызунов из районов аварии на Чернобыльской АЭС / Л.Н. Шишкина, Л.Д. Материй, А.Г. Кудяшева, Н.Г. Загорская, А.И. Таскаев // Радиационная биология. Радиационная экология. – 1992. – Т. 32, № 1. – С. 19-29.
7. Атлас патоморфологических изменений у полевок-экономок из очагов локального радиоактивного загрязнения / К.И. Маслова, Л.Д. Материй, О.В. Ермакова, А.И. Таскаев // СПб.: Наука. – 1994. – 192 с.
8. Морфофункциональная оценка состояния организма мелких млекопитающих в радиационно-экологических исследованиях (на примере полевки-экономки) / Л.Д. Материй, О.В. Ермакова, А.И. Таскаев // Сыктывкар. – 2003. – 164 с.
9. Москалев Ю.И. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов // М.: Энергоатомиздат. – 1989. – 264 с.

ГЕЛЬМИНТОЗЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В ХОЗЯЙСТВАХ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

А.И. Ятусевич, Р.Н. Протасовицкая

УО «Витебская государственная академия ветеринарной медицины», Витебск, Беларусь, uovgavm@vitebsk.by

Введение. Физико-географические особенности Полесья характеризуют его как регион, в котором создалась уникальная экономическая и экологическая ситуация – биоценозы, характерные для южной растительной подзоны Беларуси. Поэтому территория белорусского Полесья представляет большой интерес для оценки паразитологической обстановки. Несмотря на многочисленные исследования в Республике Беларусь паразитологическая ситуация в хозяйствах на территории этого региона остается напряженной.

На территориях белорусского Полесья, загрязненных радионуклидами, отмечается обострение эпизоотологической проблемы, обусловленной нарушением отношений в системе паразит-хозяин. В зоне радиоактивного загрязнения показатели неспецифиче-

ской резистентности ниже в сравнении с животными чистой зоны [1, 2, 3, 4], что приводит к увеличению интенсивности и экстенсивности инвазии паразитов.

Взаимоотношения в системе паразит-хозяин в радиационных биоценозах на иммунологическом, биохимическом уровнях отличаются от таковых в чистых биоценозах. Заражение паразитами во многих случаях усиливает негативное влияние облучения на хозяина, ионизирующая радиация значительно влияет на механизмы взаимоотношения паразит-хозяин на биохимическом и иммунологическом уровнях. Изменения в паразитарных системах зависят от уровня радиоактивного загрязнения, и одна из основных паразитологических характеристик радиационных биоценозов – высокая зараженность млекопитающих нематодами-геогельминтами [6]. Радиационное излучение, поражающее все жизненно важные клеточные и тканевые системы живого организма, оказывает разрушающее действие и на иммунную систему, затрагивая при этом факторы как специфического, так и неспецифического иммунитета.

Ионизирующее излучение приводит к нарушению гомеостаза макроорганизма, увеличивает интенсивность тканевого дыхания, изменяет функции и целостность мембран клеток, нарушает ферментный и гормональный баланс, подавляет защитные функции иммунной системы, что ведет к количественному и видовому увеличению состава паразитоценозов [4, 5, 6,7].

Поэтому задача ваших исследований – изучить гельминтофауну крупного рогатого скота белорусского Полесья на территориях с разным уровнем радиоактивности.

Методы исследований. Выборочно проводили систематические по сезонам года гельминтокопроскопические обследования в отдельно взятых хозяйствах с уровнем загрязнения цезием-137: I – 185-555 кБк/м (5-15 Ку/км²) – Брагинского, Хойникского районов; II – 37-185 кБк/м² (1-5 Ку/км²) – Речицкого, Калинковичского, Столинского, Лунинецкого районов; III – 0-37 кБк/м (0-1 Ку/км²) – Светлогорского, Петриковского районов – контроль.

Всего обследовано животных (I – n = 1506; II – n = 1565; III – n = 987) разных возрастных групп, в том числе до двух лет (I – n = 598; II – n = 612; III – n = 380), обычно наиболее сильно пораженных гельминтами.

Результаты исследований показали, что в хозяйствах Хойникского, Брагинского районов с высоким уровнем радиоактивного загрязнения инвазированность животных основными гельминтозами выше на 12,65 %, чем в хозяйствах Светлогорского и Петриковского районов. Экстенсивность инвазии гельминтозами достигает в хозяйствах с уровнем загрязнения цезием-137:

I – 185-555 кБк/м² (5-15 Ку/км²) – 53,78±6,12%, P<0,05;

II – 37-185 кБк/м² (1-5 Ку/км²) – 50,99±3,46%, P<0,05;

III – 0-37 кБк/м² (0-1 Ку/км²) – 43,13±4,34%, P<0,05.

С увеличением уровня загрязнения территории радионуклидами увеличивается зараженность животных гельминтозами.

Увеличение экстенсивности инвазии гельминтами прослеживается с возрастом животных. Наиболее подвержены инвазии животные старших возрастных групп: у коров экстенсивность инвазии – 42,39 %, нетелей – 30,68 %. У животных до полутора лет показатели ниже: у молодняка крупного рогатого скота экстенсивность инвазии – 23,17 %, а у телят в возрасте до 6 месяцев – 3,75 %.

Проанализировав результаты собственных гельминтокопроскопических исследований, определили среднюю зараженность по отдельно взятым гельминтозам крупного рогатого скота в хозяйствах с разным уровнем радиоактивного загрязнения (таблица 1).

С повышением уровня радиоактивного загрязнения территории увеличиваются и показатели инвазированности животных отдельными гельминтами: трематодозы (фасциолез, парамфистоматоз) в хозяйствах Брагинского, Хойникского районов встречаются на 5,68% и 5,22% (P<0,05) чаще, чем в хозяйствах Светлогорского и Петриковского районов.

Стронгилятами желудочно-кишечного тракта животные также инвазированы на 6,51% ($P<0,05$) больше в данных хозяйствах, чем в хозяйствах Светлогорского и Петриковского районов. Такая же зависимость прослеживается при диктиокаулезе, показатели зараженности на 6,35% ($P<0,05$) выше, чем на чистой территории, при телязиозе на 6,11% ($P<0,05$).

Таблица 1 – Экстенсивность гельминтозов крупного рогатого скота в хозяйствах с разным уровнем радиоактивного загрязнения

Гельминтозы крупного рогатого скота	Уровень радиоактивного загрязнения								
	185-555 кБк/м ² (5-15 Ку/км ²)			37-185 кБк/м ² (1-5 Ку/км ²)			0-37 кБк/м ² (0-1 Ку/км ²)		
	Обследовано голов	Инвазировано голов	ЭИ, %	Обследовано голов	Инвазировано голов	ЭИ, %	Обследовано голов	Инвазировано голов	ЭИ, %
Фасциолез	1159	462	39,86*	1190	444	37,31	822	281	34,18
Парамфистоматоз	1179	285	24,17*	1104	234	21,19	844	160	18,95
Стронгилятозы желудочно-кишечного тракта	1498	765	51,07*	1422	660	46,41	882	393	44,56
Диктиокаулез	1498	765	51,07*	1422	660	46,41	882	393	44,56
Телязиоз	986	242	24,54*	1158	238	20,55	727	134	18,43

Примечание. Достоверность: * – $P<0,05$.

На территориях Речицкого, Калинковичского, Столинского, Лунинецкого районов, где уровень радиоактивного загрязнения составляет от 1 до 5 Ку/км², заражение по отдельным взятым гельминтам также выше по сравнению со Светлогорским и Петриковским районами, но данные показатели статистически не достоверны.

Во время проводимых исследований определяли одновременно интенсивность выделения яиц, личинок гельминтов в 1 г фекалий. Данные показатели представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Интенсивность выделения яиц или личинок гельминтов

Гельминтозы крупного рогатого скота	Уровень радиоактивного загрязнения		
	185-555 кБк/м ² (5-15 Ку/км ²) ИИ, %	37-185 кБк/м ² (1-5 Ку/км ²) ИИ, %	0-37 кБк/м ² (0-1 Ку/км ²) ИИ, %
Фасциолез	99,75±2,96*	93,53±1,85	88,98±2,36
Парамфистоматоз	46,10±1,39*	45,64±2,37	38,36±1,78
Стронгилятозы желудочно-кишечного тракта	140,94±2,07*	132,48±3,79*	126,30±3,54
Диктиокаулез	60,68±1,94*	56,62±2,01	53,53±1,88

Примечание. Достоверность: * – $P<0,05$

Показатели интенсивности выделения яиц и личинок гельминтами крупного рогатого скота, находящегося на территориях с различным уровнем радиоактивного загрязнения, увеличиваются с ростом уровня загрязнения. Увеличение выделения количества яиц и личинок гельминтов в хозяйствах Речицкого, Калинковичского, Столинского, Лунинецкого районов статистически не достоверное.

Достоверное увеличение интенсивности выделения яиц (личинок) было определено в хозяйствах Брагинского и Хойникского районов. При стронгилятозах пищеварительного канала показатели интенсивности выделения яиц в 1,12 раза ($P < 0,05$) выше, чем на чистой территории, при фасциолезе – в 1,12 раза ($P < 0,05$), при парамфистоматозе – в 1,20 раза ($P < 0,05$), При диктиокаулезе среднее количество выделения личинок в 1 г фекалий в хозяйствах с уровнем загрязнения 5-15 Ки/км² в 1,13 раз ($P < 0,05$) выше, чем в хозяйствах Светлогорского и Петриковского районов.

Чем выше уровень загрязнения территории, тем больше происходит выделение яиц (личинок) гельминтов. Предполагаем, что половая активность гельминтов определяется стрессами, снижением иммунитета животного в результате радиоактивного воздействия на организм хозяина.

Выводы. В хозяйствах с уровнем радиоактивного загрязнения 185-555 кБк/м (5 – 15 Ки/км²) показатели зараженности по отдельным гельминтозам крупного рогатого скота выше ($P < 0,05$) в сравнении с хозяйствами, находящимися на чистой территории.

Увеличение паразитарной нагрузки на популяции хозяина возрастает не только за счет увеличения количества зараженных животных (экстенсивность инвазии), но во многом за счет увеличения интенсивности инвазии. Это, видимо, связано с ослаблением иммунной системы хозяина, что приводит к увеличению приживаемости паразитов в его организме. За счет ослабления иммунитета идет возрастание инвазии животных гельминтами или данный уровень радиации непосредственно стимулирует рост паразитов.

Литература

1. Бычкова, Е. Л. Особенности формирования взаимоотношений паразитов и хозяев в условиях антропогенной нагрузки на экосистемы / Е. И. Бычкова // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. біялагічных навук. / – 2003. – № 2. – С. 85-88.

2. Васильев, А. В. Особенности патогенеза заболеваний крупного рогатого скота в хозяйствах с антропогенным загрязнением окружающей природной среды и меры по их профилактике : автореф. дис. д-ра. вет. наук : 03.00.19 / А. В. Васильев ; Ивановская государственная сельскохозяйственная академия. – Иваново, 2002. – 22 с.

3. Довгий, Ю. Ю. Динамика интенсивности инвазии и показатели естественной резистентности крупного рогатого скота под действием ионизирующей радиации / Ю. Ю. Довгий, В. В. Бреславец, С. Т. Деркач // Материалы учредительной конференции международной ассоциации паразитологов, г. Витебск, 23-24 сентября 1999 г. / Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск, 1999. – С. 83-84.

4. Исамов, Н. Н. Радиобиологические эффекты при инвазии и инфекции у животных / Н. Н. Исамов, Т. С. Шевченко, И. В. Елисеева // IV съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность) : тезисы докладов, Москва, 20-24 ноября 2001 г. – Москва, 2001. – Т. 2. – С. 646.

5. Липницкий, С. С. Зараженность крупного рогатого скота гельминтами в зоне радиационного загрязнения / С. С. Липницкий // Зооантропонозные болезни, меры профилактики и борьбы : материалы Международной научно-практической конференции, г. Гродно, (23-24 октября 1997 г.). / Гродненский сельскохозяйственный институт. – Гродно, 1997. – С. 169.

6. Пельгунов, А. Н. Паразиты и паразитарные системы в радиационных биоценозах. Зона аварии Чернобыльской АЭС / А. Н. Пельгунов ; ред. С. О. Мовсесян ; Институт паразитологии. – Москва : Наука, – 2005. – 207 с.

Цитогенетическое изучение радиоадаптивного ответа и его модификация в клетках костного мозга мышей / И. Б. Моссэ, В. П. Молофей, С. И. Плотников, Л. Н. Кострова // Международная конференция «Проблемы радиационной генетики на рубеже веков» : тезисы докладов, Москва, 20-24 ноября 2000 г. – Москва: Издательство Российского университета дружбы народов, – 2000. – С. 151.

ABSTRACTS

MAIN RESULTS OF OPERATIONS THE INSTITUTE OF RADIOBIOLOGY OF NAS OF BELARUS IN THE FIELD MINIMIZE THE CONSEQUENCES OF DISASTER CHERNOBYL

I.A. Cheshik, N.I. Tsimokhina, V.L. Fiadosenka, A.N. Nikitin, S.N.Sushko, G.A.Gorokh

Institute of radiobiology of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, irb.basnet.by

Abstract. For scientific solutions the problems related to the liquidation of the Chernobyl accident in 1987, in accordance with the decision of the USSR Council of Ministers, and by the decision of the BSSR Council of Ministers, Institute of Radiobiology of the Academy of Sciences of the BSSR (now the State scientific institution "Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus") was created and approved by the head organization in Belarus to address the scientific problems related to the liquidation of the consequences of the accident at the Chernobyl NPP.

The Institute activity was focused on the following main scientific directions: research mechanism of biological effect of small doses of ionizing radiation, and impact of current radiation conditions on the organisms; research on regularities of radionuclides behaviour in ecosystems, their incorporation in trophic chains, accumulation in human body and radiation exposure dose designating; development of methods to reduce the damaging effect of radiation.

The ultimate goal of all research conducted at the Institute of Radiobiology is the practical use of the results. As a result of this work, some drugs with radioprotective and radiotherapeutic effect was identified. Compositions and food processing technologies with protective properties have been developed for scientific and industrial associations of the republic. The 50 kinds of products, which were produced by the food industry, were designed. Results of the institute activity are protected by more than 40 patents for inventions and trademarks; the 19 new measurement procedures were developed.

Bureau of the Presidium of the National Academy of Sciences decide to create at the Institute of Radiobiology the International Research Center of minimizing the radiation risks. During the years of research to solve the problems of consequences of the Chernobyl disaster, Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus refined methods for assessing and forecasting the radiation situation and its impact on living organisms; reconstructed the initial disaster pollution environment by the short-lived radionuclides, which allows to get a more objective approach to the evaluation of "dose – effect" and to forecast the effects of health care; It carried out a comprehensive assessment of the dynamics of radionuclides migration and modes of occurrence of "Chernobyl" isotopes in water, air and soil, the major factors influencing the characteristics of their transition in the chain "soil – plants – animals – man" and made a forecast, which showed an increase in the relative role of the transuranic elements, especially in the formation of ^{241}Am radiation exposure; The influence of ionizing radiation in different vines in the nearest and remote terms at the most important functions of body systems (cardiovascular, reproductive and other); The influence of the initial functional state of the endocrine glands in the body and radiosensitivity postradiation changes to it; It proposed a number of tools that reduce postradiation changes in the body and the accumulation of radionuclides in it.

THE FISH FAUNA BIOINDICATION OF RADIOACTIVE CONTAMINATION IN ZAPOROZHIAN RESERVOIR (DNEPROPETROVSK REGION, UKRAINE)

T.V. Ananieva, O.N. Marenkov, Z.V. Shapovalenko

*Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine
hydro-dnu@mail.ru*

Abstract. The Zaporozhian Reservoir is experiencing with significant risk of radiation contamination from the enterprises of primary nuclear cycle, as well as tailings near Dneprodzerzhinsk, that pose a threat of leakage of radioactive waste accumulated after the processing of uranium ore. The ecosystem of the reservoir has been exposed to radiation during the Chernobyl accident in 1986, a cascade of the Dnieper reservoirs has been contaminated with artificial radionuclides of uranium series – ^{90}Sr , ^{137}Cs and other. The long-lived radionuclides create radiobiological danger in a closed ecosystem of the reservoir and can accumulate in aquatic organisms to date.

Zaporozhian Reservoir is the main supplier of fish for the population of Dnipropetrovsk region, so radioecological expertise has paramount importance to ensure public safety. The main fisheries based on species of carp fish.

To optimize the radiological monitoring of the fish fauna we detected the indicator species fishing in the Zaporozhian Reservoir. Analysis of the integral indicator for selecting of fish-indicators was based on the biological and ecological characteristics of fish species, such as the accumulation coefficient (K_n) of radionuclides, the coefficient of trophic group (K_t), the frequency of fish occurrence (K_v), migration coefficient (K_m), the coefficient of commercial importance (K_p).

The research resulted in highlighting of five key fish species, which were the most revealing ones to be used in monitoring due to their biological and ecological characteristics. They were: silver carp, roach, perch, carp, bleak. These fish types are samples of three main trophic groups (predators, benthophages, and planktophages) and can be recommended as indicator species.

THE LOCATION OF ZOONOTIC HELMINTHIASES IN THE POLESSKY STATE RADIO-ECOLOGICHESKYRESERVE

E.I. Anisimova, I.S. Yurchenko

¹*The State Research-Production Association "The Scientifically-Practical Centre of the National Academy of Sciences of Belarus for bio-resources, Minsk, anis-zoo@yandex.ru*

²*Polesie State Radiation Ecological Reserve, Khoiniki, Belarus*

Abstract. The Polesky state radio-ecologychesky Reserve territory is unique. The complex of new conditions effects on the different taxonomic groups of animals. Trichinosis and opistorhoz are zoonothronotic helminthiases of natural location origin. A great species diversity of carnivorous mammals and their high quantity due to removal of human economic activity suggests the existence of natural loci of these helminth infections.

29 wolves, 159 raccoon dogs, 17 foxes, 1 lynx, 1 European polecat, weasel 2, 101 wild boars and 807 individuals of the shellfishwere examined. The highinfection rate of wild predators is detected. The largest infestation was found in raccoon dog – 42.8%. Infestation of wolves and foxes were not significantly different ($G=1.89$, $p> = 0.02$). Now the locus of

trichinellosis infection is formed by all three species. infestation dynamics is different among them. 4.0% of wild boar are infected. 62.7% of molluscs *Bythinia leachi* contamination of larval stage. *Opistorhynchus* was revealed in 4.8-7.1% of wolves; 9.7% of foxes and 7.4% of raccoon dogs.

All of these can affect the parasitological situation in wildlife populations bordering the reserve areas, which suggests certain measures to optimize the number of animals (wolf, raccoon dog, wild boar, and other). Monitoring of the situation and optimization the quantity of predators are needed.

CYTOGENETIC ANALYSIS OF *CHIRONOMUS CURABILIS* BELYANINA, SIGAREVA, LOGINOVA, 1990 (CHIRONOMIDAE, DIPTERA) FROM NOVOZYBKOVSKY AND KLINTSOVSKY DISTRICTS OF BRYANSK OBLAST

S.I. Belyanina

*Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, Russia,
microtus43@mail.ru*

Abstract. The giant chromosomes from the salivary gland cells of the larvae of *Chironomus curabilis* were studied. The larvae were obtained from two water reservoirs of Bryansk oblast, affected by Chernobyl disaster – river Iput near Novozybkov city and shoal canal of irrigative system near village Ushcherpie of Klintsovsky district. The picture of disks structure in the chromosomes of the larvae from the studied populations vary from relative clear till friable. Besides, the level of disks' compactization may be different in the cells of same salivary gland. The chromosome IV (G arm) of big number of larvae is deformed. The tissue-specific genes – nucleolus and Balbiani rings of majority of larvae are non-active.

The level of heterozygosity by paracentric inversions is high – 1,57 per individual in the population from river Iput and 1,47 in the water reservoir near village Ushcherpie (in comparison with populations of Volga river and ponds near Saratov – 0,40). The telomeric fusions of the long chromosomes' arms are observed. The small structural changes as deletions in the studied populations rather often are found. The triploid larvae (3n) are observed. The individual with polytenization cycle disorder resulted in mosaicism by the level of chromosomal polyteny in the cells of the same salivary gland in the Iput river was found.

The cytogenetic analysis of two populations of *Chironomus curabilis* from the water reservoirs of the Bryansk oblast is evidence of chromosomal apparatus instability of this species in the existing environmental conditions.

HEMATOPOIETIC PROGENITOR CELLS IN ACUTE AND REMOTE PERIOD AFTER CHERNOBYL ACCIDENT

N.M. Bilko, I.Z. Russu, D.I. Bilko, G.V. Budash

National University "Kyiv Mohyla academy", Kyiv, Ukraine

Abstract. Current investigation concerns the analysis of morphological and functional characteristics of the hematopoietic progenitor cells of the patients exposed to ionizing radiation in the acute and remote period after the Chernobyl accident.

The conception of initial affecting of hematopoietic progenitor cells as the nearest progeny of stem cells was proposed. It was shown that bone marrow progenitor cells are more sensitive to ionizing radiation than the hematopoietic stem cells.

Due to the complex morphological and functional assessment of hematopoiesis in the patients exposed to ionizing radiation in the range of different doses in the early and distant period after the Chernobyl accident the most informative criteria were found. Informative markers obtained as a result of the performed investigations regard the differences in colony-forming efficiency of bone marrow, its proliferative activity and the differentiation of the cells in clones, as well as the level of circulating progenitor cells in the peripheral blood. The analysis of experimental data allows associating the emerging of circulating progenitor cells in peripheral blood, as well as eosinophilic lineage of cell differentiation in bone marrow culture, with the influence of ionizing radiation.

Using these criteria along with clinical and laboratory parameters allows revealing deep alterations of hematopoiesis, which cannot be determined with standard methods, and forming risk groups of oncohematological pathology.

MOBILE AND *IN SITU* GAMMA-SPECTROMETER MEASUREMENTS IN BELARUSIAN EXCLUSION ZONE OF CHERNOBYL NPP

Yu.I. Bondar, V.N. Zabrotski, V.I. Sadchikov, V.N. Kalinin

Polessie State Radiation-Ecological Reserve, Khoyniki, Belarus, bondar48@mail.ru

Abstract. The results of mobile and *in situ* measurements fulfilled on the territory of exclusion zone by teams from Scandinavian countries are discussed. The short survey of equipment, detectors and computer models used by teams is given. The objectives and tasks of the projects MOBELRAD and GAMFAC are presented as well as preliminary work executed by the collaborators of the Polessie State Radiation-Ecological Reserve. It included: development of the route of movement of the vehicles in MOBELRAD project; choosing of six test sites with different level of ^{137}Cs and ^{241}Am content in soil in GAMFAC project; soil sampling and their gamma-spectrometry measurements to determine the density contamination of the territory and depth distribution of the radionuclides in different soil types. The results of dose rate measurements and density contamination determinations fulfilled by different mobile teams showed good coincidence with data presented by the reserve. The results of *in situ* measurements fulfilled by different teams were very close to each other. These results were also close to the data received by the collaborators of the reserve. The use of common sites for the making of measurements by the teams facilitated intercomparison of methods and equipment while the availability of detailed laboratory measurements allowed for optimal adjustment of equipment and computer models. It should be noted that in treating the results of *in situ* measurements the Swedish and Scotland teams did not use the preliminary data of the reserve about depth distribution of the ^{137}Cs but used their own models. Nevertheless they received good correspondence to laboratory data. The results of the projects have shown that methods of mobile and *in situ* measurements could be useful in forestry activity of radiation-ecological reserve.

WAYS AND MEANS OF IMPROVING THE ORGANISM RADIORESISTANCE IN DISASTER FIGHTERS AFTER LARGE-SCALE RADIATION ACCIDENTS

V.N. Bortnovsky

Gomel State Medical University, Gomel, Belarus, kafog2@mail.ru

Abstract. Over the past half a century of the development of radiation medicine numerous physical, biological, and pharmacological means that can substantially reduce the effect of ionizing radiation have been developed. The efficiency of anti-radiation measures can be improved if they are combined and include the method of forming and maintaining long-term radioresistant status of individuals liable to sudden overexposure.

Riboxinum has been found to be the most effective among the most promising means for application in the normalized overexposure. The latter has the ability to reduce the yield of chromosome aberrations. It has been proved that the drug if taken as a course in the conditions of prolonged fractionated irradiation at a total dose of about 0.25 Gy has a beneficial effect on the state of the hematopoietic system and the level of non-specific resistance of the organism.

The usefulness of Riboxinum as a means of enhancing the radioresistance of the organism is determined by a lower risk of long-term aftereffects by reducing the mutagenic effect of radiation. Since on the whole the similar properties are typical for the class of adaptogens in varying degrees, the application of such agents (extracts of *Eleutherococcus*, *Leuzea carthamoides*, multivitamins, natural nutritional additives) in the conditions of low-intensive radiation effects can be considered as reasonable. Taking into account that the suppression of cellular and humoral links of non-specific resistance is found in the majority of the surveyed population living in the conditions of radiationally destabilized environment, immune modulators can be successfully used for immune resistance correction.

It should be admitted that further search of ways and means which could make it possible to increase the radioresistance of human organism in different periods of elimination of large-scale radiation accident consequences is needed.

THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE ACCUMULATION OF ¹³⁷Cs BY MUSHROOMS ON RADIONUCLIDES CONTAMINATED AREAS OF WOODLAND IN MOGILEV REGION

N.I. Bulko¹, A.K. Kozlov¹, M.A. Shabaleva², N.V. Tolkacheva¹, N.V. Mitin³

¹*Forest Institute of the National Academy of Sciences», Gomel, Belarus, formelior@tut.by*

²*Gomel State Medical University», Gomel, Belarus*

³*Gomel State University», Gomel, Belarus*

Abstract. Currently, wild mushrooms and berries are making the main contribution in the formation of internal exposure doses of the population. The probability of excess content of ¹³⁷Cs in forest food production is quite high on the soils with contamination densities, allowed to collect. Preventing the collection of deliberately dirty fungi can be achieved with a knowledge of the factors affecting the processes of radionuclide accumulation by mushrooms.

The effect of various factors, including radiological, silvicultural, weather, on the uptake of ¹³⁷Cs by the forest mushrooms on the territory of the woodland of Mogilev region was studied. In the last four years, at a density of soil contamination by ¹³⁷Cs 0.3-2 Ku / km²

(11,1-74 kBq / m²) radionuclide contamination of 46.4% of fungi fruiting bodies is more than 370 Bq / kg. In this case, correlation between ¹³⁷Cs accumulation in mushrooms and the soil contamination density in places of the gathering, was moderate ($r \leq 0,5-0,6$) with significance $p < 0,01$.

A more significant impact on the flow of ¹³⁷Cs in mushrooms have silvicultural factors – the type of wood, site type, species composition. A pooled analysis by the criterion of Kruskal-Wallis test showed that for the majority of studied fungi species there is a statistically significant ($p < 0,05$) effect of these factors on the rate of radionuclide accumulation.

Significant fluctuations of the ¹³⁷Cs accumulation in the mushrooms at the same silvicultural conditions, noted in the period of 2010-2014, show that meteorological factors significantly effect on the processes of radionuclide uptake. For fungi with enough representative sample in the database directly proportional relation (*Cantharellus cibarius*) and inversely proportional relation (*Boletus edulis*) with the hydrothermal coefficient ($r \leq 0,89$) were shown, as well as the amount of precipitation (*Boletus edulis*, *Leccinum scabrum*, *Suillus*) and average temperature of the month (*Boletus edulis*).

RESPONSE OF RATS TESTES TO PROLONGED IRRADIATION IN TOTAL DOSES MODELING RADIATION DOSES AT PERSONS PARTICIPATED IN LIQUIDATION OF THE CHERNOBYL ACCIDENT CONSEQUENCES

G.G. Vereschako¹, A.M. Khodosovsaya², I.V. Rolevitch³

¹*Institute of Radiobiology of NA of Sciences of Belarus, Gomel, vereschako2@tut.by*

²*Belarusian State University, Minsk*

³*Belarusian National Technical State University, Minsk*

Abstract. It was studied the effects of prolonged exposure in total doses modeling radiation doses at persons participated in liquidation of the Chernobyl accident consequences (0.25 and 0.5 Gy, gamma-ray source of ¹³⁷Cs, dose rate of 3.03 sGy/day). The weight of the reproductive system organs, quantitative composition of populations of spermatogenic cells and some biochemical parameters (RNA, DNA, conjugated dienes and trienes content and LDH activity) in rat testis were determined.

It was found that the reaction of the reproductive system to irradiation in a total dose of 0.25 Gy was contained in reduction of relative mass of its additional bodies, i.e. seminal vesicles and the prostate glands, decrease of the amount of the cells of initial stage of spermatogenesis (spermatogonia and spermatocytes), as well as increase of the overall level of protein and conjugated trienes. At irradiation in higher dose of 0.5 Gy reduced relative weight of seminal vesicles of male rats and the fall of the amount of the spermatogenic cells of various stages of differentiation, with the exception of spermatids, were retained, at the same time increase of DNA content in the tissue of seminiferous epithelium was observed while the level of the total protein and LDH activity was lowered. The revealed changes of morpho-functional state of the reproductive system demonstrate that prolonged exposure with low dose rate of 3.03 sGy/day is capable to produce moderate deviations of the studied parameters by reaching the total doses of 0.25 and 0.5 Gy. At extrapolation of the data it is necessary to consider a higher sensitivity to radiation of male reproductive system.

¹³⁷Cs AND ⁹⁰Sr ACCUMULATION IN THE REGROWTH AND UNDERGROWTH OF THE UPLAND PINE FORESTS OF POLESYE STATE RADIATION-ECOLOGICAL RESERVE

D.K. Garbaruk, M. V. Kudin, A.V. Uhlianets

Polesye State Radiation-Ecological Reserve, Khoyniki, Belarus, dima.garbaruk.77@mail.ru

Abstract. Most common tree species in the dominating upland heather, mossy, and bilberry pine forests of Polesye State Radiation-Ecological Reserve (hereinafter – reserve) are oak, hazel, and mountain ash. Since 1986 to 1993 an increase in ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr uptake value by the species' foliage was registered, and by 1997 ¹³⁷Cs content dropped to some extent. The differences in the radionuclide uptake by plants depend on their species-specific accumulation.

In 2014 the upper soil layer sampling was carried out in three forest plantings of each forest type, as well oak, buckthorn, and mountain ash wood root and foliage samples were taken. ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr specific activity in the samples was measured with MKC-AT1315.

In the course of studies it was established that 28 years post Chernobyl NPP disaster ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr accumulation in different plant parts of regrowth and undergrowth in the reserve upland pine forests is defined by the plants species specifics, and, to a lesser extent, by its growing site, and varies by forest type.

There's a common tendency to increase the transition coefficient of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr from wood into roots traced with background regrowth and undergrowth types. No distinct coefficient change direction between regrowth and undergrowth roots and foliage was educed.

With soil moistening increase there's a tendency to growth of ¹³⁷Cs transition coefficient into regrowth and undergrowth types. Regardless of the growing site, ¹³⁷Cs transition coefficients into organs and tissues drops for the sequence oak > mountain ash > buckthorn.

It is also traced that ⁹⁰Sr accumulation in regrowth and undergrowth wood and roots raises in drier soil conditions. With soil moistening increase ⁹⁰Sr transition coefficient into foliage grows. In all forest types mountain ash wood accumulates less ⁹⁰Sr, and foliage – more than same components of other species.

CF ⁹⁰Sr migration into plants organs and tissues of regrowth and undergrowth is in average a sequence higher than CF ¹³⁷Cs.

ASPECTS OF RADIONUCLIDES UPTAKE IN THE DOMINATING PLANT SPECIES OF THE CHERNOBYL NPP EXCLUSION ZONE

V.V. Goloveshkin

*State Nature Protective Scientific Research Establishment
“Polesye State Radiation-Ecological Reserve”, Khoyniki, Belarus,
goloveshkin.victor@yandex.ru*

Abstract. Major objective of this study was to define radioactive pollution levels in the soil and plants at continuous observation points, and to study the aspects of radionuclides uptake (¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am) in the plants at continuous observation points. As a result of the conducted research it was established that the experimental fields soil contamination density amounts to: ¹³⁷Cs – 1518 – 8483 kBq/m² (41,0 – 229,3 Ci/km²), ⁹⁰Sr – 207 – 2367 kBq/m² (5,6 – 64,0 Ci/km²), ²⁴¹Am – 27- 146 kBq/m² (0,73 – 3,94 Ci/km²) respectively.

Plants specific activity value is 529 – 97335 Bq/kg for ^{137}Cs , 3316 – 22312 Bq/kg for ^{90}Sr , and 3,5 – 226,0 for ^{241}Am .

Radionuclides transition coefficient from soil into plant cover is to a large extent determined by the plants biological features and habitat conditions type. Largest amount of ^{137}Cs uptake from soil into plant is registered in *cladonia rangiferina* and bladder sedge (CF ^{137}Cs – 36,4 and 20,5). This is determined by the plant species' biological and physiological features. For instance, epiphytic consortiums are known to accumulate more ^{90}Sr when surface consortiums accumulate more ^{137}Cs . It is also known that cyperaceae plants tend to uptake more ^{137}Cs than ^{90}Sr .

^{90}Sr transition parameters rate was higher than ^{137}Cs , and made up 1,4 – 23,9, at almost all the fields, except for birch forest and the Yas hill slope. Such consistency may be determined by current fuel particles decay processes in the Chernobyl NPP near zone, mostly polluted with nuclear fuel dispersed particles. As a result of this process, the fuel matrix constituent radionuclides, such as ^{90}Sr , pass into portable form, facilitating intencification of ^{90}Sr transfer into plants. As is not the case with ^{90}Sr , a considerable share of ^{137}Cs appeared firmly held by soil-absorptive complex.

^{241}Am transition coefficient rate varied within 0,05 in low bottomland up to 5,74 on the Yas hill slope.

THE RADIONUCLIDES VERTICAL DISTRIBUTION PARAMETERS IN THE SOILS OF THE CHERNOBYL NPP EXCLUSION ZONE

V.V. Goloveshkin, S.A. Kalinichenko, A. N. Chudinov

*State Nature Protective Scientific Research Establishment
"Polesye State Radiation-Ecological Reserve", Khoyniki, Belarus,
goloveshkin.victor@yandex.ru*

Abstract. The objective of our research was to study the peculiarities of vertical redistribution and the migration rate of the radionuclides in the soils with diverse moistening regime of the basic phytocenoses in the Chernobyl NPP accident near zone. The analysis of the radionuclides vertical profile distribution in different soil types of basic phytocenoses showed that in forest phytocenoses ^{137}Cs migration process is more rapid in soils, formed under the conditions of semi hydromorphic and hydromorphic moistening regime. Radionuclides content in the forest floor of these soils (5.4 – 10.9 %) is lower than that in 5-10cm soil layer (12.6 – 28.5 %), in contrast to ^{137}Cs distribution in automorphic soils – 13.4 % and 18.0 % respectively. The upper 5cm mineral part of soil layer concentrates major dozes of ^{241}Am (61.7 – 88.4%) and ^{137}Cs (45.5 – 76.7%), and 10cm layer contains 51.9 to 92.6% of ^{90}Sr . Migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr into 30-100cm soil layer is 4.4% and 13.3% respectively. ^{241}Am is not detected in these layers. Radionuclide storage center located at the level of 4.17 – 8.17cm ^{137}Cs , at 5.10 – 13.87 cm – ^{90}Sr and 2.70 – 4.75cm ^{241}Am . Vertical migration speed for the studied radionuclides was 0.17 – 0.42 cm/year for ^{137}Cs ; 0.33 – 1.00cm/year for ^{90}Sr and 0.22 – 0.57 cm/year for ^{241}Am . Data correlation analysis technique proved that radionuclide vertical migration speed rate in soils depends on the moistening coefficient value: Pearson linear correlation design ratio came to 0.53 for ^{137}Cs and 0.91 for ^{90}Sr at significance level of less than 0.01 and Pearson correlation critical value of 0.62 for ^{137}Cs and ^{90}Sr . ^{137}Cs degree of correlation is medium ($r > 0.50 - 0.69$) and that for ^{90}Sr is high ($r > 0.70$). The results obtained point to potential ground water contamination by ^{90}Sr in the soils of high primary contamination density and close water-bearing horizons deposition.

MOLECULAR MODIFICATION METHODS RADIOSENSITIVITY HIGHER PLANTS

N.V. Goncharova

Belarussian State University, International Sakharov Environmental Institute, Minsk, Belarus, goncharova@iseu.by

Abstract. Biological effects of ionizing radiation and other nature activities stress agents have a certain identity in the nature of responses that affect basic metabolic processes. The objectives of this study were to study the effect of irradiation on the formation of oats productivity and assessment of modifying effects of copper ions (II), zinc (II) and cobalt (III). Productivity of oats was evaluated on the basic parameters of yield structure. When comparing the variants of the experiment for the statistical processing of the results taken at least 10 plants in triplicate. Factor modification ionizing radiation effects on oat plants was calculated as the ratio value of the index yield structure in the pre- and in the absence of pre-sowing seed treatment with metal ions. It was established that we studied metal ions modify the effect of the action of ionizing radiation. The coefficient modification effects of irradiation using metal ions (ratio values multiplicity reduced productivity index with the use of metals) in these measures of oats crop structure was 1.2; 1.7 and 1.6, respectively. Research data indicate that the ions of copper, zinc and cobalt have the ability to modify the development special reactions in oats. The degree of influence on the productivity of the plant is determined by the irradiated metal properties. Effective use of metal ions to protect plants from the effects of acute gamma- irradiation is possible only on the basis of experimental data taking into account drug concentrations, timing and methods of their use for specific crop varieties.

CORRECTION OF RADIO-INDUCED CHANGES IN CARBOHYDRATE METABOLISM OF ADULT AND OLD RATS

E.N. Gorban, E.V. Podjachenko, L.I. Malash

State Institution «D.F. Chebotarev Institute of Gerontology» of NAMS Ukraine, Kiev, Ukraine

Objective: To determine the effect of chronic intermittent hypoxic training (IHT) on some indices of carbohydrate metabolism in the relatively remote period (17 days) after a single X-rays irradiation at a dose 5 Gy.

Materials and methods: Male adult (7-8 months) and old (23-24 months) rats of Wistar population were used. Animals were divided into 4 groups: I – control; II – animals taken into experiment since 17 days after a single X-rays irradiation exposure at dose of 5 Gy (dose rate 0.00129 C/kg per/min, exposition time – 10 min); III – animals were exposed to chronic IHT for 2 weeks (breathing of air mixture containing 12 % of O₂ for two hours daily, 5 days per week); IV – chronic IHT + X-rays irradiation exposure (animals were irradiated one day after exposed to chronic IHT). It was determined the levels of fasting plasma glucose, insulin and glycosylated hemoglobin (HbA_{1c}). For the assessment of tissue sensitivity to insulin were used estimated HOMA index.

Results: After 17 days following a single X-rays irradiation in a sublethal dose revealed the increase of glucose level in blood plasma of adult rats. HbA_{1c} level tended to in-

crease, insulin level in blood plasma of adult irradiated rats tended to decrease. No significant changes of HOMA index in adult rats after 17 days after irradiation. HbA_{1c} level and insulin resistance (HOMA index) in old ones were decreased. Chronic IHT model used for 2 weeks prior to X-rays irradiation in adult rats: prevented the increase of glucose level; in old ones – prevented the increase of HbA_{1c} level and HOMA index and reduced of glucose level compared with old irradiated rats without chronic IHT by 13%. Within 17 days after exposure to chronic IHT was not observed significant changes in investigated indices of carbohydrate metabolism in adult and old rats.

Conclusion: Chronic IHT of adult and old rats during 2 weeks prior to a single X-rays irradiation exposure at a sublethal dose can prevent in 17 days after irradiation manifestations of some radioinduced effects on carbohydrate metabolism.

Key words: X-rays irradiation, chronic intermittent hypoxic training, carbohydrate metabolism, radioprotection, age-dependent peculiarities.

CORRECTION OF RADIO-INDUCED CHANGES IN LIPID METABOLISM OF ADULT AND OLD RATS

E.N. Gorban., N.A. Utko, E.V. Podjachenko

State Institution «D.F. Chebotarev Institute of Gerontology» of NAMS Ukraine, Kiev, Ukraine

Objective: To determine the effect of chronic intermittent hypoxic training (IHT) on some indices of lipid metabolism in the relatively remote period (17 days) after a single X-rays irradiation at a sublethal dose.

Materials and methods: Male adult (7-8 months) and old (23-24 months) rats of Wistar population were used. Animals were divided into 4 groups: I – control; II – animals taken into experiment since 17 days after a single X-rays irradiation exposure at dose of 5 Gy (dose rate 0.00129 C/kg per/min, exposition time – 10 min); III – animals were exposed to chronic IHT for 2 weeks (breathing of air mixture containing 12 % of O₂ for two hours daily, 5 days per week); IV – chronic IHT + X-rays irradiation exposure (animals were irradiated one day after exposed to chronic IHT). It was determined of body-weight, high density lipoproteins and cholesterol (CH) levels in plasma and CH level in the liver tissue.

Results: Within 17 days after the end of the 2-week chronic IHT observed body weight loss of adult and old rats by 13% and 14%, respectively. Within 17 days after exposure to X-rays irradiation been identified weight gain of adult rats compared with control by 12%. In the old irradiated animals was not found significant changes in body weight compared with control. Blood plasma CH level of irradiated adult rats was not significantly changed compared with control. The old irradiated rats revealed a significant increase of blood plasma CH level compared with control by 17%. Within 17 days after exposure to X-rays irradiation CH level in the liver tissue of adult and old rats increased compared with control by 39% and 15%, respectively, which is a manifestation of lipid metabolism disorders and feature of the metabolic syndrome. Chronic IHT for 2 weeks before the single X-rays irradiation exposure produced 17 days after exposure a positive effect on lipid metabolism of irradiated animals of both age groups: in adult animals prevented the increase in body weight and helped reduce the CH level in the liver tissue; in old ones prevented the increase of CH level in the blood and liver tissue.

Conclusion: Chronic IHT of adult and old rats during 2 weeks prior to a single X-rays irradiation exposure at a sublethal dose can prevent in 17 days after irradiation manifestations of some radioinduced effects on lipid metabolism.

Key words: chronic intermittent hypoxic training, X-rays irradiation, lipid metabolism, cholesterol, high density lipoproteins, age-dependent peculiarities.

INCIDENCE RATES OF TUBERCULOSIS AMONG CHILDREN AND ADOLESCENTS LIVING IN AREAS OF THE GOMEL REGION MOST AFFECTED BY THE CHERNOBYL DISASTER

L.A. Gorbach

*National Research Practical Centre «Mother and Child», Minsk, Belarus,
larisa-horbach@yandex.ru*

Abstract. The present research paper examines the incidence rates of tuberculosis among children and adolescents living in the Gomel region of Belarus which was devastatingly affected by the Chernobyl accident. In the framework of the research a database has been developed where all primary cases of tuberculosis among children and adolescents in the Gomel region during 2004-2014 were recorded. All children and adolescents diagnosed with tuberculosis and recorded in the mentioned database were then divided into two groups. The first group included children and adolescents living in the areas most affected by the Chernobyl disaster. The second group included children and adolescents living in less affected areas of the Gomel region. The research has revealed the similar epidemiological tendencies of the tuberculosis distribution both in the most affected areas and less affected areas among the urban population. The dynamics of the tuberculosis incidence rates among the rural population of both the most affected areas and less affected areas not has identical patterns. The study has shown that the incidence rates of tuberculosis has been higher in the most affected areas than in less affected areas. The incidence rates of tuberculosis among the urban population of the most affected areas were 1,79 – 2,07 times higher than among the urban population of less affected areas. The incidence rates of tuberculosis among the rural population of the most affected areas exceeding the incidence rates of tuberculosis among the urban population of less affected areas by 5,09%.

MEDICAL ASPECTS OF PREVENTION AND EMERGENCY RESPONSE OF ACCIDENTS ON RADIATION HAZARDOUS FACILITIES

A.N. Grebenyuk^{1,2}, A.E. Antushevich², V.I. Legeza², A.V. Milyaev¹

¹ *Special & Medical Equipment, St. Petersburg, Russia, grebenyuk_an@spmt.ru*

² *Military Medical Academy named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia*

Abstract. Medical aspects of prevention and liquidation of consequences of radiation accidents were studied. It was shown that an important element of health protection into accidents on radiation hazardous facilities is medical radiation defense, aimed at saving lives and preserving human health under the action of damaging factors the radiation accidents. In the last years there have been significant changes both the organization of medical radiation defense and the nomenclature of antiradiation medicines. Now the basis of modern medical radiation defense is medicines that can be used for prophylactic and therapeutic purposes. Prophylaxis of irradiation should be provided using radioprotectors and means of stimulating the body's radioresistance. Radiomitigators, means of prevention of the primary reaction to

irradiation, means of prevention of internal exposure from radionuclides can be used both as prophylactic and therapeutic purposes. Therapeutic means includes medicines intended for the specialized treatment of acute radiation syndrome, as well as the means of conservative treatment of local radiation injures. It was described the rules of medicines application, which are determined by the terms of irradiation, stage of accident and clinical form of radiation injures. It was shown that the highest efficiency of radiation protection is achieved if medicines are used in conjunction with a comprehensive technical means of individual protection and shelters, as well as the competent implementing protective measures. Modern means of medical radiation defense provide not only prevent or stop most pronounced manifestations of acute radiation syndrome, but also can increase the chances of saving lives and the preservation health of affected people in the remote period of the radiation accidents.

ACTION OF INCORPORATED ^{137}Cs UPON CELLULAR ENERGY PROCESSES IS ACTUAL POSTCHERNOBYL PROBLEM

A.I. Gritsuk¹, A.N. Koval¹, S.M. Sergeenko¹, N.A. Gritsuk², V.T. Svergun¹, V.V. Matveev³

¹*Gomel State Medical University, Belarus, gritsuk@inbox.ru*

²*“Modern medical technologies” Ltd, St. Petersburg, Russia*

³*Cytology Institute of Russia Science Academy, St-Petersburg, Russia*

Abstract. Experimental data revealed high sensitivity of mitochondrial respiration in myocardium, skeletal muscle, liver, spleen, and other organs of albino mongrel rats after ^{137}Cs incorporation. Based on literature data analysis, the authors discuss the possible mechanisms of intracellular and tissue ^{137}Cs distribution, also possible mechanisms of high damaging action of incorporated ^{137}Cs upon mitochondrial respiration. As an example, myocardial radionuclide accumulation in 16-2000 mcGy dose interval result in phasic changes of mitochondrial respiration, accompanied with ultrastructural changes of the myocardium, also its electric and contractile activity. When acted upon by radionuclides, the myocardium oxygen consumption on endogenous substrates increases in the presence of glutamate, creatine and dinitrophenol, the deposition of creatine phosphate macroergs is disturbed, the uncoupling of oxidative phosphorylation is marked. Electrocardiogram changes are shown in the form of increase in heart rate and amplitude of R and T waves. Echocardiographic study of the animals before and after ^{137}Cs incorporation in 600 Bq/kg (16 mcGy) showed an increase in stroke volume, cardiac volume. Ejection fraction, fractional shortening, systolic excursion and systolic thickening fraction were also increased. Caused by the incorporation of ^{137}Cs the metabolic, ultrastructural, and functional changes of a myocardium correspond to the first (neurofunctional) stage of metabolic cardiomyopathy. The observed effects can be explained by association-induction hypothesis by G.N. Ling.

METHODS OF OBTAINING REGULATORY CLEAR CROP PRODUCTION ON THE TERRITORIES CONTAMINATED AFTER THE CHERNOBYL CATASTROPHE

G.Z. Gutseva, A.N. Nikitin

SSI "Institute of Radiobiology of NAS of Belarus", Gomel, Belarus, guzewa@mail.ru

Abstract. As a result of the Chernobyl accident, 23% of the territory of Belarus were contaminated with radionuclides. In the post-accident period, the primary task of agricultural production on contaminated land is the production of agricultural products with the permissible level of radionuclides.

Based on years of research developed and used in the manufacture methods aimed at reducing the radionuclide transfer from soil to crop plants. The most important of protective farming practices include organic fertilizers; application of mineral fertilizers; Soil liming; use for food and plant protection biologicals; the selection of crops and varieties, which, because of their biological characteristics, can in smaller quantities to accumulate radionuclides. In practice, the use of protective methods, depending on the type of soil and biochemical features of plants, can significantly reduce the content of radionuclides in the crop.

The studies were conducted by setting a stationary field experience in contaminated croplands of "Chalč" Vetka district, Gomel region. ^{137}Cs contamination density areas in the study area is $4 \text{ Ci} / \text{km}^2$ ($149 \text{ kBq} / \text{m}^2$). The objects of the survey were: barley varieties "Burshtyn" salad variety "Odessa kucheryavets".

As a result of the studies, it found that the use of the biological preparation of EM-1 for barley cultivation and salad are the effective protective measure on soils contaminated with ^{137}Cs , as it allows to reduce the accumulation of radionuclides in plants. Least of all the accumulation of radionuclides in plants lettuce and barley takes place in the application of the EM-1 on the background of potash fertilizer.

Established species differences in ^{137}Cs accumulation in plants. The vegetative organs of lettuce varieties "Odessa kucheryavets" accumulates an average 1.6 times more the radionuclide than biomass of barley varieties "Burshtyn".

EMERGENCIES IN ZONES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION AND THEIR POTENTIAL THREAT TO HUMAN HEALTH

A.A. Dvornik¹, A.M. Dvornik², R.A. Korol¹, S.O. Gaponenko¹

¹*Institute of radiobiology of NAS of Belarus, Gomel, aadvornik@gmail.com*

²*Gomel State University, Gomel, Belarus*

Abstract. The results of the investigation of radiation hazard of forest fires in the radioactive contaminated areas are presented in the article. We also present a method of estimating the transfer of radioactive pollutants with smoke of forest fires on the territories contaminated by radionuclides. The estimation process consists of two stages. The first one based on empiric data obtained from the fire experiment. The second stage based on analysis of climatic, environmental and historical data obtained from continuous datasets in Belarus since 2005. Airborne concentration of ^{137}Cs produced by the combustion of forest fuel materials with different contamination density can exceed the permissible activity levels of ^{137}Cs in air. The emission containing radionuclides deposited on the fine aerosol fractions is particularly dan-

gerous. Inhalation of radionuclides can generate additional internal doses both for firefighters, near the source of ignition, and for citizens, at a distance from the source. The main contribution to the exposure dose for firefighters gives an external exposure. Irradiation inhalation dose for citizens does not exceed 4% of the external dose. The ratio of internal and external doses for firefighters depend on the level of radioactive contamination of forest plantations, the area and the fire and the fire extinguishing time intensity. In addition, radionuclides released from the fire source may be transferred with the airflows over long distances, which can lead to a secondary radioactive contamination. *Keywords:* Forest fires, radioactive aerosols, external doses, inhalation

SIMULATION OF THE BEHAVIOR OF LONG-LIVED RADIONUCLIDES IN FOREST ECOSYSTEMS

A.M. Dvornik¹, A.A. Dvornik²

¹*F.Skoriny Gomel State University, Gomel, amdvornik@yandex.ru*

²*Institute of radiobiology of NAS of Belarus, Gomel*

Abstract. The work presents the results of modelling of long-lived radionuclides in forest ecosystems after the accident at the Chernobyl nuclear power plant. Developed a system of radioecological assessing forest ecosystems after large-scale nuclear accidents. It includes methods for forecasting and mathematical models that describe the dynamics of levels of radioactive contamination of forest ecosystems and the population irradiation doses from forests and forest products, radiation characteristics of forest fires and firefighting participants doses and the population of the surrounding areas. Experimental data obtained on a basic network of forest sites long-term observation. Mathematical models of the system includes the following submodules: radioecology FORESTLIFE model for calculating pollution levels of the components of forest plantations; dose FORESTDOSE_EXTERNAL model for calculating doses of external radiation; dose FORESTDOSE_INTERNAL model for calculating internal dose from the consumption of forest products; model FORESTFIRE for calculating radiation characteristics of forest fire and the transport of the smoke clouds; dose FORESTDOSE model for calculating doses of external and internal irradiation fire fighting participants and internal dose calculation of the population of the surrounding area. Developed information-analytical system of FORESTLIFE and its computer application. It creates a scientific basis for the development of a system for decision-making on forest management on the contaminated territories, evaluation, analysis and predictions of the consequences of nuclear accidents, taking protective actions and countermeasures.

RADIOBIOLOGICAL EFFECTS OF THE CHERNOBYL DISASTER EMISSIONS ON THE NATURAL FLORA

S.A. Dmitrieva, T.O. Davidchik

V.F.Kuprevich Institute for Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, karyology_dmitrieva@mail.ru

Abstract. The article presents the results of monitoring the impact of radioactive emissions of the Chernobyl disaster on the plant component of the biota. Established that chronic

exposure of natural plants populations causes an increase of chromosomal mutations level and various morphological anomalies. A characteristic feature of mutagenic effects – multiple injuries (mostly massive fragmentation of chromosomes). Direct relationship between the dose rate effects and causes are not clearly expressed. In the dynamics of mutagenesis in successive generations of plants can be divided into three stages: the growth rate of mutation, the most of which falls on the second post-accident year, decline and their approximation to the level of spontaneous mutations to 5-6 years, the wave kinetics in the future. This indicates a complex but regular nature processes of destruction and recovery occurring in natural populations on the background of the complex impact of radiation and non-radiation nature factors. The processes of destruction of plant organisms predominate. Cytogenetic radioadaptation as a special case of a general biological adaptation identified only a few species and at low levels of exposure. It manifests itself in the dismemberment of the original populations in radio-resistant and radiosensitive fraction. The most radioresistant are widespread abundant species with a wide ecological range. The most vulnerable are species with narrow ecological amplitude, as well as rare species. Radioactive contamination of natural ecosystems to cause structural changes microevolutionary karyotypes, which is manifested in heteromorphism individual pairs of chromosomes and aneuploidy.

THE RESISTANCE OF RODENTS TO HEAVY NATURAL RADIONUCLIDES IN NATURAL AND EXPERIMENTAL CONDITIONS

O.V. Ermakova, O.V. Raskosha

*Institute of biology of Komi SC UD the Russian Academy of Science,
Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia, ermakova@ib.komisc.ru*

Abstract. Effect of chronic radiation exposure to mammals populations was estimated on the root vole (*Microtus oeconomus* Pall.) – background inhabitant of the study area. The complex of morphological and genetic indicators characterizes the organism response on different levels of biological organization. The cellular and tissue reactions, endocrine organs (thyroid, adrenal, ovary) of rodents exposed to chronic radiation under natural conditions were studied. Earlier studies have shown that elevated background radiation can modify the cellular and tissue processes that lead to changes in metabolic processes that manifest themselves at all levels of the structural organization. This ultimately leads to changes in sensitivity to the other factors action, induces genomic instability in remote mitotic descendants of irradiated cells, which is manifested on morphological, cytogenetic and functional criteria. Cytogenetic study of the response of the thyroid cells of rodents from natural populations and in the laboratory showed that chronic exposure to low radiation doses induces an increase in the number of cells with micronuclei. For the detection of thyroid resistance after exposure to ionizing radiation in small doses, the experiment was conducted at the root vole caught in areas with different levels of contamination, with additional loads: non-radiation exposure (cold and urethane) and acute irradiation (3 Gy). Experiments have revealed a high resistance of cell systems in voles exposed to chronic radiation low doses with addition of chemical, physical and radiological factors as compared to control animals. In all probability, long-term habitation of voles in conditions of high radiation background leads to the cell protection system reorganization. The observed changes are expected to further more sustainable small mammals' populations existence in the difficult environment.

TO THE QUESTION ABOUT INVESTIGATION'S ROLE OF THE FUNDAMENTAL MECHANISMS OF THE PANTOGENESIS' RADIATION GONADS TO PREDICT THE REPRODUCTIVE STATE IN AREAS WITH HIGH RADIATION'S BACKGROUND

I.A. Zhukova, O.N. Ablekovskaya

Belarusian State Pedagogical University Named After Maxim Tank, Minsk, Belarus

Abstract. At present the problem of influence of various environmental factors on the developing organism has acquired special significance in the context of growing environmental burden in the form of anthropogenic and technogenic factors, including the radiation factor, which today is one of the most important for the effectiveness of the components of the human habitat and animals.

Based on it, we believe that studying issues relating with the formation of gonads in the prenatal period, in terms of radiation action in doses that could be compared to the doses received by the population living in areas with high radiation background has practice-oriented importance. Special relevance has the study of the blood of the ovary and testis capillaries. It must be emphasized that in the prenatal period of ontogenesis, these vessels provide the regulation of organ supply, its structural and functional formation.

The influence of single external irradiation on the stage of active of organogenesis (14-th and 15-th days) in dose 0,5 Gy on the endothelium of blood capillars of gonads of 20-days old rat fetuses was studied. It was determined, that the single irradiation in relatively low-dose on the stage of active of organogenesis causes change of morphofunctional parameters of endothelium cells of blood capillars of gonads of 20-days old rat fetuses. Such violations of endothelial cells microvascular gonads can later cause a delay in the development and formation of functional gonads, lead to the development of degenerative processes that disrupt the formation's processes of specific tissues, cause hormonal dysfunction and reduction fund germ cells.

Received information has got not only theoretical meaning, expanding the current understanding of radiosensitivity of germ cells under the radiation acts, thus contributing to the accumulation of factual material on the biological effects of radiation in relatively small doses, but also can be used to explain the possible causes of infertility, premature aging, hormonal dysfunction.

EVALUATION OF DESTRUCTION OF CHERNOBYL FUEL PARTICLES FALLING OUT ON THE TERRITORY OF BELARUSIAN PART OF ChNPP EXCLUSION ZONE

V.N. Zabrotski, Yu.I. Bondar, V.N. Kalinin, V.I. Sadchikov

Polessie State Radiation-Ecological Reserve, Khoiniki, Belarus, vzabrotski@tut.by

Abstract. The carbonate leaching of the samples of soil and bottom sediments with following radiochemical determination of $^{239,240}\text{Pu}$ in carbonate solution and solid residue were used to study the degree of destruction of fuel particles presented on the territory of Belarusian part of exclusion zone of Chernobyl NPP. It was established that on quite large territory of exclusion zone the degree of destruction of fuel particles in soil belongs to the relatively narrow range $88 \pm 6 \%$. Simultaneously the contamination density of the territory by transurani-

um elements could be varied in 3 orders of magnitude. Using of literature data characterizing geometry of fuel particles (the mean diameter of fuel particle equals 6 micrometers) allows to evaluate both their concentration (kg^{-1}) in soil layer 0 – 20 cm and surface density – quantity of particles falling on 1 m^2 . According to our data the soil samples taken more close to ChNPP were characterized by higher values of activity concentration of $^{239+240}\text{Pu}$ (more than $3,400 \text{ Bq/kg}$) as opposed to activity concentration of $^{239+240}\text{Pu}$ for places situated further from ChNPP (less than 2 Bq/kg). Accordingly concentration of fuel particles and their surface density changes from $33,000 \text{ kg}^{-1}$ ($9.0\text{E}+6 \text{ m}^{-2}$) to 8.6 kg^{-1} (2.200 m^{-2}). Substantially more high preservation of fuel particles in bottom sediment (up to 78 %) is explained by low dissolved oxygen concentration at the bottom of drainless pond. The constants of the destruction rate and half-times of dissolution of fuel particles localized in soil and bottom sediments were calculated using experimental data received in present work. Thereby conclusion could be made that fuel particles continue to be a substantial factor determining the radiological situation in exclusion zone of Chernobyl NPP at present.

DYNAMICS OF ^{137}Cs TRANSFER TO THE WOOD OF FORESTS OF ChNPP EXCLUSION ZONE ACCORDING TO THE DATA OF 2003-2015

V.N. Zabrotski, Yu.I. Bondar, M.V. Kudzin, N.V. Blinova

Polessie State Radiation-Ecological Reserve, Khoyniki, Belarus, vzabrotski@tut.by

Abstract. About 8,000 combined wood samples were taken in 2003-2015 in radiological examination of the forests growing in the Belarusian part of Chernobyl exclusion zone. All of them were analyzed on ^{137}Cs . It was done to check the possibility of using the wood in economy. It was shown that major part of wood samples had the values of activity concentrations varied from 60 to 5000 Bq/kg. The density contamination of the forest, calculated by soil measurements, varied from 100 to 10,000 kBq/m². The ^{137}Cs transfer factors to the wood of forest trees were calculated. It was shown that main part of the samples was characterized by values of transfer factor which belongs to the range of 2 – 5 ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{kg}$). It was so for every kind of wood sample and for every year. Conclusion could be made that transfer factor does not depend on density contamination in the above mentioned range (100 – 10,000 kBq/m²). It could be explained by increasing of the fraction of available to trees ^{137}Cs in increasing of its gross-content in soil. So, our experimental data confirm the hypothesis about the establishment of equilibrium between mobile (exchangeable and water-soluble) and fixed forms of ^{137}Cs in soil. To observe the dynamics of ^{137}Cs transfer to trees the plot of annual median transfer factors against time was constructed. The tendency of decreasing of transfer factors with time was revealed. Our results were compared with already published data of International Atomic Energy Agency. For the wood of coniferous trees they report the value of concentration ratio equal 0.15 with minimal and maximal values from 0.0012 to 1.8. According to our results the mean value of concentration ratio equals 0.36 with minimal and maximal values 0.003 and 3.5 accordingly.

GENE REGULATION OF APOPTOSIS IN PERIPHERAL BLOOD LEUKOCYTES OF CHERNOBYL CLEANUP WORKERS

I.N. Ilienکو, D.A. Bazyka

SI "National Research Centre for Radiation Medicine NAMS of Ukraine", Kyiv, Ukraine, bazyka@yahoo.com

Aim. To identify a contributive role of changes in gene regulation of apoptosis at transcriptional and translational levels to the formation of radiation-induced effects in immune system.

Patients and Methods. Study groups included 310 Chernobyl cleanup workers (dose of external exposure 360.82 ± 32.3 mSv; age 58.9 ± 0.6 (M \pm SD) years) and control (n-77; age 52.9 ± 0.64 (M \pm SD) years). Expression of CD95, phosphatidylserine receptors, bcl2 and p53 proteins was studied by flow cytometry; the relative expression of *BAX*, *BIRC5*, *FASLG*, *MADD*, *MAPK14*, *TP53*, *TP53I3* genes was performed using 7900 HT Fast RT-PCR System and TagMan technology.

Results. Dose-dependent deregulation of apoptosis was shown at transcriptional (*TP53*, *TP53 I3*, *BAX*, *BIRC5*, *FASL* genes) and translational (bcl-2 and p53 proteins) levels with blocking entry to apoptosis, dose-dependent activation of anti-apoptotic proteins and *TP53*-mediated expression of genes-inhibitors of apoptosis.

Conclusion. Results of the study contribute to the basic concepts about the biological mechanisms of effect of ionizing radiation in conditions of action of various doses, which makes it possible to quantify the contribution of radiation factor in the development and implementation of structural and functional abnormalities of the immune system.

TUMOR MICROENVIRONMENT AND POSSIBILITIES OF ITS CORRECTION AT MICE *A/f* IN CONDITIONS OF ENVIRONMENTAL FACTORS OF THE ZONE OF THE CHERNOBYL DISASTER

E.M. Kadukova, S.N. Sushko

Institute of the Radiobiology NAS of Belarus, Gomel, Belarus, helena.kad@mail.ru

Abstract. The cycle of researches of the influence of an explosion of mice of the line *A/f* in the ecological conditions of the zone of Chernobyl disaster on lung tumour (adenomas), morphological and functional condition of alveolar macrophages is executed.

Alveolar macrophages population (morphological and functional features) under action of the γ -irradiation in doses 0,1; 0,35 and 1,0 Gy was investigated too.

The roles that alveolar macrophages play in lung carcinogenesis have yet be fully elucidated. At this work we try to examine how macrophages affect lung tumor progression in conditions of action of the γ -irradiation and after therapy with water extract of the higher mushrooms.

We have shown that after exposure to γ -radiation in the population of macrophages begins to dominate the cells with the phenotypic features of M2, which have lower phagocytic activity against *Staphylococcus aureus* in vitro. Medium and large square cells in the population of macrophages after irradiation at a dose of 1.0 Gy are marked in the lavage.

The increase in adenomas in lung under action of the ecological conditions of the zone of Chernobyl disaster and γ -irradiation in the doses 0,1; 0,35 and 1,0 Gy is shown. The use of

water extract of *Flamullina velutipes* decrease the quantity lung adenomas/mouse and mice with adenomas after γ -irradiation. One of the mechanisms underlying the implementation of this effect is the ability to switch phenotypes in a population of alveolar macrophages to M2 on M1 to stimulate their antineoplastic properties after effects of radiation

FEATURES OF ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am LATERAL MIGRATION IN THE SOIL OF DIFFERENT ECOSYSTEMS IN THE EXCLUSION ZONE OF CHERNOBYL NPP

S.A. Kalinichenko, V.V. Goloveshkin, A.N. Chudinov

¹*Polesye State Radiation-Ecological Reserve, Khoyniki, Belarus, s-a-k@list.ru*

Abstract. Presented are the results of a 5-year survey on ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am lateral migration in the upper 20cm soil layer of various forest site. It is established that in all cases γ -radiation dose rate (DR) at the soil surface is by 30% higher than at an altitude of 1m. The lowest coefficient of DR variation was in a pine forest, the highest – in a birch forest. In the majority of cases the radionuclides were of the same soil concentration variation character. There's a high variation coefficient (75.2 %) of ^{90}Sr established for the experimental polygon, located in a pine forest, which is typical of fresh radioactive fallout. This is due to the pine forest ecosystem organization structure and a high concentration of fuel particles in the soil. The lowest variation differences in ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am content in the upper soil layer was registered at a long-fallow meadow, which relates to the formed community and tree layer absence. Microrelief structural fluctuations play a significant part in the radionuclides horizontal distribution as its convex shapes are, obviously, the source areas, and concave shapes are the accumulation zones of radioactive elements. The existing differences in the coefficient variation of the radionuclides lateral distribution in the soil of the Chernobyl NPP near zone biogeocenoses are determined by nature and time of the radioactive fallout, by landscape-structural ecosystems organization, modification of hydrological and weather-climate conditions, vegetation community type and animal burrowing activity. Calculation of assessment validation criteria (t_{As} , t_{Ex}) showed that it is possible to speak about normal empirical data distribution only in connection with DR analysis. This also proves biometrical table check-up, otherwise the lognormal Chernobyl fallout distribution hypothesis confirms.

RADIATION ENVIRONMENT IN THE NEAR ZONE OF CHERNOBYL NPP ACCIDENT IN REMOTE PHASE

S.A. Kalinichenko¹, Yu.D. Marchenko¹, O.A. Schurankova²

¹*Polesye State Radiation-Ecological Reserve, Khoyniki, Belarus, s-a-k@list.ru*

²*Institute of Radiobiology of National Academy of Sciences of Belarus”, Gomel, Belarus*

Abstract. Presented are the results of radiation environment parameters research in the exclusion zone of Chernobyl NPP accident. A high γ -radiation dose rate (DR) variability is recorded in all studied grounds (53.3%). The slowest DR reduction is observed in forest covered areas and in the grounds located at hydromorphic soils where groundwater crops out. Fluctuation by years and insignificant DR reduction (about 10%) happens mainly at the cost of weather-climate conditions in the record year, including water regime at the studied territory, as well as due to natural decay process. The live ground cover type also plays a significant

role. Stable snow formation leads to γ -radiation intensity decrease by 1.5-2. At present, pine forest floor preserves highest radionuclide concentration: up to 29.6% of ^{137}Cs , 62.5% of ^{90}Sr and up to 12% of ^{241}Am . In a birch forest these figures are 27.7%, 37.5%, 5.6% respectively. At the fallows major radioactivity is concentrated in the humic-podzolic horizon. ^{90}Sr vertical migration rate exceeds ^{137}Cs migration rate by 1.7 times and counts 0.29-0.31 and 0.38-0.71 cm/year respectively. ^{241}Am stock center migration rate is at the level of 0.27-0.33 and 0.22-0.39 cm/year. Hydrological regime of the soils has a considerable impact on the vertical redistribution of ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{241}Am . Hydromorphic soil of birch forest is characterized by the deepest penetration level of ^{137}Cs and ^{90}Sr , and the deepest penetration of ^{241}Am is registered in the fallow old plowland. The organogenic layer phylum and its capacity are of significant importance. Pine forest floor biodeterioration terms are longer than in deciduous forest, therefore it bounds higher radionuclide quantity for a longer term and its penetration into soil mineral layer is considerably less deep.

REMOTE EFFECTS OF POST-CHORNOBYL IRRADIATION ON THE MALE REPRODUCTIVE HEALTH

A.V. Klepko, L.V. Sakovska, L.V. Gorban, Yu. A. Kondratova, S.V. Andreychenko

State Institution "National Research Center for Radiation Medicine of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine, kallav@mail.ru

Abstract. It is a matter of common knowledge that ionizing radiation first of all damages physiologically active dividing cells which are present in abundance in highly proliferative male germinal epithelium by producing highly reactive free radicals which cause lipid peroxidation and membrane damage. In contrast to other cells, spermatozoa do not possess an effective antioxidant system of lipid defense because of little catalase activity. This may cause severe damage to spermatozoon structure.

Abatement of antioxidant enzymic activities in radiation damaged spermatozoa facilitate the propagation of free radicals, especially superoxide radicals, in mitochondria and spermatozoid heads. In turn, ROS penetrate into the nucleus and exert a direct effect on chromatin DNA causing its overall disruption and formation of apoptotic bodies. On the last stage of apoptosis development cell death follows. Our results have established the gradual increase of apoptosis dependent cell deaths concurrently with necrosis dependent cell death whose contribution to spermatozoid mortality significantly increased for highly radiation polluted regions compared to low radiation polluted and non-polluted ones. This phenomenon is a hallmark of male-infertility progress. Thus, our investigations have shown that subjects living on radiation polluted territories may generate a great deal of damaged spermatozoa with the hidden molecular and cellular lesions. The latter would predispose inhabitants of radiation polluted regions to male-infertility. Therefore a special system of prophylactic arrangements needs to be elaborated to prevent further spreading of male infertility.

MIGRATION OF TUE THROUGH THE FOOD CHAINS AND ASSESS THE POSSIBILITY OF LIVESTOCK PRODUCTION IN THE CONTAMINATED AREAS OF THE GOMEL REGION

R.A. Korol, A.N. Nikitin

Institute of Radiobiology of NAS of Belarus, Gomel, Belarus

Abstract. Radioactive contamination resulting from the Chernobyl reactor explosion engulfed vast areas of the country. Results of the study of the physical and chemical state of the TUE in soil-plant complex indicate that there is a real risk of them entering the body through the food chain. The main object of study is animal products produced in the CSEA "Strelischevo", located in the south of Gomel region and bordering on alienation of territory (PSRER). This farming practice stall-pasture cattle type of content that is based on the content of the cows in the stall areas in winter and summer grazing animals produced in the pastures. The highest content of ^{241}Am observed in bone and reached 0.84-1.76 Bq/kg. And plutonium isotopes are concentrated mainly in the bone. The content of ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ in these samples is 0.33-0.69 Bq/kg and 0.62-0.74 Bq/kg, respectively. This distribution is characteristic for admission dissolved compounds transuranic elements. While those housed cattle (month of March), when animals diet is largely determined by the availability of hay, silage, hay, feed and vegetable content of radionuclides in milk and reduced amounts for ^{241}Am 4.1 – 7.1 MBq/kg for ^{238}Pu 1.4–2.4 mBq/kg to $^{239,240}\text{Pu}$ 2.9–5.9 mBq/kg. During the grazing cattle, when the principal component of the diet is a grassy pasture vegetation (one and perennial grasses) and green mass, there is a gradual increase in the specific activity of milk, which reaches 5.2–8.8 MBq/kg for ^{241}Am , 2.5–3.4 mBq/kg of ^{238}Pu , 5.3–7.2 mBq/kg for $^{239,240}\text{Pu}$.

Research carried out at this stage of the work, expanding knowledge about the processes of radionuclides in food products and their role as sources of internal exposure. They allow a high degree of confidence to assess and predict the value of the specific activity of animal products, using information on forage land contamination densities, without the involvement of specific data on the results of measurements of the levels of contamination of agricultural commodities with radionuclides in each locality. Based on these findings, it is fundamentally possible to predict the expected levels of contamination of animal products transuranic elements from the available data on the density of contamination area. However, it should take into account possible differences in the bioavailability of Pu and Am with changing soil conditions that require additional research.

MIGRATION OF ^{137}Cs AND ^{90}Sr RADIONUCLIDES IN SOILS AFTER THE CHERNOBYL NPP ACCIDENT

A.V. Kudelsky¹, V.I. Pashkevich¹, S.V. Ovsianikova²

¹*Institute for Nature Management of NAS of Belarus, Minsk, Belarus, kudelsky@nature.basnet.by*

²*Belarusian State University, Minsk, Belarus, svetlanaosv@mail.ru*

Abstract. Migration abilities of ^{137}Cs and ^{90}Sr in different varieties of soils (automorphic, semi-hydromorphic and hydromorphic) and their change in the course of time have been analyzed using the radionuclide migratory parameters (V – the rate of the center of radionuclide reserve transfer and D – the coefficient of radionuclide quasidiffusion) estimated on the

experimental data on vertical distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the soil profiles and also using the radionuclides distribution coefficients for the “solid phase – interstitial water of soil” systems. It was established the pronounced tendency for decreasing of V and D parameters with time for ^{137}Cs in automorphic soddy-podzolic soils. It was also found an increase in these parameters for ^{90}Sr in automorphic soddy-podzolic and semi-hydromorphic alluvial soddy loamy sand soils. A decrease in the V and D parameters for ^{90}Sr was observed only in the peat-bog soils and it could be explained by irreversible sorption of radioactive strontium in result of forming of insoluble complex compounds with humic acid components of soils. The effect could be also explained by inclusion of strontium into the structure of whewellite (calcium oxalate with chemical formula of $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) that often occurs in organic horizon of soils. The received data on the radionuclides distribution coefficients indicated the more active transfer of ^{90}Sr from the solid phase into the interstitial soil water with the following more intensive radionuclide migration into the ground water in comparison with those for ^{137}Cs .

THE INFLUENCE OF γ -RADIATION ON ANDROGEN-RECEPTION INTERRELATIONS UNDER THYROID HYPOFUNCTIONS AND IN CONDITIONS OF THE ZONE OF THE CHERNOBYL DISASTER

F.I. Kutz¹, E.G. Popov², O.L. Belousov

¹*Institute of the Radiobiology NAS of Belarus, Gomel, Belarus, helena.kad@mail.ru*

²*The Central Botanical Garden of NAS of Belarus, Minsk*

Abstract. The paper presents data on dose-dependent in rat reproductive system, obtained radioimmunoassay and gravimetric techniques. The specific androgen binding tests in unpedigreed rats showed that external γ -irradiation in different modes (single acute and chronic) caused phasic changes and retardation in the activity of androgen reception in reproductive system tissues of experimental animals.

The study presents original data concerning the influence of thyroid hypofunctions, induced with iodine-131 and mercasolile, upon the characteristics of testicular cytosol androgen-reception system. The molecular characteristics of androgen-receptor systems have changed in the nonlinear regime, wearing an oscillatory character, with peak deviations androgen-receptor characteristics in long-term follow.

Also we studied dynamics of the testicular plus prostate androgen-receptor dysfunctions and changes in the ventral lobe mass of a prostate gland after 160 and 320 KBq per rat radioactive cesium injection and after 6-month maintenance of animals in different preference points of radionuclide-polluted Mogilev- and Gomel-regions and area near the Chernobyl nuclear power plant unit.

The data provide insight into the mechanisms of radiation-induced pathology for action in the development of disorders in the reproductive system that arise under the influence of radio-ecological situation, formed on the territory of Belarus after the Chernobyl accident.

TYPES OF PALYNOTERATICAL COMPLEXES OF SEDIMENTS FROM 30-KM CHERNOBYL ZONE AND PLEISTOCENE CLIMATIC EXTREMUMS

G.M. Levkovskaya¹, N.V. Shamal², M.G. Orehova², D.A. Britsky³,
V.P. Macko, I.I. Skvernyuk

¹*Institute for the History of Material Culture RAS, Saint-Petersburg, Russia, ggstepanova@yandex.ru*

²*Institute of Radiobiology NAS, Gomel, Belarus*

³*Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia*

Abstract. The contaminated samples were collected in 1988 at the distance of 12 km (Masany), 16 km (Kruky) and 22 km (Lesok) from Chernobyl. The characteristics of the complexes of natural extremums were obtained for Pleistocene moraine sediments by E.N. Ananova. They were by us for subfossil sediments of arctic tundra sub-zone, Pleistocene extremums of Glacial epochs from many areas, (Trancarphatians, Caucasus, Russian plain? Western Siberia? Altai) and for the border of alpine and subalpine belts of the Mousterian epoch in Caucasus (pollen and palaeozoological data on Barakaevskaya cave site from modern lower part of forest belt). All these complexes look like the “cemeteries” of contours of unidentified sterile and flat forms (due to their underdevelopment) or untypical morphology. The palynoteratological complexes of sediments with very high (MED at the soil 2200-530 mcR/h) radioactive contaminations are compared with natural complex formed during the Neanderthal time at Baracaevskaya cave site (North-west Caucasus) then at the limit of all flowering plants at the border of alpine and subalpine belts. Each form in Chernobyl complex has there ecologically important pathologies: 1. ugly + 2. not completely developed (often sterile, with no protoplast, with erosions, etc.) + 3. dwarf. Each form in natural climatic extremums has two ecologically important pathologies: 1. underdeveloped + 2. dwarf. Ugly forms are rare in natural complexes. The SEM micrographs of the complex of sediments with especially high contamination by ¹³⁷Cs (270000 Bk/kg) look like the “cemetery” of monstrous sterile (no protoplast and erosions) and dwarf pollen grains with multiple variation of each morphological feature at all forms but by ⁹⁰Sr (14000 Bk/kg), ^{239,240}Pu (99 Bk/kg) and ²⁴¹Am (150 Bk/kg) – like the “cemetery” of contours of “empty” forms with thick sporoderma and no protoplast and sculpture. Individual identified forms were found in both types of Chernobyl complexes. More often they are registered in sediments near forest (Lesok).

EM TECHNOLOGY IN EUROPE

Jun Matsumoto¹, Ueli Rothenbühler², Attila Murányi³

¹*EMRO EHG Deutschland GmbH, matsumoto@emro-ehg.de*

²*EM Schweiz AG*

³*Környezetminőség Kft, Hungary*

Abstract. This review aims to describe the nature of Effective Microorganisms (EM) and how EM is utilized especially in Europe. EM consists of a wide variety of effective, beneficial and non-pathogenic microorganisms produced through a natural process and not chemically synthesized or genetically engineered. It comes in a liquid form. EM Technology was developed more than 30 years ago by Dr. Teruo Higa in Japan. The EM Network consists of

Manufacturers in 56 countries and EM is distributed in more than 100 countries. In Europe, EM has been used mainly for agriculture and animal husbandry. However, recently, it is also used for waste water treatment, mine revitalization, and even for probiotic drinks. Among many case studies and scientific researches, this review explains the EM Application for weaning piglets and revitalization of lead mine waste.

ACCUMULATION OF RADIOACTIVE SUBSTANCES THE MAIN TYPES OF WILD BERRIES, MUSHROOMS AND THE POSSIBILITY OF COOKING

A.F. Mironchik

Mogilev State University of Foodstuffs, Mogilev, Belarus, plissa-maf@rambltr.ru

Abstract. Objectives of the study was the identification of interspecific differences in ^{137}Cs accumulation intensity and ^{40}K edible mushrooms growing in the Mogilev region.

Eating wild mushrooms and berries increases the internal exposure dose to $0,3 \pm 0,14$ mSv / year at a density of contamination with $185 \text{ kBq} / \text{m}^2$. In the course of research annually since 1997, the selection was made 100-178 fungi samples of reference points (^{137}Cs contamination density of litter to $74 \text{ kBq} / \text{m}^2$).

Results of monitoring researches of accumulation ^{137}Cs are stated by main types of the mushrooms and wild berries growing in the territory of the woods of the Mogilev region during 1997-2014. The factors influencing on a degree of the transition ^{137}Cs from a root-inhabited layer in an edible part of mushrooms and berry bushes are specified. On extent of accumulation ^{137}Cs main types of edible fungi are subdivided into four groups. On the basis of the carried out accounts the importance of food production of a wood in formation of a doze of an internal irradiation of the population is shown. Is determined repetition factor of reduction of the contents ^{137}Cs in mushrooms depending on a method of their culinary processing.

THYROID FUNCTION IN CHILDREN AND ADOLESCENS IN BELARUS IN THE FIRST DECADE AFTER THE CHERNOBYL DISASTER

T.A.Mityukova¹, V.M. Drozd, L.N. Astakhova

¹*Institute of Physiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, mityukovat@gmail.com*

Abstract. Purpose – to generalize the results of screening tests for the study of thyroid function in children and adolescents living in the contaminated of the radionuclides areas of the republic, conducted in the first decade after the Chernobyl disaster. The main object of the study were children and adolescents between 4 and 17 years living in contaminated regions of Belarus. The control group consisted of persons of the same age living in the districts of Vitebsk region and in Minsk and Minsk region ("clean zone"). Total number – 20785 children and adolescents. Screening studies have shown that in the most contaminated areas of the Gomel region, recorded more children and adolescents with reduced relative to the age norm volume of the thyroid gland than in "clean" areas. The results of screening, conducted in the country in the period 1990-1994 demonstrated that the relatively "clean" territories observed a significant negative correlation between the iodine content in the urine and the percentage of persons with an increase in volume of the thyroid gland, which is consistent with the views of

the goitrogenic effect of iodine deficiency. The fact of reducing the goitrogenic action of iodine deficiency have been identified in people living in areas contaminated with radionuclides. It has been shown that the detection of reduced thyroid volume is positively correlated with contamination of area by ^{137}Cs and absorbed dose of thyroid of ^{131}I . Mean TSH levels were negatively correlated with the same parameters of radiation contamination. Thus, the results of screening studies have shown that, along with the security of iodine, important factors affecting the formation of age-related volume and functional status of the thyroid gland of children and adolescents, are indicators of contamination of the area of iodine and cesium radionuclides. The most dramatic deviations in the functioning of the thyroid system, manifested in its inhibition, were observed when exposed to high absorbed doses of ^{131}I of thyroid (5-10 Gy) and ^{137}Cs incorporation chronic (over 1000-1500 kBq / kg).

^{137}Cs ACCUMULATION IN FISH SPECIES OF THE BELORUSSIAN SECTOR OF THE CHERNOBYL NPP EXCLUSION ZONE

R.A. Nenashev¹, Y.D. Marchenko¹, A.N. Chudinov¹, M.A. Shabaleva²

¹*Polesye State Radiation Ecological Reserve, Belarus, Gomel, rm@tut.by*

²*Gomel State Medical University, Gomel, Belarus*

Abstract. The object of study was ^{137}Cs accumulation in the 9 fresh-water fish species inhabiting the water reservoirs of the Belorussian sector of the Chernobyl NPP exclusion zone: pike (*Esox Lucius L.*), perch (*Perca fluviatilis L.*), redeye (*Scardinius erythrophthalmus L.*), crucian carp (*Carassius carassius L.*), tench (*Tinca tinca L.*), carpbreem (*Abramis brama L.*), roach (*Rutilus rutilus L.*), ide (*Leuciscus idus L.*), silver bream (*Blicca bjoerkna L.*). It was established that the species inhabiting the drainless and poor flowage water reservoirs are characterized by maximum ^{137}Cs concentration in the muscles. Following, in terms of radionuclides concentration in the fish organism, are the reservoirs of river Pripjat floodplain having connection to the river. The least contaminated is the fish inhabiting the Pripjat bed area. Carnivorous fish species (pike and perch) as well as those with mixed diet (ide), are characterized by the highest ^{137}Cs accumulation rate in the muscles. The least contaminated are the representatives of the benthophage species (crucian carp, silver bream, carpbreem). ^{137}Cs accumulation coefficients in the fish muscles are measured with reference to its concentration in the water. CF (concentration factor) figures of ^{137}Cs in the muscular tissue of the ide, perch, pike, redeye, tench, crucian carp, roach, silver bream, carpbreem come to 1055 ± 160 ; 903 ± 50 ; 734 ± 60 ; 725 ± 20 ; 655 ± 20 ; 653 ± 13 ; 585 ± 37 ; 463 ± 14 ; 394 ± 27 respectively. It is established that the quantity of ^{137}Cs uptake in the majority of the studied species depends on the individual's body mass. Positive size effect is typical of redeye, perch, roach, and ide. Negative correlation between body mass and uptake of ^{137}Cs is observed in crucian carp and carpbreem. Based on the obtained data an exponential model had been worked out describing the draw-down rate of ^{137}Cs concentration, and subsequently a long-term forecast for the fish species inhabiting Lake Perstok was made. It is anticipated that average ^{137}Cs content in fish muscle tissue will reach the specification level (370 Bq/kg) by the period from 2085 to 2120 with variation by species.

INFORMATION-ANALYTICAL SYSTEM FOR ASSESSING INTERNAL DOSES FROM TUE ON WILD HOOFED ANIMALS LIVING IN CONTAMINATED AREAS

A.N. Nikitin, O.A. Shurankova

*Institute of Radiobiology of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus,
shurankova@list.ru*

Abstract. Protecting both human and biota should be based on the assessment and limitation of radiation doses from man-made sources. Currently, the contribution of plutonium isotopes and ^{241}Am in radiation dose to the biota in Polessie State Radiation and Ecology Reserve may be relatively small in the background of ^{137}Cs and ^{90}Sr . However, the need to assess this component of radiation exposure because its relevance to the Chernobyl exclusion zone will continue throughout the next centuries and millennia. On this goal, the information-analytical system for the assessment of internal doses from transuranic elements for wild hoofed animals based biokinetic models of plutonium and americium was developed. In these model, the behavior of radionuclides is described by a system of differential equations with coefficients that indicate the rate of transition of plutonium and americium from one organ or tissue to another, as well as the transition from food into the bloodstream and excretion from the body. Concerning the biological characteristics of the studied species in the model changes on the mass of animals and individual organs was added. Daily intake of radionuclides in the body of animals is calculated by the evaluation of radionuclide contamination of feces of wild ungulates mammals that allows us to estimate radiation exposure doses at the population level, without the killing of the animals. When calculating the daily intake of radionuclides in the body, age features of animal nutrition are taken into account.

POSSIBILITIES OF EFFECTIVE MICROORGANISMS™ (EM) TECHNOLOGY FOR REDUCING RADIOACTIVE CESIUM CONTAMINATION IN SOIL

Shuichi Okumoto¹, Masaki Shintani^{1,2} and Teruo Higa³

¹*EM Research Organization, Inc., Okinawa, Japan, sokumoto@emro.co.jp*

²*Tokyo Women's Medical University, Tokyo, Japan*

³*International EM Technology Center, Meio University, Okinawa, Japan*

Abstract. Since the Fukushima No.1 nuclear power plant accident, the results of field experiments and farm studies we conducted suggest the possibility that Effective Microorganisms™ (EM) technology contribute to the reduction of radioactive Cs contamination in soil. Therefore, in order to assess the direct effect of EM technology on radioactive cesium (Cs), a laboratory experiment was conducted under controlled isolated condition. Various concentrations of activated EM-1® (EM) were added to soil contaminated with radioactive Cs, then stored for 690 days. Reduction rates calculated from the measured ^{134}Cs and ^{137}Cs activities before the treatment and 690 days after, showed statistically significant differences in all EM treated groups compared with the Control group. Also, the reduction rate increased in proportion to the concentration of EM.

THE MAIN MODEL APPROACHES AND ASSUMPTIONS WHEN DEVELOPING MODEL OF MIGRATION OF RADIONUCLIDES IN AGROECOSYSTEM

T.V. Perevolotskaya, A.N. Perevolotsky, S.I. Spiridonov

Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia, forest_rad@mail.ru

Abstract. Prognostic calculation was done using compartmental mathematical models, based on the method of system analysis for typical representatives of agro-ecosystems – barley, wheat, rye, oats, potatoes, beets. To describe the dynamics of radionuclide soli-plant exchange in the general form a system of differential equations of the first order was used. During the time to be simulated the value of aboveground biomass is assumed to be constant and maximum that corresponds to the harvesting period. The following key assumptions were applied: after accidental contamination radionuclides no longer enter the ecosystem; the basic mechanism of radionuclides intake by agricultural crops is root absorption; foliar radioactive contamination is considered in the constants of radionuclide transfer from soil to biomass elements; release of radionuclides from phytomass elements into the soil is supposed; “aging” of radionuclides from accidental fallouts takes place in soil and occurs in gradual reduction of root uptake; radionuclide transfer from soil to plant begins at the initial time $t=0$. The obtained results allow to ascertain compliance of the predicted radionuclide transfer factors for the investigated types of agricultural products to those observed in fact and obtained with activities of radioecological monitoring. The results allow to predict radionuclide content in agricultural products with a sufficient degree of reliability and uncertainty of ~50%.

ANALYSIS OF DOSE STRUCTURE OF EXTERNAL GAMMA-EXPOSURE OF PUPILS IN SETTLEMENTS OF GOMEL REGION IN DIFFERENT ZONES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

A.N. Perevolotsky¹, E.V. Velikoborets², E.V. Krasovskaya²

¹*Russian Research Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, the Russian Federation*

²*Educational Establishment "Francisk Skorina Gomel State University",
Gomel, Belarus*

Abstract. Soil samples for determination of ^{137}Cs were taken. Geographical coordinates and absorbed doses of external gamma radiation were determined in sampling points; dose rate was also measured in different locations of the site. Absorbed dose rate from radiation of ^{137}Cs and contribution to the measured dose rate from natural sources of ionizing radiation were estimated with computational methods. An essential role of ^{137}Cs in formation of external gamma radiation dose, which increases with the density of soil contamination by this radionuclide is presented.

By means of cluster analysis of areas within the settlements boundaries two clusters were allocated. They differ significantly in terms of radioactive contamination. The calculated annual equivalent dose of external γ -radiation of ^{137}Cs for schoolchildren the settlement of Goncharovka is equal to 0.079 mSv/year, in the settlement of Oktyabrevo – to 0.282 mSv/year. The main contribution to the investigated value is made by staying at homes (36%), and also staying in the yards, gardens and streets (each gives 16%). The calculated annual equivalent dose from natural γ -radiation for schoolchildren in the settlement Goncharovka is 0.523 mSv/year and settlement Oktyabreva – 0.579 mSv/year. The main contribution to

the investigated value makes a stay at homes – 0.3-0.4 mSv/year (that is 60%) and at school – 0.07-0.09 mSv/year (14%).

CHANGES IN PRODUCTION OF ACTIVE NITROGEN SPECIES IN RANGE OF GENERATIONS IN RATS AFTER LONGTERM EXPOSURE TO RADIOECOLOGIC FACTORS OF CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

D.R. Petrenyov

Institute of Radiobiology, National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, danse@tut.by

Objectives: The rodents exposed to low doses of ionizing radiation (IR) for prolonged period as well as their progeny demonstrates elevated level of immunological alteration, susceptibility to infection and invasions, genomic instability and neoplasms in comparison to matched control. Known that these disturbances in exposed animals are accompanied with increased reactive oxygen (ROS) and nitrogen species (RNS) production in bone marrow (BM) stroma and are genotype dependent. No data available about RNS production in BM cells in their offspring. The aim of our study was to characterize oxidative metabolism of BM cells in rats exposed to low doses of IR and their progeny.

Methods: All experiments were conducted under approval of local ethics committee in concordance with international guidance of animal handling. Both male and female rats were kept for 4 month (May-September) in Chernobyl exclusion zone (r.p. Masany). Total adsorbed dose of external exposure was 14.5 mGy (expositional dose $5 \text{ uGy} \cdot \text{hr}^{-1}$) and measured activity of Cs^{137} accumulated in corps was $143.4 \pm 22.9 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Later animals were moved to vivarium and progeny of generation F1 and F2 was sequentially obtained by panmixia. The generation F2 was exposed to IR as described previously and progeny F3 and F4 obtained. Male rats of 5-7 month old (generations F1-F4) were taken in experiment. The BM cells were isolated and subcultured *ex vivo* for estimation of overall metabolic activity and reactive oxygen species (ROS) production by MTT and XTT reduction. The 24-hr nitrite accumulation in culture media was used as surrogate marker of RNS production.

Results: An increased level of spontaneous (non-stimulated) RNS production (1.5-3 fold of control) was observed in BM cell isolated from animals exposed to low doses of ionizing radiation as well as in their offspring. No significant changes in overall metabolic activity and spontaneous ROS production were found.

An altered BM cell's reactivity was identified. An oxidative burst was enhanced in response to phorbol ester but not to opsonized zimosan. The nitrosative burst to opsonized zimosan was slightly depressed while response to endotoxin was nearly equal to control level. These facts taken together indicate alterations in ballance of intracellular signaling cascades mediated by receptor-dependent pathways (TLR 2, TLR 4, Dectin 1, CR3).

Conclusions: Mentioned above alteration could underlies such delayed adverse effects of exposure to IR as increased morbidity, cancer rate as well as decreased fertility and resistance to infection and invasions. An increased RNS production in bone marrow cells persists at least during four generations of rat repeatedly exposed to low doses of ionizing radiation. The intensity of this effect decay with the number of generations. Taking into account pathophysiological significance of increased RNS production and design of experiment (panmixia), found phenomena could be recognized as a one of the evolutionary mechanism of selection of genotypes most adaptable and resistant to action of low doses.

EFFECT OF MINERAL AND ORGANIC SOIL-IMPROVING ADDITIVES ON THE BIOAVAILABILITY OF CESIUM IN THE ORGANIC SOILS

O.I. Popova, A.N. Nikitin

Institute of Radiobiology of National Academy of Sciences of Belarus”, Gomel, Belarus, olga.popova-2009@yandex.ru, nikitinale@gmail.com

Abstract. The current world situation is characterized by an increase in the number and severity of global problems: climate change, reduction of arable land, food safety, environmental pollution and many others. This situation raises the need to find means and methods to address these problems now or shortly.

Taking into account the quality and production costs is important now while using radio-ecological countermeasures to reduce the intake of radionuclides in food products. One of these solutions are the technologies associated with the use of biochar.

Among the characteristics of biochar are large free surface area per unit weight and volume, as well as high sorption capacity. This fact allowed us to hypothesize that the application of biochar to the soil will not only increase its fertility but reduce the accumulation of agricultural products such pollutants as heavy metals and man-made radionuclides.

Based on the results of the laboratory experiment, we propose optimal dose of different combinations of biochar and microbial products of organic wastes enzymatic treatment to reduce uptake of ^{137}Cs from peat soil to plants.

These results allow us to offer a new method of reduction of radioactive cesium transfer into crop production. The advantages of this method are low-cost meliorate (product of pyrolysis of organic waste) and long-term effect. Implementation of the proposed method will reduce the cost of crop production on soils contaminated with radioactive cesium isotopes.

THE INTESTINES MICROBIOTA OF LIQUIDATORS OF THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER STATION

G.G. Rodionov, I.E. Ushal, E.A. Kolobova, E.V. Svetkina, E.I. Pavlova

The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia Saint-Petersburg, rodingeor@yandex.ru

Abstract. Results of mass spectrometry analysis of microbial markers in whole blood of 129 liquidators of the accident at the Chernobyl nuclear power plant were presented to study the wall (blood samples) intestinal microbiota. The microecological status of the person, more precisely, maintenance of its homeostasis, is a necessary condition of stable functioning of all its organs and systems, resistance to diseases and longevity maintenance at high quality of a life. It is known, that microbes in a human body produce more than 60 % of the substances that are necessary for functioning of internal organs and a skin. Intestinal microbiota is a source of maintenance of structural and functional intestinal immunity. From here follows, that regulation of its structure represents promising therapeutic strategy for the purpose health maintenance. Mass spectrometry of microbial markers permits simultaneous in situ determination more than one hundred microbial fatty acids in clinical samples. The method provides a new version of molecular microbiological study due to the possibility of simultaneous quantitative determination of microbial markers directly in biological samples without culturing

the microorganisms and the using of biochemical test materials and genetic primers. The study microbiota blood by gas chromatography-mass spectrometry of microbial markers indicate of the presence expressed intestinal dysbiosis in the examined liquidators of the accident at the Chernobyl nuclear power station. It was found the total number of microbial markers increased in the blood, the level of microbial markers Propionibacterium / Clostridium sub-terminale increased two-fold with decreasing in Lactobacillus; the number of microbial markers of opportunistic microbiota increased in blood). These individual profiles of microbiome served as the basis for targeted correction of violations.

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF RADIATION PROTECTION AND RADIATION SAFETY STANDARDS IN BELARUS AFTER THE CHERNOBYL DISASTER

I.V. Rolevich, G.I. Morzak, E.V. Zelenuho

The Belarus National Technical University, Minsk, igor_rolevich@tut.by

Abstract. The retrospective analysis of the organization of radiating protection and radiating safety of the population in Belarus has shown that the carried out actions for radiating protection have allowed to lower a collective dose of an irradiation of the population by means of the technical, administrative and economic measures, essential to improve scientific understanding of the possible reasons, scenarios and consequences of failures on nuclear power stations, to raise readiness to liquidate a consequence of nuclear failures, including understanding of efficiency of various protective measures and to create possibilities at national level in Belarus on environment pollution abatement by radioactive materials, including accumulation of expert knowledge, creation of technical base and the corresponding organizations. Accident on ЧАЭС has led to serious medical and radio ecological consequences, has affected all spheres of ability to live of the person: manufacture, culture, a science, economy, etc. in Belarus. Liquidation of accident and its scales only in the first months have demanded huge material and human resources. In the polluted territories during this period it has been involved more than 115 thousand Belarus liquidators, 5 regiments of chemical protection and civil defense. Divisions of military men and volunteers have been directed to a disaster zone, the technician, building materials, clothes, foodstuff. «We should remember the disinterested heroism shown by rescuers, working on a tragedy place, about sufferings more than 330 thousand the people moved from polluted areas, about sense of danger and fear which was tested by millions inhabitants of adjoining regions». (K.Annan)

PHYSICOCHEMICAL STATE AND MOBILITY OF PLUTONIUM AND AMERICIUM IN SOIL AFTER CHERNOBYL CATASTROPHE

G.A. Sokolik, S.V. Ovsianikova, S.L. Leinova, T.G. Ivanova

Belarusian State University, Minsk, Belarus, sokolikga@mail.ru

Abstract. Transformation of physicochemical state and mobility of plutonium and americium in soils in the course of time have been investigated. The plots under investigation were located in the Polessie State Radiation-Ecological Reserve (PSRER) and outside of this area within a territory of Belarus contaminated by transuranic elements of Chernobyl origin. It was found that, in 1987, in soils of the plots removed at the distance of 20–40 km from the

accident place, a density of “hot” particles with activity more than 0.01 Bq was $3.9 \times 10^5 - 1.2 \times 10^6$ particles $\times m^{-2}$. In 2001, the level of “hot” particles contamination declined to ≤ 500 particles $\times m^{-2}$ and, in 2009, it became ~ 10 particles $\times m^{-2}$. From 1987 to 1997, a beta-activity of “hot” particles in these plots decreased annually with the factor of 1.2–1.5. The received data on vertical migration of plutonium and americium in the soil profiles and the data on radionuclide speciation in soils indicated a low migratory ability of plutonium and americium in the most soils before and after destruction of “hot” particles. Humidity, acidity and composition of organic matter of soils influenced significantly on the physicochemical state and behavior of plutonium and americium in soil medium. In general, soil organic matter (mainly the humic acid components) promoted fixation of plutonium and americium in the solid phase and decreased their mobility in soil medium. The higher migratory ability and bioavailability of americium could be explained the more portions of exchangeable americium in soils in comparison with those for plutonium.

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR CROP PRODUCTION MANAGEMENT ON AREAS RADIOACTIVELY CONTAMINATED AFTER OF THE CHERNOBYL ACCIDENT

S.I. Spiridonov, V.V. Ivanov, N.I. Sanzharova, T.V. Perevolotskaya

Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia spiridonov.si@gmail.com

Abstract. Program code *ReSAL* for decision-making support on plant cultivation management on radioactively contaminated areas was developed. The program is designed for assessment of the efficiency of actions that provide the reduction of radionuclide accumulation in crop products. The structure consists of three specialized software modules for the management of crop, fodder production and livestock farms on the contaminated territories of Bryansk region. The structure of each *ReSAL* module includes calculation modules, mapping unit and a database containing the information necessary for calculations. The indicators in the database include parameters on ^{137}Cs transfer into units of agricultural chains and characteristics of rehabilitation measures. The assessment is based on a set of radiological and economic criteria. Information on averted dose divided by the cost allows to select events in terms of radiological and economic approaches. At calculation of risks of sanitary and hygienic standards exceeding the important aspects of the probabilistic assessment of agricultural products contamination is taken into consideration. «Openness» of *ReSAL* software allows to supplement the database with information obtained during monitoring studies. The computer program provides the user with the following information: map-scheme of farm land use, tables including a set of numerical values of the above-mentioned criteria for each considered farm. The results of calculations for test farm situated on the territory of Bryansk region contaminated after the Chernobyl accident are given.

THE REVIEW OF MODERN METHODS FOR MEASURING ACTIVITY OF TRANSURANIC ELEMENTS OF CHERNOBYL GENESIS

R.K. Spirov, A.N. Nikitin

Institute of Radiobiology of the NAS of Belarus, Gomel, ruslan.spirov@yandex.ru

Abstract. Discovering, production and estimation of chemical properties of transuranic elements actively educed in the forties of past century in relation with potential ability of new elements to serve as sources of nuclear energy. During the same time radiochemistry methods necessary for production of weight quantities of a certain element in the pure state have been formulated. The further studying of chemical properties of transuranic elements, and also their compounds, has allowed to widening a methodical arsenal of radiochemists, thereby becoming a basis for modern methods of measuring activity of transuranic elements in objects of environment.

Tests of the nuclear weapon conducted in the early sixties of the XX-th century became the main source of global accumulation of transuranic in environment and have served as the cause of more attentive approach to ecological conditions of the terrain occupied with the human beings. Nevertheless, on April, 26th, 1986, as a result of failure on the Chernobyl nuclear power station, about 23 % of a total area of Belarus has polluted by man-made radioisotopes. Alpha-radiating transuranic elements of Chernobyl genesys are presented basically by isotopes of plutonium-238,239,240 and americium-241. The small level of scrutiny at that point in time behaviour of transuranic elements in ecological systems, their high radio toxicity for alive organisms, and also the big radiological danger arising owing to augmentation of motility of filial radioactive isotopes, has stimulated scientists at the international level to discuss questions of radioecological conditions of environment, having created thus a new coil in development of methods for measuring activity of transuranic elements.

LATERAL FORCE MICROSCOPY AS AN NEW TOOL IN RADIOGENIC CANCER RESEARCH

M.N. Starodubtseva¹, I.E. Starodubtsev¹, D.R. Petrenyov², N.I.Yegorenkov¹

¹ *Gomel State Medical University, Gomel, Belarus, yegorenkov-n@mail.ru*

² *Radiobiology Institute of NASB*

Abstract. One of the late radiation effects of Chernobyl atomic power station accident is a high number of oncologic diseases among the citizens of Belarus. Mechanical phenotyping of cells by atomic force microscopy (AFM) was recently proposed as a new tool in cancer cell research as cancer cells undergo massive structural changes, comprising the cytoskeleton rearrangements and changes of cell adhesive and friction properties. Using atomic force microscopy, we studied the parameters of surface relief (surface geometry) and physico-mechanical properties' microscale maps (the parameters of sliding friction force and fractal dimension of lateral force map for the surface layers of human epithelial cancer cells (larynx, HEp-2c; lung, A549; breast, MCF-7) and human skin fibroblasts within the broad range of test temperature (15-90 °C) including the physiological temperatures (35-42 °C). Significant change in the values of physico-mechanical properties with increasing temperature was observed in the temperature range above 40-55 °C, which related by us to the processes of cytoskeletal protein thermal denaturation that increased the segmental mobility in protein macro-

molecules. Cell modification with chemical reagents that cause the intermolecular cross-links (glutaraldehyde) changes the cell physico-mechanical properties and the rate of their change with increasing cell sample temperature. The physico-mechanical properties of the cancer cells and fibroblasts were shown to be significantly different. Moreover, we revealed that the cancer cell of different subtypes differed in the physico-mechanical properties too. The AFM-based parameters of geometrical and physico-mechanical properties of the cell surface can be considered as markers of cell pathology and effectively used in radiogenic cancer research.

INFLUENCE OF THE PROLONGED IRRADIATION SIMULATING DOSES IN LIQUIDATORS OF THE CHERNOBYL ACCIDENT ON THE HEART RATE VARIABILITY

D.G. Stashkevich

*Institute of radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel,
dmitryst@tut.by*

Abstract. The investigation of mechanisms of extracardial regulation of the heart rhythm (the heart rate variability) was carried out. Objective of the work – to evaluate the effect of prolonged irradiation simulating radiation doses in liquidators of the Chernobyl accident on the heart rate variability of the animals.

The studies were performed on female albino rats (Wistar original genotype). Animals (5-6 months of age) were exposed to irradiation by external cesium source (dose 1.0 Gy, 0.65 mGy/h). Animals were taken to experiment during the process of irradiation. The studies were conducted at doses of 0.125 Gy, 0.25 Gy, 0.5 Gy, 1.0 Gy. Heart rate variability is the physiological phenomenon of variation in the time interval between heartbeats. It is measured by the variation in the beat-to-beat interval. Although cardiac automaticity is intrinsic to various pacemaker tissues, heart rate and rhythm are largely under the control of the autonomic nervous system.

To go right to the heart of the problem it must be admitted that after irradiation (from 0.125 Gy to 1.0 Gy) changes in the heart rate variability were noted. The data indicated a significant magnification of function of the hypothalamic–pituitary–adrenal axis that was related with increase of the synthesis and release of the adrenocorticotrophic hormone and catecholamines in blood.

All things considered, the obvious conclusion to be drawn is that the influence of the irradiation is characterized by changes in cardiovascular system regulation. Findings data are said about the reduction of adaptation possibilities of the organism.

CYTOGENETIC DISORDERS IN THE EPITHELIAL LENS CELLS OF FISH IN THE WATER RESERVOIRS OF PSRER

S.N. Sushko¹, A.M. Slukvin², E.A. Klementyeva¹

¹*Institute of radiobiology of NAS of Belarus, Gomel*

²*Institute of genetics and cytology of NAS of Belarus, Minsk*

Abstract. The aim of the research is determine the concentration of long-lived isotopes of uranium in the organs and tissues in different species of fish living in waters of the Chernobyl zone and to assess their impact on the mutation process.

In this paper there are shown species differences of hydrobionts in accumulation of uranium. Also, there are found: the nature of uranium distribution in the body of freshwater fish; the features of an isotopic composition of uranium in water bodies of Chernobyl exclusion zone; a correlation between the dose load of uranium and the frequency of aberrations in the epithelium of a crystalline lens.

The analysis of uranium isotopes in the fish in ponds of the Chernobyl zone showed that organs of aquatic organisms (Perstok lake) on the content of uranium isotopes can be arranged in the following order: otoliths → roes (caviar) → spine → muscles. The organs of river hydrobionts (Pripyat river) on the content of uranium are arranged as follows: otoliths → spine → roes (caviar) → muscles.

It's found, that the frequency of aberrant cells in the studied fish species from Perstok and Pripyat is 1.5 – 2.3 times higher than the maximum level of spontaneous chromosome aberrations in epithelium of a crystalline lens of the fish. The frequency of aberrant cells in crucian was significantly different from that of tench in Perstok, apparently, due to the amount of fish taken for research, their age composition.

Compared with non-aggressive fish species from Perstok (crucian, tench), in predatory fish species (pike, Pripyat) the maximum frequency of aberrant cells was fixed, which is probably associated with a higher inflow of radioactive suspended matter from the drainage basin of the river, as well as the with an active nutrition of pike (it's the final link in the food chain, accumulating radioisotopes in organs and tissues).

The average values of man-made uranium ^{235}U in fish (silver crucian – 7.61 mg / kg $\times 10^{-3}$, tench – 3.76 mg / kg $\times 10^{-3}$, pike – 7.68 mg / kg $\times 10^{-3}$) showed a direct correlation with the frequency of aberrant epithelial cells in epithelium of a crystalline lens of fishes.

THE INFLUENCE OF ECOLOGICAL FACTORS OF CNPP EXCLUSION ZONE ON CELLS OF THE HEMATOPOIETIC SYSTEM

S.N. Sushko, S.V. Goncharov, Ye.M. Kadukova

Institute of radiobiology of NAS of Belarus, Gomel

Abstract. The analysis of hematology effects in mice irradiated in the Chernobyl Exclusion zone was given; the combined influence of chronic irradiation followed by exposing animals to a carcinogen was studied.

Exposing mice to γ -irradiation (3,3 \pm 0,1 $\mu\text{Gy/h}$) in the Chernobyl exclusion zone during 4,5 months does not cause significant changes in the content of red blood cells, MetHb and hemoglobin, compared to control, whereas there are changes in quantitative and qualitative composition of white blood cells: the increased share of segmented neutrophils and the decline of band neutrophils, the appearance of hyper segmented neutrophils and cells with fragmented nuclei. The observed significant decrease in the number of monocytes (34% of control) under conditions of chronic irradiation can be associated with changes in the bone marrow proliferative activity and adversely affect on formation and regulation of immune response.

The intraperitoneal injection of urethane reduces MetHb, spleen mass index in both intact mice (at 41-43%) and in mice exposed in the Chernobyl exclusion zone.

The use of urethane may be considered as a variant of physiological stress-test, and can be adapted for studying latent radiation damages, genomic instability and the genetic load formation. Increasing periods of exposing experimental animals in the Chernobyl exclusion zone has an impact on the intensity of metabolic processes in cells and increases the animals' sensitivity to the exposure of non-radiation factors.

THE THYROID AND REPRODUCTIVE SYSTEM IN OFFSPRING OF ^{131}I EXPOSED PARENTS (CLINICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES)

V.V. Tal'ko¹, O.V. Kopylova¹, Ye.M. Prokhorova¹, O.A. Boyko¹,
N.P. Atamanyuk¹,
O.S. Vatlitsova¹, L.V. Neumerzhytskaya¹, I.P. Drozd², A.I. Lypskaya²,
O.Ya. Pleskach¹, A.A. Chumak¹

¹SI "National Research Center for Radiation Medicine,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine

²Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine

Abstract. The objective of this study was to investigate the effects of endocrine radioiodine offspring of irradiated parents. It was supposed to characterize the status of individual regulatory units of the endocrine system and the features of puberty. The experimental part of the study involves the assessment of the effects due to exposure radioiodine parents and produce offspring of animals (white laboratory rats) received the radiation dose to the thyroid within values characteristic of acute "iodine" period.

Survey of the 2155 children (for period 2010-2014) born from parents exposed to ionizing radiation in the childhood after the Chernobyl NPP accident had revealed some disorders of the central and peripheral pathways of hormonal regulation being clinically evident as obesity, insulinresistance, leptinresistance, abnormal thyroid metabolism, disorders of menstrual cycle establishing at a background of some decrease of ovarian size and there irregular echostructure all resulting in the dysfunctional disorders being risk factors of female and male infertility.

The experimental model to determine the functional state of hypothalamic-pituitary-thyroid and pituitary-gonadal system in white laboratory rats born from animals exposed to ^{131}I incorporated by a single oral administration of an aqueous solution Na^{131}I . Changes endocrine regulation characterized by stable levels of thyroid hormones (T_3 , T_4) and increased content of pituitary hormone TSH in serum, decrease the concentration of testosterone in male and increase in females, indicating discoordination of functioning pituitary-thyroid and pituitary-gonadal links.

COMPARATIVE ANALYSIS IN THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL EFFECTS OF CHRONIC EXPOSURE FROM INCORPORATED PLUTONIUM RADIONUCLIDES ON THE BLACK SEA HYDROBIONTS

N.N. Tereshchenko, V.Yur. Proskurnin, T.A. Krylova

*The A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of Russian AS,
Sevastopol, ntereshchenko@yandex.ru*

Abstract. Due to the accident at the Chernobyl nuclear power plant the Black Sea ecosystems were contaminated with alpha-radionuclides of plutonium ($^{239,240}\text{Pu}$). These radioactive isotopes, we can use as tracers, provide an opportunity for "in vivo" determination of radioecological parameters of anthropogenic radionuclide redistribution in the marine ecosystems. This, in turn, serves as a scientific basis of approaches development for the assessment of potential radiation effects on living organisms in natural ecosystems caused by the expected levels of radionuclides. Based on field observations (radiochemical method of determination of Pu was used and the $^{239,240}\text{Pu}$ activity with alpha-spectrometer was measured), model calculations as well as on the Pol-

Polikarpov's conceptual model of chronic action zonality of ionizing radiations dose rates in the nature the levels of expected ecological effects on marine organisms in the wide range of radionuclide concentrations in seawater and the border $^{239,240}\text{Pu}$ concentrations in sea water for each Polikarpov's zone have been determined. Depending on the accumulative ability of marine organisms against $^{239,240}\text{Pu}$, the border critical concentrations of these radionuclides in seawater varied in the range of 3 orders of magnitude for different groups of the studied Black Sea hydrobionts.

BELARUS NATIONAL COMMISSION ON RADIATION PROTECTION: THE RESULTS OF 25 YEAR ACTIVITY.

V.I. Ternov, A.N. Stozharov, Ya.E.Kenigsberg

National Committee on radiation Protection, Minsk, Belarus, dhme@tut.by

Abstract. The Belarus National Commission on Radiation Protection was established in 1991, based on the former Byelorussian Soviet Socialist Republic Supreme Council Resolution. The Commission works out recommendations on the radiation protection to submit to the state authorities, state institutions under the Republic of Belarus Government and state research institutions, reviews and assesses scientific data in the field of radiation safety and makes suggestions in regards of the implementation of the achieved developments. The Commission engages leading scientists and practitioners from Belarus, involved in the provision of the radiation protection and safety in the state. The methodological cornerstone for the Commission activities was chosen to be the commitment to the worldwide accepted approach of the nature and magnitude of the undertaken protective measures justification in the field of radiation safety. The Commission adheres the ALARA optimization criteria as the core of the aforementioned approach. The Commission has also submitted to the Government a number of developments which were crucial in the highest level managerial decisions elaboration. The latter impacted directly the state tactics and strategy in the environmental, health and social consequences of the Chernobyl disaster minimization. Following the recommendations of the international institutions (ICRP, IAEA, UNSCEAR, FAO/WHO), developments of the colleagues in the Russian Federation, Ukraine and the local regional experience, the Commission proceeds with the expert observation of the ongoing protective measures to reduce the radiation impact and population exposure resulted from the Chernobyl disaster, is actively occupied in the radiation safety ensuring at the Belarussian nuclear power plant being under construction, much contributes to the state Law "On Radiation Protection of Population" new version and other regulatory instruments elaboration.

RADIOECOLOGICAL ASSESSMENT OF MEADOW, AND RIVERSIDE AND WATER VEGETATION OF THE RIVER SOZH FLOODPLAIN IN VETKA DISTRICT

S.F. Timofeev, N.M. Dajneko

F. Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus, sertimo@mail.ru

Abstract. Fieldwork was carried out in 2013–2015. We studied 7 meadow and 3 coastal-water ecosystems of the river Sozh floodplain in Vetka district.

Beckmannia eruciformis, Agrostis stolonifera, Agrostis tenuis, Ptarmica vulgaris, Carex acuta, Juncus compressus, Deschampsia cespitosa dominated on the studied plots. The

density of floodplain meadows radioactive contamination ranged from 4 to 24 Ci/km². Specific activity of grass fodder was variable due to high diversity of radioactive contamination.

Radiological analysis revealed that the herbal fodder derived from *Caricetum gracilis*, *Agrostio stoloniferae* – *Beckmannion eruciformis* meadow plant associations (plots 1 and 5) can be used without any restrictions. The content of radioactive cesium ranged from 408 to 1087 Bq/kg.

The herbal fodder derived from *Trifolium repens*, *Deschampsietum cespitosae* и *Deschampsio* – *Agrostietum tenuis* plant associations (plots 3, 4 and 6) is suitable for milk producing with a following recycling into other dairy products (e.g. cream, butter). The content of the radionuclide was 1465 – 1525 Bq/kg. The herbal fodder derived from *Junco compressi* – *Agrostietum stoloniferae* association (plots 2 and 7) is not suitable for farm animals feeding due to high specific activity. The content of radioactive cesium was 1902 – 3488 Bq/kg.

Study of coastal water ecosystems indicates that the cesium content in water does not exceed 3 Bq/l. The content of the radionuclide in waterbodies soil and banks soil ranged within 111–1615 Bq/kg. The content of cesium in plants exceeded the standard value 2,3 – 5,2 times. The main part of the studied vegetation fit the standard value.

LEUKEMIA INCIDENCE RATES IN THE REPUBLIC OF BELARUS

A.A. Cheshik, E.A. Nadyrov, I.V. Veyalkin

The Republican Research Center for Radiation Medicine and Human Ecology, Gomel, Belarus, veyalkin@mail.ru

Abstract. Leukemia is one of the most expected malignant neoplasms, which could be associated with radiation impact. There have been no epidemiological studies, which described population levels of leukaemia in Belarus for the long time after Chernobyl disaster. Thus the aim of this study was to estimate leukaemia rates in Belarus for the 1991-2014. Data of Belorussian Cancer Registry were analyzed by calculation of crude rates (CR), age-specific rates (AsR) and age standardized rates (ASR). Trend analysis was realized by investigation of average annual percentage change (APC). There were found 23 683 cases of leukemia (C91-C95) in Belarus for 1991-2014. AsR are higher in males than females and 0-4 years old children have higher risk of leukaemia (acute forms mainly) than 5-44 years old people. After 45 years old risk of leukaemia is growing rapidly (chronic forms mainly). Trend analysis has not shown any significant growth of both crude and standardized incidence rates (APC is about 1%) CR is higher for rural than urban residents, but ASR contrary is higher for urban than rural, that could be explained by different age structure of these populations. There have been no significant differences in ASR by areas of the Belarus, especially in highly contaminated areas of Belarus (in Brest area ASR=6,0±1,64; in Vitebsk area ASR=8,1±2,0; in Gomel area ASR=7,4±1,65; in Grodno area ASR=9,6±2,19; in Minsk area ASR=7,3±1,65; in Minsk-city ASR=7,5±1,32; in Mogilev area ASR=8,4±2,2 and in whole Belarus ASR=7,7±0,25). Obtained data can be used in further epidemiological studies of leukaemia risk in the groups of high radiation exposure.

THE CHRONIC INFLUENCE OF RADIOECOLOGICAL PSRER FACTORS ON REPRODUCTIVE FUNCTION OF LABORATORY ANIMALS

N.V. Chueshova, K.N. Shaforost, D.A. Nozdryov, N.N. Veyalkina

*Institute of Radiobiology of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel,
svetsu50@mail.ru*

Abstract. Well known that acute radiation influence first affects reproductive system function. Nevertheless, the effect of chronic low dose radiation effects are still disputable and not completely investigated yet. The aim of this study was to estimate the chronic influence of radioecological PSRER factors on reproductive function of laboratory animals.

We have investigated the rate DNA damage in sperm (by DNA fragmentation index) and structure of population of spermatogenic cells in mice Af after their exposing in PSRER (p. Masany) for a month and in their progeny which were born in the vivarium. The control group consisted of mice Af living in vivarium for the same time under standard conditions. The dose rate on the soil surface in the area of animal residence was $3,3 \pm 0,10 \mu\text{Gy/h}$.

There have been found the significant testicle and epididymis mass index reduce in observed mice: testicles – up to 68% and epididymis – up to 83%. In addition, we have observed the statistically significant changes of spermatogenic cells population and increase of DNA fragmentation index in spermatozoa (over 88%). The number of F1 breed from exposed group was significantly lower than from controls (56%) and sex ratio was shifted towards females (9,35%).

Thus we can conclude that one month staying under conditions of high exposure of γ – radiation negatively affects most important functions of male reproductive system of mice Af regarding testicles and epididymis mass index, DNA fragmentation index and spermatogenous cells distribution. This consequently touch their F1 offspring that has been expressed as sex ratio change and reduced number of newborn.

DYNAMIC MODEL ESTIMATE OF AVERAGE ANNUAL INTERNAL DOSE SETTLEMENTS LOCATED IN TERRITORIES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

L.A. Chunikhin¹, D.N. Drozdov²

*EI «Gomel state medical university», Gomel, Belarus
EI «Gomel state university named Skaryna», Gomel, Belarus*

Abstract. Dynamics of decline of internal dose due to the natural decline of radionuclides, as well as a number of natural and social characteristics prevailing in the affected areas. The impact of these features is most interesting because they allow evaluating the prospect of reducing the dose of the population loads. To estimate the average annual doses to residents of settlements currently there are several methodological approaches. The main methodological approach for the Republic of Belarus developed on the basis of instrumental WBC measurements of individual internal doses limited sample of residents of the village. For multi-year period of observation dataset allows you to develop a unified model of dynamic assessment of internal dose of rural settlements located in the territory of radioactive contamination. The paper proposes a dynamic model to estimate the average annual effective internal dose of inhabitants of the settlements located in the contaminated areas of Belarus. Dynamics

of reduction of the reduced dose is well described by two exponential models. The first exponent approximates the fast component in the initial time interval (fast phase), while the second describes the exhibitor section of the slow curve of decline reduced internal doses thereafter (the slow phase). Dynamic model takes into account the peculiarities of internal dose and allows adequately and correctly estimate the average annual values, as confirmed by a comparison with the data of the official directory of doses and the results of sample comparisons to benchmark settlements.

FEATURES OF INFLUENCE OF GAMMA-RADIATION ON THE PLANTS THEIR FUNCTION IN EXTREME CONDITIONS

N.V. Shamal

Institute of Radiobiology of the NASB, Gomel, Belarus, namahasha@rambler.ru

Abstract. The radioactive environmental contamination caused by accident on the Chernobyl atomic power station, stimulated working out of a problem of radiating protection biota, that demands research of radiating effects in biological objects and studying of a dose-effect relationship. Radiating effects at cellular level come to light in the form of cytogenetic damages and find reflection in effects on organism, connected with change of growth processes, rates of development, exchange processes. Change of physiological functions at plants depends on a dose of irradiation, a phase of development of plants and a environmental factors.

The aim of study was to evaluate the functional state of barley grown from gamma-irradiated seeds, growing in saline conditions of the environment. The doses of irradiation were 2.5 and 5.0 Gy. γ -irradiation of seeds raises the sensitivity of plants to the following action of the stress-factor. A salinization when germinating of seeds act as the factors modifying action of an ionizing radiation. In the analysis of apical meristems of the root it indicates that stress factor leads to inhibition of germination and death of weaker individuals in a population, which leads to a decrease in the level of aberrant cells, cell damage and changes in the spectrum of aberrations in the population.

The plants of the barley which has grown from irradiated in doses 2,5 and 5,0 Гр of seeds, have high potential of adaptation to action of saline stress, that is expressed in higher maintenance of photosynthetic pigments, fiber in leaves and finally in increase of indicators of efficiency in comparison with not irradiated plants

STATE OF THE LIPID PEROXIDATION PROCESSES IN TISSUES OF WILD RODENTS IN THE ACCIDENT ZONE OF THE CHERNOBYL NPP

I.N. Shishkina¹, A.G. Kudyasheva², O.G. Shevchenko², N.G. Zagorskaya², A.I. Taskaev²

¹*Emanuel Institute of Biochemical Physic of Russian Academy of Sciences, Moscow, shishkina@sky.chph.ras.ru*

²*Institute of Biology, Komi Scientific Center of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia*

Abstract. Results of the investigations of the radioactive contamination consequences on the state of the lipid peroxidation (LPO) processes (antioxidant and antiperoxide activities

of lipids, the amount of peroxides in lipids, the composition of phospholipids, generalized parameters of the lipid exchange) in organs and tissues of wild rodents caught in the Chernobyl NPP accident zone during 1987-1993 and 2007 and at areas with the practically normal radiation background in the neighborhood of the Kiev City during 1993 are generalized. High sensitivity of the LPO regulatory system parameters in the wild rodent organs to the chronic impact of the low dose low-intensity radiation as well as the complex character of their changes are found depending on the radiosensitivity of the wild rodents and time passed after the accident. Absence of the linear dependence in changes of these parameters in rodent tissues on the external γ -radiation dose at areas of their trap is revealed to persist for a long time. Different sensitivity of studied parameters to the radioactive contamination of their environment and their unequal ability to normalization in tissues of rodents which were caught in the accident zone result in changes of the scale and character of interrelations between the reciprocal parameters in norm due to the transition of the LPO regulatory system to the another level of the function and should be the information signal determining selection of the strategy of adaptation to the action of the chronic radiation factor.

HELMINTHIASES IN CATTLE ON FARMS WITH DIFFERENT LEVELS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION ON THE TERRITORY OF BELARUSIAN POLESIE

A.I. Yatusevich, R.N. Protasovitskaya

EE "Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine", Vitebsk, Belarus, uovgavm@vitebsk.by

Abstract. Changes in Parasitic systems depend on the level of radioactive contamination, and one of the main parasitological characteristics of radioactive biocenoses is a high rate of mammals infestation with nematodes-geo helminthes. Of the most interest for evaluation of parasitological situation under conditions of radioactive contamination is the territory of Belarusian Polesie where aggravation of the problem has been marked due to misbalance in the system host-parasite relationship.

The radioactive irradiation affects all the vital cell and tissue systems of a living organism, has a destructive effect on the immune system. Infestation often reinforces the negative impact of radiation on the host. Ionizing radiation significantly affects the mechanisms of host-parasite relationships at the biochemical and immunological levels.

The studies show that on farms with the level of radioactive contamination of 185-555 kBq / m (5-15 Ku / km²) the infection rate of some helminthiases in cattle is higher in comparison with the farms located in clean areas.

The extension of parasitic load on the host population increases, not only due to the increase in the number of infected animals (extensivity of infestation) but rather due to the increase in the level of invasion. The higher is the level of contamination of the territory, the higher is the rate of eggs (larvae) release. We assume that sexual activity of helminthes is determined by distress, decreased immunity of animals as a result of radiation exposure of the host organism. Because of the weakened immunity the rate of infestation by helminthes increases, or the level of radiation directly stimulates the growth of parasites.

**СЕКЦИЯ 2.
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ РЕАБИЛИТАЦИИ
ТЕРРИТОРИЙ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ
РАДИОНУКЛИДАМИ**

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{90}Sr И ^{137}Cs В УРОЖАЕ РАЗЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В АЗЕРБАЙДЖАНЕ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

М.А. Абдуллаев¹, Т.А. Холина²

¹*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан*

²*Бакинский Государственный университет, Баку, Азербайджан,*

tatyana_xolina@mail.ru

Введение. С момента появления искусственных радионуклидов в биосфере начались интенсивные поиски контрмер, исключающих или ограничивающих накопления их в сельскохозяйственных растениях. Одной из таких контрмер стало внесение минеральных удобрений под посевы. Имеющиеся литературные данные по этому поводу очень противоречивые. По данным некоторых исследователей применение таких удобрений снижает, по другим – повышает накопление ^{90}Sr , ^{137}Cs и других искусственных радионуклидов в урожае различных культур.

В свое время В.Г. Маликов с сотрудниками [4] отметили, что под действием минеральных удобрений (НРК и НР) не изменяется поступление ^{90}Sr в растения. В этой же работе отмечается, что внесение совместно калийно-фосфорных минеральных удобрений (РК) на 25% снижало поступление в растения ^{137}Cs и несколько не влияло на усвоения ^{90}Sr растениями.

В естественных кормовых угодьях Полесья Украинской Республики М.И. Ильиным и др. [2] изучен переход ^{137}Cs в растения после Чернобыльской катастрофы. В результате, в Киевской и Житомирской областях, после коренного улучшения естественных кормовых угодий, переход ^{137}Cs из почв в растения снизился в 2 раза. Проведение агротехнических мероприятий в производственных условиях, в том числе внесение высоких доз калийных удобрений и извести способствовало тому, что переход ^{137}Cs в растения в полевых условиях снизился в 16 раз.

Б.С. Пристер с сотрудниками [6] в полевом опыте на дерново-подзолистой почве, подвергшейся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, изучали влияние полных минеральных удобрений и химических мелиорантов на накопление ^{137}Cs в растениях картофеля. В опытах наибольшее влияние на его поступление оказало внесение двойной дозы калия и навоза. При этом удельная активность клубней снижалась в 4,3 и 5,0 раз, соответственно.

Исследованиями Р.Г. Ильязова [3] за время 24-летних экспериментов в реальных условиях радиоактивного загрязнения агроэкоосферы в Белорусском Полесье после Чернобыльской катастрофы была оценена радиоэкологическая обстановка окружающей среды. Автором предложены защитные мероприятия, гарантирующие производство нормативно чистой сельскохозяйственной продукции и радиационную защиту населения.

Учитывая противоречивость этой проблемы, мы, в Азербайджане, поставили перед собой цель – рассмотреть влияние минеральных удобрений (как оптимальных, так и повышенных доз) на поступление ^{90}Sr и ^{137}Cs в урожай различных сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы. Полевые опыты проводились на серо-бурых почвах Абшеронского опытного участка АЗНИИ Земледелия. Удобрения вносили: азот – 100 кг/га действующего начала в виде аммиачной селитры, фосфор – 120 кг/га в виде двойного суперфосфата, калий – 60 кг/га в виде сернокислого калия. Ученая площадь опытных

делянок с пшеницей и ячменем – 10 м², с горохом и соей – 16 м². Повторность в опытах 3-кратная. Ниже приводится схема опытов.

Схема опыта:

Для сои – Контроль (без удобрений), N90P60K30 (оптимальная доза), N135P240K120, N180P480K240;

Для (нута) гороха – Контроль (без удобрений), N30P60K30 (оптимальная доза), N45P240K120, N60P480K240;

Для озимого ячменя – Контроль (без удобрений), N90P90K60 (оптимальная доза), N135P360K240, N180P720K480;

Для озимой пшеницы – Контроль (без удобрений), N160P90K60 (оптимальная доза), N240P360K240, N320P720K480.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты опытов показывают, что внесение оптимальных и возрастающих доз полных минеральных удобрений (особенно фосфорно-калийных) повышает урожайность зерновых колосовых (озимая пшеница, озимый ячмень) и зернобобовых (горох и соя) культур. Прибавка от внесения минеральных удобрений составила для зерна сои 5,7-12,7 ц/га, гороха – 2,7-8,3, озимого ячменя – 9,6-26,0, озимой пшеницы – 12,5-30,5 ц/га, а для соломы этих же культур: 12,7-17,4; 4,4-12,9; 13,3-29,3 и 11,2-28,7 ц/га, соответственно.

Внесение в почву возрастающих доз минеральных удобрений снижало концентрацию ⁹⁰Sr в зерне озимой пшеницы на 10,5-18,0 сБк/кг (или 24,0-41,1%), озимого ячменя – на 23,8-67,7 сБк/кг (или 18,3-47,8%), гороха – на 65,9-98,4 сБк/кг (или 36,0-53,8%) и сои – на 57,5-112,0 сБк/кг (или 30,6-59,7%). Концентрация ⁹⁰Sr в соломе озимой пшеницы по сравнению с контрольным вариантом уменьшалась на 94,2-230,3 сБк/кг (или 22,2-54,3%), озимого ячменя – на 102,7-220,0 сБк/кг (или 21,1-45,2%), гороха – на 176,7-262,1 сБк/кг (или 25,4-37,7%) и сои – на 176,7-262,1 сБк/кг (или 14,5-39,1%) (рисунок 1).

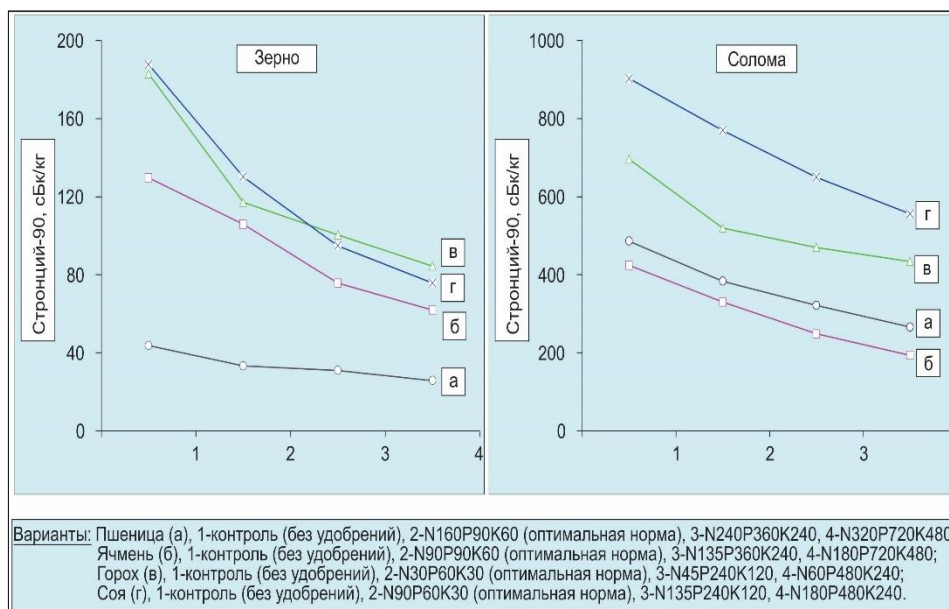


Рисунок 1. Влияние внесения различных доз полных минеральных удобрений на накопление ⁹⁰Sr (в сБк/кг) из почв в урожае зерновых колосовых и зернобобовых культур

Внесение минеральных удобрений в оптимальной и более повышенных дозах снижало концентрации ¹³⁷Cs в зерне озимой пшеницы на 6,1-9,5 сБк/кг (или 40,1-

62,5%), озимого ячменя – на 8,3-14,2 сБк/кг (или 33,2-56,8%), гороха – на 7,3-12,1 сБк/кг (или 32,5-53,8%) и сои – 6,7-16,6 сБк/кг (или 22,0-54,1%). Концентрация ^{137}Cs по сравнению с неудобренным вариантом в соломе озимой пшеницы снижалась на 12,0-21,1 сБк/кг (или 25,8-45,4%), озимого ячменя – на 9,9-24,9 сБк/кг (или 18,0-45,3%), гороха – на 19,1-37,4 сБк/кг (или 24,1-47,3%) и сои снижалась – на 22,3-51,1 сБк/кг (или 21,2-48,9%) (рисунок 2).

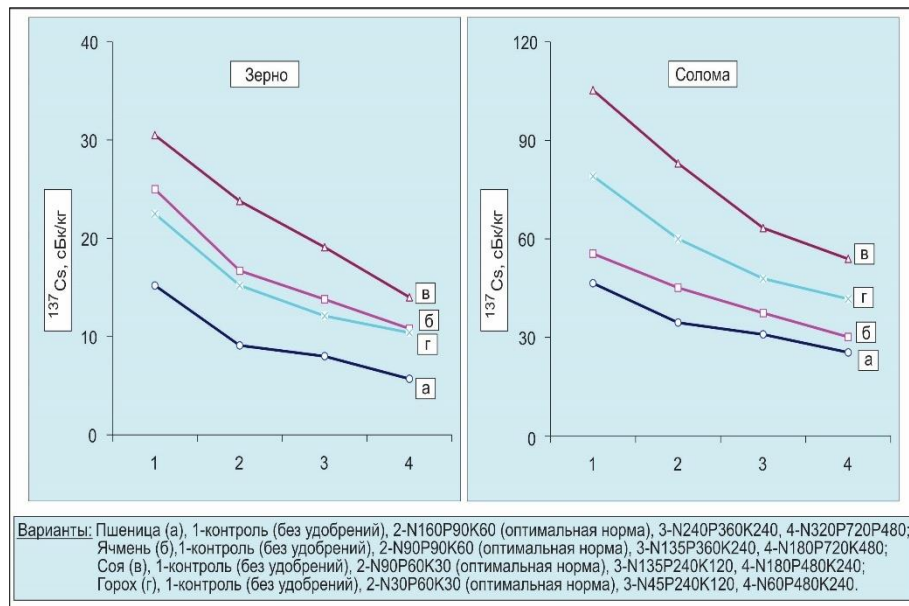


Рисунок 2. Влияние внесения различных доз полных минеральных удобрений на накопление ^{137}Cs (в сБк/кг) из почв в урожае зерновых колосовых и зернобобовых культур

Уменьшение концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в растениях под действием внесения минеральных удобрений может быть результатом «разбавления» радионуклидов, в увеличивающейся фитомассе [1, 5], снижения доступности радионуклидов для корневого усвоения вследствие уменьшения подвижности ^{90}Sr и ^{137}Cs или изменения соотношения доступных форм для растений радионуклидов в почве.

Заключение. Внесение полных минеральных удобрений (НПК) в возрастающих дозах на серо-бурых почвах Абшерона наряду с увеличением урожая зерна в среднем по культурам на 2,7-30,5 ц/га и соломы на 4,4-29,3 ц/га, привело к значительному снижению содержания ^{90}Sr в зерне – на 10,5-112,0 сБк/кг (или 18,3-59,7%), в соломе – на 94,2-353,0 сБк/кг (или 14,5-54,3%) и ^{137}Cs в зерне – на 6,1-16,6 сБк/кг (или 22,0-62,5%) и соломе – на 9,9-37,4 сБк/кг (или 18,0-48,9%) зерновых колосовых и зернобобовых культур.

Литература

1. Алексахин, Р.М. Агрохимия ^{137}Cs и его накопление сельскохозяйственными растениями / Р.М. Алексахин, И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров // Агрохимия. – 1977. – № 2. – С. 129-142.
2. Ильин, М.И. Влияние коренного улучшения естественных лугов Полесья Украины на переход радиоцезия из почвы в травостой / М.И. Ильин, Г.П. Перепелятников, Б.С. Пристер // Агрохимия. – 1991. – № 1. – С.101-105.
3. Ильязов, Р.Г. Чернобыльская катастрофа и агросфера: последствия и контрмеры / Р.Г. Ильязов // Казань: Изд-во «Бриг». – 2011. – 352 с.
4. Маликов, В.Г. Влияние минеральных удобрений и промышленных отходов на поступление радиоизотопов в урожай растений Северного Кавказа / В.Г. Маликов,

Б.И Жуков, Л.В. Перепелятникова // Тез. докл. I Всесоюз. конф. по с.-х. радиологии. М. – 1979. – С. 152.

5. Моисеев, И.Т. К оценке влияния минеральных удобрений на динамику обменного ^{137}Cs в почвах и доступность его овощным культурам / И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров, В.З. Мартюшов, Л.А. Рерих // Агрохимия. – 1988. – № 5. – С. 86-92.

6. Пристер, Б.С. Влияние удобрений и мелиорантов на поступление радиоцезия в растения картофеля / Б.С. Пристер, Л.В. Перепелятникова, В.И. Куновский // Тез. докл. I Всесоюз. радиобиолог. съезда. М. – 1989. – Т. 2. – С. 511.

РИСК ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ЮГО-ЗАПАДЕ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.М. Белоус, С.Ф. Чесалин, И.Н. Белоус

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Россия, bgsha@bgsha.com

Введение. Обеспечение радиационной безопасности территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, способствует экономическому развитию региона, повышению его привлекательности. Эти факторы особенно важны в сложившихся условиях, когда в зонах радиоактивного загрязнения имеет место неблагоприятная демографическая ситуация (как в результате естественных причин, так и отрицательной миграции населения) и наличие негативных тенденций в экономике. В связи с этим проведение специальных защитных мероприятий остается крайне необходимой и эффективной мерой обеспечения населения чистыми продуктами питания [1–3].

Крупномасштабное загрязнение сельскохозяйственных угодий потребовало серьезных усилий по организации агропромышленного производства и привело к необходимости разработки специализированной системы земледелия, обеспечивающей, с одной стороны, расширенное воспроизводство почв, повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и снижение уровня загрязнения радиоактивными веществами получаемой товарной продукции, с другой – гарантирующей экологически безопасное функционирование сельскохозяйственного производства [4].

Трудности получения чистой животноводческой продукции на естественных кормовых угодьях обусловлены рядом причин. На лугах и пастбищах, где не проведено коренное улучшение, основная часть цезия-137 по-прежнему находится в дернине в верхнем горизонте почвенного профиля. Кроме того, в дернине сосредоточена основная корневая масса вегетирующих растений, что обуславливает повышенное поглощение радионуклидов травостоем [5].

Несмотря на существенное улучшение радиационной обстановки, до сих пор не удалось полностью решить проблему обеспечения безопасности населения, проживающего на территориях России, загрязненных радиоактивными веществами. Наиболее критическими являются шесть юго-западных районов Брянской области. Особое внимание в этом плане уделялось изменению содержанию радионуклидов в критических пищевых продуктах, с потреблением которых связано формирование внутренней дозы облучения. В этом отношении в регионе аварии на Чернобыльской АЭС характерны исследования динамики концентрации ^{137}Cs ведущего дозообразующего радионуклида в молоке, представляющем основной критический пищевой продукт в этом регионе. Молоко может рассматриваться как показатель или биогеохимический индикатор радиационной ситуации, так как методы сбора и анализа усредненных проб этого пищевого

продукта позволяют охарактеризовать достаточно представительную по площади территорию [6].

Сравнительный анализ доз облучения населения, проживающего на территории, подвергшийся радиоактивному загрязнению после аварии на ЧАЭС, показывает, что максимальные уровни внутреннего облучения характерны для населения, основу рациона которого составляют местные продукты питания.

Цель настоящей работы – оценить риск получения продукции животноводства и кормопроизводства в условиях юго-запада Брянской области, не соответствующей принятым нормативам.

Материалы и методы. Для изучения риска получения сельскохозяйственной продукции, не отвечающей нормативам, были использованы результаты ежегодных мониторинговых исследований ФГБУ «Брянская межобластная ветеринарная лаборатория» за 2010–2014 года. Эти данные включали уровни загрязнения ^{137}Cs продукции кормопроизводства и животноводства в общественных хозяйствах и населенных пунктах в наиболее пострадавших от радиоактивного загрязнения в результате аварии на ЧАЭС районах Брянской области. Для расчетов использовались выборки данных по каждому виду исследуемой продукции.

В общем виде риск (R) представляет собой долю продукции, содержащую радионуклиды с концентрациями, превышающими нормативные значения:

$$R = V / V_0, \quad (1)$$

где V – количество загрязненной продукции;
 V_0 – суммарный объем продукции.

Использование этого показателя вполне уместно и корректно для анализа и обеспечения продовольственной безопасности, а также страхования агропроизводства на загрязненных и реабилитируемых после радиационных аварий территориях [7].

Величину дозы внутреннего облучения, получаемой за счет молока, рассчитывали согласно методическим указаниям [8].

Результаты исследований и их обсуждение. Основным критерием, определяющим необходимость проведения защитных мероприятий в сельском хозяйстве, является риск превышения норматива содержания радионуклидов в продукции агропромышленного производства. Анализ собранных данных выявил в отдаленный период после аварии на ЧАЭС для всех рассматриваемых районов сильный разброс показателей уровней загрязнения продукции ^{137}Cs (таблица 1).

Таблица 1 – Риск получения в общественных хозяйствах Брянской области продукции животноводства и кормопроизводства, не соответствующей нормативам по удельной активности ^{137}Cs , % (среднее 2010–2014 гг.)

Район	Молоко	Силос	Сенаж	Концентраты	Солома	Трава	Сено
Новozyбковский	5,3	5,7	13,5	0,0	0,1	31,2	16,6
Злынковский	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	25,2	19,8
Клинцовский	10,0	1,1	6,0	0,0	0,0	33,4	18,6
Гордеевский	37,7	0,0	40,4	0,0	0,0	50,9	44,2
Красногорский	6,0	0,0	5,3	0,0	0,0	29,6	9,1

Максимальный риск 37,7% получения продукции животноводства, превышающей допустимый уровень в хозяйствах Брянской области, характерен для Гордеевского района, далее в порядке убывания расположились Клинцовский, Красногорский, Новозыбковский, Злынковский. При этом необходимо отметить, что наиболее загрязненным районом является Новозыбковский. Максимальный риск получения продукции кормо-

производства, превышающей допустимый уровень, выявили также в Гордеевском районе. Необходимо отметить, что критическими продуктами кормопроизводства являлась зеленая масса трав и сено, а в Гордеевском районе еще и сенаж.

Анализ риска получения продукции животноводства в населенных пунктах выше допустимого уровня по содержанию ^{137}Cs выявил, что ведение подсобного хозяйства на радиоактивно загрязненных территориях увеличивает получение молока, превышающего норматив (таблица 2). Так во всех районах происходило увеличение риска с максимумом в Гордеевском районе. По-видимому, это связано с низкой информированностью населения об эффективности защитных мероприятий.

Таблица 2 – Риск получения в личных хозяйствах Брянской области продукции животноводства и кормопроизводства, не соответствующей нормативам по удельной активности ^{137}Cs , % (среднее 2010–2014 гг.)

Район	Молоко	Трава	Сено
Новозыбковский	8,9	34,6	10,8
Злынковский	20,1	36,2	30,1
Клинцовский	23,4	44,1	28,0
Гордеевский	45,8	48,2	56,8
Красногорский	28,1	48,4	37,9

Риск получения продукции кормопроизводства при ведении подсобного хозяйства, превышающей допустимый уровень, был довольно высоким и колебался от 34 до 48% по травам и от 10 до 56% по селу, что еще раз подтверждает критичность ведения лугового кормопроизводства на радиоактивно загрязненных сенокосах и пастбищах.

Согласно нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009), суммарная доза внешнего и внутреннего (за счет поступления радионуклидов в организм) облучения населения не должна превышать 1000 мкЗв/год [9]. В ситуациях, когда уровни облучения превышают допустимые, очень важно дать оценку дозовой нагрузки, т.е. оценить вклад в общую нагрузку отдельных составляющих. В работе оценивали вклад молока.

Доза внутреннего облучения от молока не превышает 1 мЗв/год в условиях юго-запада Брянской области. При этом выявили, что критическим районом по влиянию потребления молока на суммарное облучение явился Гордеевский район, где на молоко приходится около половины суммарного облучения.

Расчет производили при условии, что все производимое молоко потреблялось населением района. Не учитывалось переработка молока и продажа в соседние районы и области. Установили, что в Гордеевском районе почти половина произведенного молока населением по содержанию ^{137}Cs не пригодна для употребления в свежем виде.

Следует отметить, что в Красногорском районе производство молока в населенных пунктах больше, чем в хозяйствах, что увеличивает риск потребления молочных продуктов с превышением допустимого уровня, так как контроль качества продукции практически отсутствует.

Заключение. Несмотря на проведение мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненных территорий, в районах юго-запада Брянской области по-прежнему ситуация с ведением молочного животноводства и луговодства остается критичной. Особенно это характерно для частного сектора, где из общего объема получаемого молока от 9 до 46% превышает допустимый уровень. В связи с этим дозовая нагрузка за счет потребления некачественного продукта увеличивается до 432 мкЗв/год при нормативе в 1000. В целом, представленные данные выявляют потребность в проведении реабилитации не только территорий хозяйств, но и населенных пунктов.

Литература

1. Алексахин, Р.М. Техногенное загрязнение сельскохозяйственных угодий (исследования, контроль и реабилитация территорий) / Р.М. Алексахин, М.И. Лунев // Плодородие. – 2011. – № 3. – С. 32–35.
2. Санжарова, Н.И. Изменение радиационной обстановки в сельском хозяйстве после аварии на Чернобыльской АЭС / Н.И. Санжарова // Агрехимический вестник. – 2010. – № 2. – С. 6–9.
3. Белоус, Н.М. Социально-экономическое развитие районов Брянской области, пострадавшей от Чернобыльской катастрофы / Н.М. Белоус // Вестник Брянской ГСХА. – 2013. – № 4. – С. 41–48.
4. Фесенко, С.В. Закономерности изменения содержания ^{137}Cs в молоке в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / С.В. Фесенко, А.Ю. Пахомов, А.Д. Пастернак, В.А. Горяинов, Г.А. Фесенко, А.В. Панов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2004. – Т. 44. – № 3. – С. 336–345.
5. Подоляк, А.Г. Прогнозирование накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостоях основных типов лугов Белорусского Полесья по агрохимическим свойствам почв / А.Г. Подоляк, С.Ф. Тимофеев, Н.В. Гребенщикова, Т.В. Арастович, В.П. Жданович // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2005. – Т. 45. – № 1. – С. 100–111.
6. Белоус, И.Н. Влияние удобрений и обработки почвы на миграцию ^{137}Cs в почве кормовых угодий / И.Н. Белоус, В.Ф. Шаповалов, Л.П. Харкевич // Земледелие. – 2012. – № 8. – С. 8–10.
7. Спиридонов, С.И. Вероятностная оценка накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и допустимых уровней радиоактивного загрязнения почв / С.И. Спиридонов, В.В. Иванов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2013. – Т. 53. – № 1. – С. 95–103.
8. Фокин, А.Д. Сельскохозяйственная радиология / А.Д. Фокин, А.А. Лурье, С.П. Трошин // СПб.: Лань. – 2011. – 416 с.
9. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523-09. // Российская газета. Специальный выпуск. – 2009. – № 171/1 (приложение).

ДИНАМИКА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТНЫХ МЕР НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЛЯХ БЕЛАРУСИ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

И.М. Богдевич, Ю.В. Путятин

*РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, Беларусь,
brissa5@mail.belpak.by*

Введение. Глобальный характер Чернобыльской аварии обусловил радиоактивное загрязнение обширных территорий Европы, особенно нанеся урон сельскому хозяйству многих стран. С этой точки зрения, аварию на ЧАЭС, как и другую крупную аварию на ФДАЭС в 2011 г., Р.М. Алексахин справедливо относит к сельским авариям, а радиоактивное загрязнение почв считает особым типом их деградации [2].

В наибольшей степени от чернобыльской аварии пострадал аграрно-промышленный комплекс Беларуси, где значительная доля земель была одновременно загрязнена радионуклидами ^{137}Cs (23%) и ^{90}Sr (10%), которые интенсивно мигрируют по сельскохозяйственным и пищевым цепочкам. Широкомасштабные защитные меры и целенаправленная социальная политика руководства страны позволили успешно решить первоочередные задачи здравоохранения и производства нормативно чистых

продуктов питания. Однако, проблему получения качественной и самокупаемой сельскохозяйственной продукции нельзя считать полностью решенной. Актуальным является повышение эффективности капиталовложений в реабилитацию и экономику загрязненных территорий.

Целью настоящей статьи является критический анализ эффективности защитных мер в АПК за послеаварийный период на основе экспериментальных данных, включая и результаты многолетних полевых опытов, учетов и наблюдений, проведенных в Институте почвоведения и агрохимии под руководством авторов.

Материалы и методы. Исследованы почвы пахотных и луговых земель, загрязненные радионуклидами, и применяемые защитные меры в Беларуси за послеаварийный период. Использованы результаты стационарных полевых опытов и сопряженных учетов на производственных посевах в районах Гомельской и Могилевской областей по установлению параметров действия удобрений и мелиорантов на урожайность сельскохозяйственных культур и переход ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукцию. Метод исследований – системный анализ динамики степени кислотности, содержания гумуса, подвижных форм фосфора и калия в почвах по районам, определенной при обследовании почв в сопоставлении с оптимальными параметрами, установленными в полевых опытах.

Результаты исследований и их обсуждение. В проведении защитных мероприятий можно выделить три этапа: 1986–1991 годы, 1992–2000 годы и с 2001 года по настоящее время [5]. На первом этапе были проведены неотложные меры, чтобы предотвратить острые детерминистские эффекты у населения от внешнего и внутреннего облучения. Главными мероприятиями были эвакуация и дополнительное отселение жителей из территорий с недопустимо высокой плотностью загрязнения радионуклидами, дезактивация населенных пунктов и дорог, введение из пользования сильнозагрязненных земель. На оставшихся в использовании землях проведено осушение заболоченных участков и запашка дернины, мелиоративное известкование кислых почв, внесены повышенные дозы фосфорных и калийных удобрений, введен ряд запретительных мер и ограничений. Защитные меры в целом были правильными, но эффективность их на раннем этапе (1986 г.) была невысокой вследствие недостатка ресурсов и специальных знаний у организаторов производства, неполной и несвоевременной информации сельских жителей [11]. Большую помощь в организации экстренных защитных мер, в становлении науки радиэкологии и формировании научных школ в Беларуси оказали ученые, имеющие опыт организации радиационной защиты населения после Кыштымской (Уральской) аварии. Это академики Р.М. Алексахин, Л.А. Ильин, Н.А. Корнеев, Б.С. Пристер и известные ученые, вышедшие из их школ, С.К. Фирсакова, Н.И. Санжарова, С.В. Фесенко, В.А. Кашпаров и многие другие.

Особенностью чернобыльской аварии являлась динамичность радиационной обстановки, что потребовало принципиально нового подхода к организации системы радиационного контроля и защитных мероприятий во всех отраслях сельского хозяйства, включая и переработку сельскохозяйственного сырья. Для этого была создана в Беларуси система научного обеспечения в виде целевых научно-технических программ в период реализации 4-х пятилетних Государственных программ ликвидации последствий чернобыльской катастрофы. В период с 1991 по 2003 год научное обеспечение АПК и комплексные научно-технические программы по проблемам сельскохозяйственной радиологии координировал Институт почвоведения и агрохимии, а с 2004 года по настоящее время – Институт радиологии.

Второй этап детально-ориентированных защитных мер (1992–2000 гг.) проводился в связи с необходимостью дальнейшего снижения доз внутреннего облучения населения и последовательного ужесточения санитарно-гигиенических нормативов содержания радионуклидов в продуктах питания (РКУ-92, РДУ-1993, РДУ-97, РДУ-99). В

условиях преобладающих малопродуктивных почв с низкой сорбционной способностью встала задача формирования почв с заданными агрохимическими свойствами для минимизации перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растительную продукцию. Зонирование только по плотности загрязнения почв радионуклидами стало уже недостаточным. Для разработки комплекса специальных защитных мероприятий в растениеводстве был принят принцип индивидуального учета основных свойств почв каждого поля [4, 6]. Принципиально новым было установление характера эффективного влияния действия вносимых в почву добавок элементов Ca, Mg, K, P и микроэлементов для снижения перехода радионуклидов в продукцию растений в диапазоне концентраций подвижных форм этих элементов в почвах «от низкого до оптимального». Это позволило на материале специально спланированных многофакторных полевых стационаров с различными уровнями степени кислотности и обеспеченности элементами минерального питания разработать простые и эффективные модели прогноза снижения накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растительной продукции. В первую очередь, использовали функции антагонизма и конкуренции химических элементов в почвенном растворе и в растении, а также функции биологического разбавления радионуклидов в результате прибавки урожайности от применяемых макро- и микроэлементов. Таким образом, для дифференциации доз, форм и способов применения мелиорантов и удобрений в качестве защитных мер стало возможным дополнительно использовать огромный массив почвенной и агрохимической экспериментально-аналитической информации, накопленный в Беларуси в доаварийный период. В результате разработаны технологии подбора культур, сортов, обработки почв, эффективного известкования, дифференцированного применения калийных, фосфорных и новых форм комплексных удобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и снижения перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукцию [1, 6–10].

Детально ориентированные агрохимические мероприятия в сочетании с коренным улучшением сенокосов и пастбищ, переспециализацией хозяйств, нормированием рационов животных и применением цезийсвязывающих кормовых добавок, были особенно эффективны. Практически вся сельскохозяйственная продукция в общественном секторе и свыше 98% продукции личных подсобных хозяйств стали соответствовать самым жестким санитарно-гигиеническим нормативам РДУ-99.

Третий период защитных мер проводится с 2001 года для завершения реабилитации загрязненных территорий и перехода к устойчивому экономическому развитию. Важной целевой функцией этого периода является повышение качества производимых продуктов питания до экспортного уровня, при содержании ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукции значительно ниже санитарно-гигиенических нормативов. Для этого проводятся почвоулучшающие мероприятия, модернизация инфраструктуры хозяйств.

В целом, проведенные защитные меры в АПК Беларуси были эффективны, поскольку не только предотвратили свыше 40% коллективной внутренней дозы облучения, но и способствовали созданию определенного фундамента плодородия почв, гарантирующего производство нормативно-чистых продуктов питания на перспективу. На 80-90% площади почв поддерживается оптимальный уровень реакции, содержание подвижных форм фосфора и калия на 10-20 % выше, чем на незагрязненных почвах, хотя нерешенные проблемы воспроизводства плодородия почв еще остаются. Последствия глобальной аварии имеют долговременный характер, и для небольшой, уменьшающейся части населенных пунктов Беларуси ограничения по радиационному фактору будут иметь место до конца нынешнего столетия [3].

Заключение. Контрмеры на ранней фазе чернобыльской аварии (1986) были, в целом, правильными, но эффективность их была невысокой вследствие недостатка материально-технических ресурсов и дефицита знаний, недостаточной или несвоевремен-

ной информации сельских жителей. В дальнейшем проведенные защитные меры в АПК после чернобыльской аварии были высокоэффективными, предотвратили свыше 40% коллективной внутренней дозы облучения населения и обеспечивают теперь производство продуктов питания с содержанием ^{137}Cs в 2-5 раз ниже допустимого уровня, согласно РДУ-99. Создан фундамент плодородия почв для гарантии производства нормативно-чистых продуктов питания на перспективу.

Проблемные вопросы сконцентрировались в сельских подворьях и тех сельскохозяйственных организациях, где преобладают малопродуктивные, зачастую переувлажненные песчаные и торфяные почвы, характеризующиеся высокими коэффициентами перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в продукцию, которая преимущественно убыточна. Требуется дальнейшая корректировка специализации и сбалансированная интенсификация земледелия, чтобы обеспечить повсеместно самоокупаемое, а на плодородных почвах – рентабельное производство сельскохозяйственной продукции. Это позволит одновременно выйти на бездефицитный баланс гумуса и расширенное воспроизводство плодородия почв.

Улучшение радиационной обстановки и нарастающая стоимость материально-энергетических ресурсов требуют корректировки целевых параметров, состава и объемов защитных мер. Очевидна необходимость пересмотра деления загрязненной радионуклидами территории Беларуси на 5 зон, которые уже многие годы не могут быть критерием потребности в проведении мер радиационной защиты населения, поскольку на преобладающей части сельскохозяйственных земель уже возможно производство продуктов питания и сырья для переработки без ограничения по радиационному фактору. Представляется также необходимым пересмотреть и оптимизировать систему радиационного контроля и мониторинга, гармонизировать с ЕАЭС республиканские санитарно-гигиенические нормативы допустимых уровней содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в пищевых продуктах и сельскохозяйственном сырье.

Литература

1. Агеец, В.Ю. Система радиэкологических контрмер в агрофере Беларуси / В.Ю. Агеец // Минск: РНИУП «Институт радиологии». – 2001. – 249 с.
2. Алексахин, Р.М. Радиэкологические аспекты реабилитации сельского хозяйства после аварии на АЭС «Фукусима Даичи» / Р.М. Алексахин, В.Г. Сычев // Плодородие. – № 4. – 2013. – С. 2–6.
3. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича // Москва-Минск: НИА-Природа – 2009. – 140 с.
4. Богдевич, И.М. Научные основы земледелия в зоне радиоактивного загрязнения / И.М. Богдевич // Чернобыльская катастрофа: причины и последствия. – Минск. – 1992. – Ч. 3. – С. 42–60.
5. Богдевич, И.М. Итоги и перспективы агрохимических защитных мер на загрязненных радионуклидами землях Беларуси / И.М. Богдевич // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2011. – № 3. – С. 27–39.
6. Богдевич, И.М. Методика крупномасштабного агрохимического и радиологического обследования почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь / И.М. Богдевич, Г.В. Василюк, В.В. Лапа [и др.] // Минск: БелНИИПА. – 1992. – 26 с.
7. Научные основы реабилитации сельскохозяйственных территорий, загрязненных в результате крупных радиационных аварий / Под ред. Н.Н. Цыбулько // Минск: Институт радиологии. – 2011. – 438 с.
8. Пироговская, Г.В. Медленнодействующие удобрения / Г.В. Пироговская // БелНИИПА. – Минск. – 2000. – 287 с.

9. Путятин, Ю.В. Минимизация поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию / Ю.В. Путятин // Минск: РУП Институт почвоведения и агрохимии. – 2008. – 255 с.

10. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / Сост. И.М. Богдевич и др. // Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси» – 2003. – С. 72.

11. Пристер, Б.С. Чернобыльская катастрофа: эффективность мер защиты населения, опыт международного сотрудничества / Б.С. Пристер, Р.М. Алексахин [и др.] // Киев: Украин. ядерноеобщество. – 2007. – 64 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО КОНСУЛЬТИРОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Н.Я. Борисевич, Е.И. Боскина

Филиал «Белорусское отделение Российско-белорусского информационного центра по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС» РНИУП «Институт радиологии» МЧС Республики Беларусь, Минск, Беларусь, info@rbic.by

Введение. «Дистанционные образовательные технологии», «электронное обучение» – эти понятия уже давно употребляются, когда речь идет о получении образования на расстоянии.

С развитием компьютерной техники, телекоммуникаций и сети Интернет дистанционное обучение получило новый импульс для развития. Стало возможным передавать большое количество информации на расстоянии, размещать материалы для обучения в сети Интернет, что сделало получение образования более доступным. Под дистанционным обучением (*distance learning*) стали понимать такой процесс обучения, при котором используются технологии, не предполагающие непосредственного присутствия преподавателя – в первую очередь, информационно-коммуникационные технологии. В англоязычной образовательной литературе часто используется термин "*open and distance learning*" – «открытое и дистанционное обучение», – подчеркивающий тот факт, что по сравнению с традиционным обучением дистанционное открыто для более широкой аудитории.

Основными задачами системы дистанционного консультирования и информирования населения, проживающего на территориях радиоактивного загрязнения России и Беларуси, являются:

- ликвидация пробелов в знаниях, умениях, навыках по проблемам радиационной безопасности;
- преподавание базовых основ безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях;
- углубленное изучение проблем радиационной безопасности населения, проживающего на территориях радиоактивного загрязнения;
- интенсификация использования методического и материально-технического потенциала российско-белорусского партнерства.

Материалы и методы. Использована система *online*-дистанционного консультирования, которая создавалась как единое организационно-методическое и техническое обеспечение российско-белорусской системы дистанционного консультирования и информирования населения, проживающего на территориях радиоактивного загрязнения России и Беларуси, с общим названием автоматизированного комплекса «Про-

граммное обеспечение российско-белорусской системы дистанционного консультирования и информирования населения радиоактивно загрязненных территорий России и Беларуси». Программное обеспечение представляет собой комплекс, состоящий из четырех подсистем: видеоконференций, отправки обращений, администрирования, связи.

Система дистанционного консультирования позволяет использовать следующие образовательные технологии:

- видеолекции;
- мультимедиа-лекции и лабораторные практикумы;
- электронные мультимедийные учебники;
- компьютерные обучающие и тестирующие системы;
- имитационные модели и компьютерные тренажеры;
- консультации и тесты с использованием телекоммуникационных средств видеоконференции.

Результаты исследований и их обсуждение. Проведение Интернет-мероприятий. В 2014 году проведены совместные информационно-пропагандистские мероприятия по измерению учащимися радиационного фона в местах проживания (в Брянской области, более 100 учащихся школ Новозыбковского района, а также в Гомельской области, около 60 учащихся школ городов Гомеля и Калинковичей). 25 ноября 2014 года организован совместный интернет-семинар, на котором обсуждены результаты измерения радиационного фона. В качестве экспертов были привлечены специалисты Росгидромета, Роспотребнадзора, Института безопасного развития атомной энергетики РАН, Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды.

Центральными площадками проведения мероприятия стали Белорусское и Российское отделения Российско-белорусского информационного центра по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

В Беларуси подобное мероприятие проводилось впервые. На семинаре проведен обмен опытом посредством системы дистанционного консультирования и информирования населения пострадавших в результате чернобыльской катастрофы территорий. Семинару предшествовало проведение Интернет-акции по обсуждению результатов измерения радиационного фона на пострадавших территориях старшеклассниками лицей при Гомельском инженерном институте МЧС Республики Беларусь и гимназии г. Калинковичи.

С результатами измерений можно было ознакомиться на сайте <http://www.rbic.by> Белорусского отделения Российско-белорусского информационного центра по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в разделе «Обмен опытом». Аналогичные измерения проводились учащимися средних общеобразовательных школ и гимназии г. Новозыбкова (РФ). Результаты были опубликованы на белорусских и российских сайтах, озвучены на Интернет-семинаре.

Создание сеанса видеоконференцсвязи в белорусских информационных центрах на основе технологии консультаций и тестов. Опытная эксплуатация и внедрение программного обеспечения (далее – ПО) российско-белорусской системы дистанционного консультирования и информирования населения на территории Беларуси заключалась в создании сеанса связи видеоконференций с каждым из 47 белорусских информационных центров и проверке всех сервисов ПО дистанционного консультирования в этих точках.

Из средств образовательных технологий данного ПО была выбрана технология консультаций и тестов с использованием телекоммуникационных средств видеоконференции. Дистанционное консультирование и информирование населения, проживающего на загрязненных территориях Беларуси, на основе консультаций и тестов с ис-

пользованием телекоммуникационных средств видеоконференции проводилось в 2015 году в 4 этапа.

При проведении мероприятия в каждом из 47 информационных центров осуществлялась рассылка приглашения на видеоконференцию, затем запускалось мероприятие «Тест для школьников». Специалист информационного центра выполнял тест на скорость и на время, получал результат и возможность проверить свои знания с помощью опубликованного файла с правильными ответами.

Разработанные тесты по радиационной тематике могут стать методическим подспорьем для преподавателей школ, руководителей информационных центров.

Технология консультаций и тестов с использованием телекоммуникационных средств видеоконференции была подготовлена на основе программного комплекса знаний по радиационной безопасности (далее – ПКРБ) для инновационного центра ГУО «Лицей при Гомельском инженерном институте» МЧС Республики Беларусь в виде обучающего видеоролика и теста для проверки знаний по курсу «Радиационная безопасность и основы безопасности жизнедеятельности» учащихся разновозрастных групп.

Клиентская часть ПКРБ состоит из двух разделов. Первый предусматривает просмотр обучающего видео, по которому была создана база вопросов теста. Второй раздел – это непосредственно тест. Тест включает 3 части для трех возрастных категорий учащихся. В соответствии с тем, какая группа учащихся была выбрана (1–4, 5–8, 9–11 классы), подбирались вопросы по уровню сложности. После прохождения теста выводился его результат.

Заключение. Средства видеоконференцсвязи позволяют совместить серьезное изложение специальных проблем, интерактивность и обсуждение, в ходе которого можно получить ответы от специалистов. При достаточной технической оснащенности рабочих мест и наличии скоростных Интернет-каналов связи видеоконференции могут стать основной формой проведения дистанционного консультирования и информирования населения территорий радиоактивного загрязнения России и Беларуси.

Реализована концепция информирования через видеоролик – наглядную форму подачи материала. В видеоролике в доступной форме разъясняются понятия, понимание которых может вызвать затруднение. Подытожить полученные знания помогают тесты, с помощью которых внимание учащихся концентрируется на наиболее важных моментах.

Подводя итоги *online*-тестирования, его участники отметили, что опыт проведения мероприятия оказался удачным. В будущем они хотели бы принимать участие в подобных дистанционных консультациях на постоянной основе.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ, ТЯЖЕЛЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПОЧВОГРУНТОВ И ОТХОДОВ ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Г.П. Бровка, И.Н. Дорожок

Институт природопользования, Минск, Беларусь, brovka_gp@tut.by

Введение. На протяжении 30 лет после катастрофы на ЧАЭС остаются актуальными вопросы дезактивации почвогрунтов путем выщелачивания радионуклидов специальными растворами. Механизм этих процессов заключается в многократном внесении определенного количества выщелачиваемого раствора в материал, перевод части радионуклидов, сорбируемых твердой фазой материала, в поровой раствор с последующим удалением основного количества порового раствора из материала методами центрифугирования, фильтрации или других способов. По такому же механизму из почвогрунтов могут удаляться тяжелые или другие токсичные металлы. Кроме этого в настоящее время интенсивно развиваются технологии извлечения из золы и других отходов горно-технологических производств редких металлов.

Все указанные технологии весьма затратные; требуют большого расхода химических реагентов, воды, тепловой и электрической энергии на последующее центрифугирование и испарение. Поэтому возникает необходимость предварительно выявить и определить оптимальные параметры выщелачивания путем математического моделирования.

Материалы и методы. Перенос водорастворимых сорбируемых соединений (радионуклидов, тяжелых и редких металлов) в почвах, грунтах, отходах горно-технологических производств наиболее полно описывается системой уравнений, которые учитывают процессы диффузии, конвекции обмена водорастворимыми соединениями между твердой фазой и поровым раствором. С этих позиций математическая модель переноса водорастворимых сорбируемых соединений во влажных дисперсных средах при линейной изотерме сорбции разработана и представлена в виде системы дифференциальных уравнений в монографии Бровки Г.П. [1]. Решая указанную систему уравнений аналитическими и численными методами можно моделировать процессы установления сорбционного равновесия и переноса радионуклидов и других сорбируемых металлов в почвах, грунтах и различных влажных дисперсных средах.

Результаты исследований и их обсуждение. Возьмем, к примеру, материал с исходным влагосодержанием W_0 , содержащим определенное количество радионуклидов C_0 на единицу массы сухого материала с коэффициентом распределения K_d . В этом случае в сорбируемом и водорастворимом состояниях на единицу массы сухого материала будет находиться соответственно C_{cs} и C_p количество радионуклидов, определяемое соотношениями:

$$C_{cs} = \frac{C_0 K_{d0}}{K_{d0} + W_0}, \quad (1) \quad C_p = \frac{C_0 W_0}{K_{d0} + W_0}. \quad (2)$$

Принимая во внимание диапазоны вариации исходных значений влагосодержания почвогрунтов и коэффициентов распределения радионуклидов в них, можно убедиться, что 90-99% радионуклидов будет находиться в связанном состоянии, и не будет удаляться вместе с влагой. Для удаления из материала основного количества радионуклидов необходимо внести в этот материал определенное количество выщелачивающего раствора, позволяющего снизить коэффициент распределения до величины K_{dp} и увеличить количество жидкой фазы. Элементарный расчет показывает, что для уменьшения, например, в 10 раз количества радионуклидов в материале необходимо внести

в материал выщелачивающий раствор в количестве на сухое вещество, соответствующем значению влагосодержания W_p , определяемому уравнением (3):

$$W_p = (10 - 1)K_{dp} \quad (3)$$

Следует отметить, что, по терминологии многих работ по выщелачиванию, параметр W_p следует назвать гидромодулем.

При коэффициенте распределения выщелачивающего раствора, например 5, в соответствии с (3), в материал необходимо внести до 45 кг/кг выщелачивающего раствора, а затем его сконцентрировать для выделения радионуклидов. Более рационально, видно, было бы проводить выщелачивание многократно небольшими порциями. При этом возникает вопрос – какая должна быть величина порции выщелачивающего раствора? Эта задача была решена путем оптимизации, и установлено, что количество одной порции выщелачивающего раствора должно соответствовать гидромодулю, определяемому из соотношения: $W_p = 0,764K_{dp}$. При выполнении указанного соотношения за один прием выщелачивания количество радионуклидов в материале будет снижаться в 1,764 и за четыре приема уменьшиться в 10 раз. Общее количество израсходованного выщелачивающего раствора будет составлять 15 кг/кг, то есть в 3 раза меньше, чем при одноразовом выщелачивании.

Далее, можно рассмотреть многоступенчатое выщелачивание, когда выщелачивающий раствор после взаимодействия с одной порцией материала подается на следующую порцию, и так проходит несколько раз до последней ступени, после чего раствор направляется на концентрацию и извлечение из него радионуклидов. Порции материала в свою очередь последовательно проходят обработку выщелачивающими растворами последнего, предпоследнего и последующих сливов, заканчивая первым.

Расчеты показывают, что при количестве одной порции выщелачивающего раствора, в соответствии с соотношением: $W_p = K_{dp}$, концентрация радионуклида в материале и в выщелачивающем растворе в процентном выражении к исходной на каждой ступени будет определяться выражением:

$$C_{oin} = \frac{100}{n} \left(N - \frac{1}{2} \right) \quad (4)$$

где C_{oin} – относительная концентрация, %;
 N – количество ступеней;
 n – порядковый номер ступени.

Из выражения (4) следует, что остаточное количество радионуклида после прохода всех ступеней выщелачивания будет составлять $50/N$ %. Следовательно, при $N = 5$ и коэффициенте распределения, равным 5, таким же, как и в варианте с многократным одноступенчатым выщелачиванием, можно обеспечить такую же дезактивацию, но при этом количество раствора на единицу массы сухого материала будет составлять 5 кг/кг, то есть будет в 3 раза меньше и в 9 раз меньше однократного выщелачивания.

Для обеспечения более высокой степени дезактивации при сохранении гидромодуля дезактивирующего раствора необходимо увеличить число ступеней дезактивации. Однако, это связано с увеличением трудоемкости процесса. Расчеты показывают, что обеспечить необходимую степень дезактивации можно меньшим числом ступеней при увеличении гидромодуля. Например, при увеличении гидромодуля до $1,2 K_{dp}$ число ступеней можно уменьшить до 3, сохранив степень дезактивации на уровне 10%.

Дальнейший анализ показывает, что для увеличения степени дезактивации до 1-2% необходимо существенное увеличение гидромодуля и количества ступеней дезактивации. Поэтому для обеспечения высокой степени дезактивации или более полного

извлечения ценных соединений металлов предлагается метод непрерывного обмена между выщелачивающим раствором и обрабатываемым материалом во встречных потоках по аналогии со способом дезактивации растворов сорбирующими материалами, описанным в работе [1]. В указанной работе приводится аналитическое решение задачи фильтрации раствора через слой сорбента, движущегося навстречу фильтрационному потоку, с учетом кинетики сорбции и конвективного массообмена. Это решение было адаптировано для расчета выщелачивания радионуклидов из сорбируемых материалов при встречном движении выщелачивающего раствора и дезактивируемого материала. Было установлено также, как и в цитируемой работе, что оптимальный режим дезактивации достигается при соотношении скоростей выщелачивающего раствора V_p и обрабатываемого материала V_m , соответствующем условию:

$$V_m = - \frac{W_m}{K_{dp}} V_p, \quad (5)$$

где W_m – влагосодержание материала в дезактивирующей колонке.

При этом решение, с учетом условия (5), для распределения концентрации радионуклида в растворе и материале по длине дезактивирующей колонки имеет вид:

$$C1(x) = C_{n2} / K_{dp} \frac{\frac{\alpha}{W_m V_p} x}{1 + \frac{\alpha}{W_m V_p} h}, \quad (6) \quad C2(x) = C_{n2} \frac{1 + \frac{\alpha}{W_m V_p} x}{1 + \frac{\alpha}{W_m V_p} h}, \quad (7)$$

где $C1$ – удельная концентрация водорастворимого соединения или удельная активность радионуклида в поровом растворе;

$C2$ – удельная концентрация водорастворимого соединения или удельная активность радионуклида в твердой фазе системы;

C_{n2} – начальная концентрация радионуклидов в материале;

h – длина рабочего объема дезактивирующей колонки;

α – коэффициент массообмена радионуклидов в системе «твердая фаза материала – поровой раствор».

Из приведенного решения видно, что изменение концентрации в растворе и материале происходит линейно. При этом на выходе с одного конца колонки дезактивирующий раствор будет близок к равновесному состоянию с исходной концентрацией радионуклидов, а с другого конца будет выходить материал с остаточной концентрацией радионуклидов, определяемой выражением:

$$C2_o = C_{n2} / (1 + \frac{\alpha}{W_m V_{p1}} h). \quad (8)$$

Следует отметить, что путем встречного обмена выщелачивающего раствора и дезактивирующего материала можно обеспечить необходимую степень дезактивации при минимально возможном расходе дезактивирующего раствора и максимально возможной концентрацией в нем радионуклидов. При этом расход дезактивирующего раствора будет соответствовать значению гидромодуля $W_p = K_{dp}$, а концентрация радионуклидов в растворе будет приближаться к значению C_{n2} / K_{dp} .

Исходя из требуемой степени дезактивации, длину дезактивирующей колонки h и скорость фильтрации V_{p1} выбирают, согласно соотношению (8). При этом следует учитывать коэффициент массообмена α и влагосодержание материала в колонке.

Для реализации разработанного метода обмена в противотоках выщелачивающего раствора и обрабатываемого материала в настоящее время авторами разрабатываются шнековые проточные реакторы для сернокислотного выщелачивания радионуклидов и редких металлов из дисперсных природных и техногенных сред.

Заключение. Проанализирована возможность оптимизации процессов выщелачивания из почвогрунтов и отходов горно-технологических производств радионуклидов, тяжелых и редких металлов с помощью растворов. Показано, что за счет выбора оптимальных приемов и параметров можно существенно сократить расход выщелачивающих растворов и увеличить в них концентрацию извлекаемых элементов.

Установлено, что наиболее перспективным способом извлечения является обмен в противотоках выщелачивающего раствора и обрабатываемого материала. Получены аналитические зависимости для расчета оптимальных параметров выщелачивания.

Литература

1. Бровка, Г.П. Взаимосвязанные процессы тепломассопереноса и преобразования структуры в природных дисперсных средах / Г.П. Бровка // Минск: Беларус. навука. – 2011. – 363 с.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ^{90}Sr В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕСЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ЗОЛЫ В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ

К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова

РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь, buzdalkin@tut.by

Введение. Переход ^{90}Sr из почвы в древесные растения существенно выше, чем ^{137}Cs . Древесная зола с территории южных районов Гомельской области может содержать ^{90}Sr в значительных концентрациях, на уровне радиоактивных отходов и выше. Один беккерель ^{90}Sr , поступивший в организм с продуктами питания, формирует в 5 раз большую дозу, чем беккерель ^{137}Cs . Допустимые уровни содержания ^{90}Sr в овощах, картофеле и молоке существенно более жесткие, чем ^{137}Cs .

Доступным и эффективным, широко применяемым удобрением в частном секторе является печная зола. Вносимая в виде удобрения древесная зола, с одной стороны, улучшает плодородие почв и, возможно, снижает поступление радионуклидов в сельскохозяйственные культуры, однако содержащиеся в золе радионуклиды дополнительно загрязняют почву. При определенных уровнях загрязнения золы и продолжительности применения ее эффективность как радиопротектора становится отрицательной. Внесение золы приводит к повышению уровней загрязнения сельскохозяйственной продукции в результате роста плотности загрязнения участков радионуклидами.

Материалы и методы. Высокоактивная зола из древесных растений, произраставших в Богусhevском, Хильчанском, Верхнеслободском и Тульговичском лесничествах на территории с плотностью загрязнения ^{90}Sr $1\div 2 \text{ Ки}\cdot\text{км}^{-2}$, отбиралась в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике. Радиохимическое выделение ^{90}Sr проводили по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на аттестованном α - β счетчике Canberra-2400 [1]. Средняя удельная активность ^{90}Sr в древесной золе составила $52\pm 11 \text{ кБк}\cdot\text{кг}^{-1}$.

Результаты исследований и их обсуждение. Установлено, что соотношение удельной активности ^{90}Sr в золе к плотности загрязнения территории, с которой доставлена топливная древесина, составляет $0,7\div 1,6 \text{ м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$. Это соотношение, или коэффициент пропорциональности k , $\text{м}^2\cdot\text{кг}^{-1}$, с достаточной для практики точностью характеризует линейную зависимость уровня загрязнения золы радионуклидами от средневзвешенного уровня загрязнения территории, на которой заготавливалась топливная древесина.

Полученная оценка хорошо согласуется со значением, рассчитанным по литературным источникам. Так, коэффициент перехода ^{90}Sr в кору сосны – $0,14 \pm 0,025 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ [2]. Отношение массы золы к массе сжигаемой топливной древесины составляет $0,005 \div 0,08$ [3], т.е. с учетом неопределенностей, удельная активность золы в $7 \div 200$ раз выше активности топливной древесины. Так как наибольшее количество золы образуется при сжигании коры дерева, то из указанных литературных данных следует, что в золу мигрирует не менее $0,8 \text{ Бк } ^{90}\text{Sr}$ из почвы с единичной плотности загрязнения. Таким образом, установленное значение k практически совпадает с нижней его оценкой по литературным данным. Верхнюю оценку $k=30 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$, рассчитанную по литературным источникам [2, 3], следует признать излишне консервативной.

Допустимый уровень содержания ^{90}Sr в топливной древесине ($\text{ДУ}_{\text{Sr-90}}$), предусмотренный российским законодательством ($370 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$, санитарные правила СП 2.6.1.759-99), при $k=0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$ достигается уже на территории с плотностью загрязнения $0,09 \text{ Ки} \cdot \text{км}^2$. Это означает, что даже на условно чистой территории по ^{90}Sr может заготавливаться древесина, не соответствующая российским нормативам (в Республике Беларусь древесина по ^{90}Sr не нормируется).

Загрязнение древесной золы ^{90}Sr в «критических» населенных пунктах Брагинского района, плотность загрязнения территории которых достигает $1 \text{ Ки} \cdot \text{км}^2$, с использованием установленного значения k оценивается в $30 \text{ кБк} \cdot \text{кг}^{-1}$. Таким образом, однократное внесение золы из местных древесных растений в качестве удобрения в дозе $0,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$ может увеличивать плотность загрязнения почвы ^{90}Sr на $15 \text{ кБк} \cdot \text{м}^{-2}$ ($0,4 \text{ Ки} \cdot \text{км}^2$).

Если на чистой территории использовать золу от дров, заготовленных на территории с плотностью загрязнения $0,15 \text{ Ки} \cdot \text{км}^2$ по ^{90}Sr , то через три года плотность загрязнения удобряемой почвы достигнет граничного уровня территории радиоактивного загрязнения – $0,15 \text{ Ки} \cdot \text{км}^2$. Радиоактивное загрязнение почв будет происходить быстрее, если дрова заготавливаются на более грязных территориях по ^{90}Sr .

Заключение. Установлено, что внесение золы древесных растений значительно увеличивает плотность загрязнения почвы ^{90}Sr и в результате, рано или поздно, приводит к повышению уровней загрязнения сельскохозяйственной продукции. Учитывая неопределенности в оценках плотности загрязнения почв ^{90}Sr , не рекомендуется использовать в качестве удобрения золу от топливной древесины, поставляемой со всей территории радиоактивного загрязнения. Даже на условно чистой территории по ^{90}Sr может заготавливаться топливная древесина, не соответствующая российским нормативам.

Литература

1. Кузнецов, А.В. Методические указания по определению ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах и растениях / А.В. Кузнецов [и др.] // М.: ЦИНАО. – 1985. – 64 с.
2. Переволоцкий, А.Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах / А.Н. Переволоцкий // Гомель: РНИУП «Институт радиологии». – 2006. – 255 с.
3. Утилизация золы котельных, работающих на древесном топливе: совместный проект ПРООН/ГЭФ и Правительства Республики Беларусь «Применение биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь» / ред.-сост. Норберт Вильдбахер // Мн.: Программа развития ООН (ПРООН), Глобальный экологический фонд (ГЭФ), Департамент по энергоэффективности Государственного Комитета по Стандартизации. – 2007. – 28 с.

ПОСЛЕДСТВИЯ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И РЕАБИЛИТАЦИЯ ПОСТРАДАВШИХ ТЕРРИТОРИЙ ГЛАЗАМИ ПЕДАГОГОВ

Е.И. Горанская, Н.В. Астюкевич

Филиал «Белорусское отделение Российско-белорусского информационного центра по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС» РНИУП «Институт радиологии» МЧС Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь, goranskaya@rbic.by, astsiukevich@rbic.by

Введение. Республика Беларусь накопила бесценный управленческий, научный и практический опыт в преодолении последствий чернобыльской катастрофы. Однако даже спустя 30 лет со дня аварии, население все еще беспокоят вопросы медицинской и социальной защиты, радиационного контроля, управления сельским и лесным хозяйством, а также правила безопасного проживания на загрязненных радионуклидами территориях.

Информированием по чернобыльской тематике занимаются различные категории специалистов. Так, например, педагоги, проживающие на пострадавших территориях, вносят большой вклад в социогуманитарное развитие общества. Они работают с детьми и молодежью – наиболее восприимчивыми к новой информации группами населения, обеспечивая информационное сопровождение их жизнедеятельности.

От того, насколько адекватно специалисты системы образования способны воспринимать и оценивать поступающую к ним информацию, будет зависеть не только их персональный уровень информированности, но и качество информационной работы по чернобыльской тематике в целом.

Материалы и методы. В рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011–2015 годы и на период до 2020 года сотрудниками БОРБИЦ было проведено исследование (анкетный опрос), направленное на определение степени информированности по чернобыльской проблематике и специфике восприятия опасности радиационного воздействия [1, 2]. В нем приняло участие 207 педагогов, работающих в учреждениях образования наиболее пострадавших районов, на базе которых функционируют информационно-методические кабинеты «Радиационная безопасность и основы безопасной жизнедеятельности», центры практической радиологической культуры и учебно-консультационные центры по радиационной безопасности.

Результаты исследований и их обсуждение. Обработка и обобщение результатов исследования показали, что 38,2% педагогов часто вспоминают о катастрофе на ЧАЭС и ее последствиях, 46,9% задумываются об этом иногда, а 14,5% – что редко. Среди специалистов системы образования нет ни одного, кто никогда не вспоминал бы о катастрофе на ЧАЭС.

Подавляющее большинство педагогов (88,4% выборки) имеют представление о последствиях катастрофы на Чернобыльской АЭС. 41,1% респондентов считают, что это медицинские последствия, 40,4% – экологические, 15,7% – социально-экономические и демографические, а 2,8% – информационно-психологические последствия. В структуре медицинских последствий чаще других упоминаются последствия, связанные с ухудшением различных показателей здоровья населения, а среди экологических – экологическая ситуация, загрязнение радионуклидами продуктов питания и территории. Социально-экономическими и демографическими последствиями чернобыльской катастрофы педагоги, в основном, считают показатели смертности, проблемы

переселения и снижения численности населения, а также проблемы хозяйственной деятельности на пострадавших территориях. К информационно-психологическим последствиям катастрофы на ЧАЭС респонденты отнесли психологические проблемы, связанные с изменением привычного образа жизни.

При принятии важных жизненных решений (выбор места жительства, рождение и воспитание детей и т.п.) 49% выборки предпочитают пользоваться информацией о катастрофе на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, полученной как из официальных, так и из неофициальных источников, а еще 27,5% черпают необходимые данные только из официальных источников. При этом наиболее популярным ответом на вопрос «В каких источниках Вам чаще всего встречается информация, связанная с последствиями катастрофы на ЧАЭС?» стал «передачи телевидения, радио» (20,7% ответов).

Большинство педагогов (71,0% выборки) осведомлены о существовании учреждений и организации, фондов и объединений, чья деятельность в той или иной мере связана с преодолением последствий катастрофы на ЧАЭС. Наиболее известны педагогам РНИУП «Институт радиологии» МЧС Республики Беларусь (14,1% ответов), Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС МЧС Республики Беларусь (8,8% ответов), БОРБИЦ РНИУП «Институт радиологии» МЧС Республики Беларусь (8,5% ответов), МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ (8,2% ответов) и РНПЦ РМиЭЧ (8,2% ответов), а также фонд «Детям Чернобыля» (6,9% ответов). При этом в вопросах, связанных с последствиями катастрофы на ЧАЭС, педагоги в большей степени доверяют ученым (27,9% всех ответов), врачам и специалистам Департамента по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС (по 20,5% ответов).

Среди ответов на вопрос «Какая информация, связанная с последствиями катастрофы на ЧАЭС, наиболее важна именно для Вас?» наиболее популярным вариантом ответа стал «о влиянии радиации на здоровье людей современного и будущего поколений» (28,8% ответов). Наименее же популярным вариантом ответа оказался «о возможности личного участия в возрождении пострадавших территорий» 1,9% всего числа ответов. При этом 5,8% педагогов оценивают информационное обеспечение реабилитационных мероприятий на пострадавших территориях как отличное, 41,1% – как хорошее, 27,5% – как удовлетворительное, 6,3% – как плохое и 2,4% – как очень плохое. При этом 16,9% выборки не ответили на данный вопрос.

В тройку лидеров среди ответов об основных результатах деятельности по преодолению последствий катастрофы на ЧАЭС в Республике Беларусь вошли: «разработка методов, снижающих поступление радионуклидов в организм человека» (22,8% от всего числа ответов), «повышение радиоэкологической культуры населения» (18,5% ответов) и «социально-экономическое возрождение пострадавших районов» (13,5% ответов). При этом действиями, которые будут способствовать улучшению условий проживания на территориях, подвергшихся загрязнению радионуклидами вследствие катастрофы на ЧАЭС, педагоги считают ежегодную обязательную медицинскую диспансеризацию и оздоровление населения (21,5% ответов), а также улучшение состояния дорог, качество воды, коммунальной инфраструктуры (18,3% ответов).

При ответе на вопрос «Какой вклад, по Вашему мнению, может внести молодежь в возрождение пострадавших территорий?» наиболее часто выбираемыми стали такие варианты ответов, как «подготовка и реализация различных проектов, направленных на социальное и экономическое развитие пострадавших районов» (35,7% ответов), а также «активное участие в экономической жизни загрязненных территорий» (29,1% ответов). Практически вдвое реже выбирали такие варианты ответов, как «участие в тематических мероприятиях, посвященных возрождению после Чернобыля» (18,5% ответов) и «уверенное распределение в районы, которые возрождаются после катастрофы на ЧАЭС» (15,9% ответов). При этом вопрос «Что лично Вы делаете (могли

бы сделать) для будущего нашей страны в части преодоления последствий величайшей техногенной катастрофы?» разделил всех педагогов практически поровну: на тех, кто высказал свою готовность что-либо делать в данном направлении (50,2% совокупной выборки преподавателей), и тех, кто воздержался от ответа на данный вопрос (49,8% от всех 207 опрошенных специалистов системы образования). Свой персональный вклад специалисты системы образования видят в проведении информационно-разъяснительной работы с различными категориями населения (49,5% ответов).

Заключение. Таким образом, результаты исследования свидетельствуют, что педагоги, проживающие на пострадавших территориях, адекватно воспринимают текущую постчернобыльскую ситуацию, а также обладают достаточным уровнем информированности по чернобыльской проблематике. Это делает их потенциальными проводниками знаний, необходимых для формирования у детей и молодежи своего района безопасной жизнедеятельности на загрязненных радионуклидами территориях.

Литература

1. Борисевич, Н.Я. Информационно-психологическая безопасность населения в условиях радиоактивного загрязнения территорий / Н.Я. Борисевич, Е.И. Горанская // Социологический альманах. Выпуск 6. – Минск: Беларуская навука. – 2015. – С. 172–181.

2. Борисевич, Н.Я. Решение информационных постчернобыльских задач на основе социологических исследований / Н.Я. Борисевич, Е.И. Горанская // Социологический альманах. Выпуск 7. – Минск: Беларуская навука. – 2016. – С. 290–296.

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

О.В. Егорова

*Брестский филиал РНИУП «Институт радиологии», Пинск, Республика Беларусь,
olga.83@tut.by*

Введение. Агропромышленный комплекс является основополагающей отраслью, и его состояние определяет продовольственную безопасность страны. В целом комплекс представляет собой совокупность связанных отраслей и производств, важнейшими из которых являются сельское хозяйство, а так же промышленные отрасли, которые перерабатывают сельскохозяйственное сырье, поэтому обеспеченность сопряженных производств сырьевыми ресурсами и определяет состояние агропромышленной сферы.

Проблемы отечественного АПК охватывают широкий спектр – от технической оснащенности до проблем социальной инфраструктуры села. У предприятий особенно остро ощущается нехватка средств на модернизацию производства. Инновации в производственной деятельности при очевидной значимости этого направления осуществляются крайне медленно, что, естественно, осложняет общий подъем аграрного производства и возрождение сельских территорий. При этом в условиях радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий важным условием является производство нормативно чистой продукции.

Материалы и методы. Агропромышленный комплекс Брестской области включает в себя 235 сельскохозяйственных организаций, 530 фермерских хозяйств, 32 про-

мышленных организаций (из них 10 молочных заводов, 3 мясокомбинатов, 5 консервных заводов, 2 льнозаводов, 6 ремонтных предприятий, 3 комбикормовых заводов и 3 комбинатов хлебопродуктов) и 15 обслуживающих организаций (райагросервисы).

В настоящее время в республике насчитывается 1,21 млн. гектаров сельскохозяйственных земель, загрязненных цезием-137, из них 10% приходится на Брестскую область. [1]

В сельском хозяйстве области трудится свыше 60 тыс. человек, на перерабатывающих предприятиях – свыше 12 тыс. человек, доля валовой продукции сельского хозяйства в республике составляет около 18%.

За 2014 год темп роста валовой продукции сельского хозяйства в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах области составил 108,2%. Сельскохозяйственными организациями области обеспечен рост объемов производства основных видов растениеводческой продукции. На 1 января 2015 г., численность поголовья крупного рогатого скота составила 831,0 тыс. голов или 102,1%, в том числе коров – 285,3 тыс. голов (101,0%), свиней – 426,7 тыс. голов (102,1%), птицы – 6321,1 тыс. голов (107,4%). Произведено 1322,8 тыс. тонн молока.

Молочными заводами за 2014 год в сельхозорганизациях области заготовлено 1251,6 тыс. тонн молока или 104,8% к уровню 2013 года, мясокомбинатами переработано 125,6 тыс. тонн скота (88,9%) [2].

В целях содействия переходу от реабилитации территорий к их устойчивому социально-экономическому развитию, решения долговременных задач радиационной и социальной защиты населения реализована Государственная программа по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011–2015 годы и на период до 2020 года. Госпрограмма направлена на переход от реабилитации пострадавших территорий к их устойчивому социально-экономическому развитию; сохранение адресных защитных мероприятий; информационное сопровождение процесса возрождения чернобыльских территорий. Предусмотрена реализация 66 специальных инновационных проектов (из них 12 проектов приходится на Брестскую область), в ходе реализации которых предусматривается восстановление и дальнейшее развитие социально-экономического потенциала загрязненных территорий [3]:

- внедрение современных технологий производства и переработки продукции,
- дальнейшее развитие племенной базы мясного и молочного скотоводства и семеноводства,
- модернизация и техническое переоснащение производств,
- создание новых производств для переработки имеющихся в пострадавших регионах природных сырьевых ресурсов,
- совершенствование инфраструктуры, необходимой для обеспечения привлекательных условий жизнедеятельности людей, проживающих в зонах радиоактивного загрязнения.

Финансируются проекты за счет средств республиканского бюджета с привлечением других источников (собственные средства организаций, заемные средства, включая иностранные инвестиции, средства других государственных и отраслевых программ) [4].

Неотъемлемой частью модернизации и переоснащения агропромышленного комплекса, конкурентоспособности производимой продукции агропромышленных предприятий на внешнем рынке является финансирование и регулирование инновационной политики со стороны государства. При этом инновационная политика представляет собой часть аграрной политики, направленной на развитие инновационной деятельности в агропромышленном комплексе, которая формируется и реализуется в отрасли [5].

В АПК целесообразно выделить четыре типа инноваций:

- *селекционно-генетические* – новые сорта и гибриды сельскохозяйственных растений, новые породы, типы животных и кроссы птицы, создание растений и животных, устойчивых к болезням и вредителям, неблагоприятным факторам окружающей среды;

- *техничко-технологические и производственные* – использование новой техники, новые технологии возделывания сельскохозяйственных культур, новые индустриальные технологии в животноводстве, научно-обоснованные системы земледелия и животноводства, новые удобрения и их системы, новые средства защиты растений, новые ресурсосберегающие технологии производства и хранения пищевых продуктов, направленные на повышение потребительской ценности продуктов питания;

- *организационно-управленческие и экономические* – развитие кооперации и формирование интегрированных структур в АПК, новые формы технического обслуживания и обеспечения ресурсами АПК, новые формы организации и мотивации труда, новые формы организации и управления в АПК, маркетинг инноваций, создание консультативных систем в сфере научно-технической и инновационной деятельности;

- *социально-экологические* – формирование системы кадров научно технического обеспечения АПК, улучшение условий труда, решение проблем здравоохранения, образования и культуры тружеников села, оздоровление и улучшение качества окружающей среды, обеспечение благоприятных экологических условий для жизни, труда и отдыха населения.

Результаты исследований и их обсуждение. Таким образом, инновация в сельском хозяйстве состоит из таких составляющих, как наука, предпринимательство, открытость по отношению к новым идеям.

Условиями и факторами, способствующими инновационному развитию АПК, являются наличие природных ресурсов, значительный научно-образовательный потенциал, емкий внутренний продовольственный рынок, возможность производить экологически безопасные, натуральные продукты питания.

В современных условиях значительно возрастает роль информационного компонента инновационного развития АПК, своевременного и качественного оповещения сельскохозяйственных производителей о новейших достижениях аграрной науки и возможностях их использования в практической деятельности на конкретной территории. Мировой опыт показывает, что распространение новшеств в аграрной сфере наиболее успешно осуществляется именно на основе организации региональных служб сельскохозяйственного консультирования, взаимосвязанных с органами управления АПК, научными и учебными центрами, опытными и передовыми хозяйствами. Служба аграрного консультирования выступает, таким образом, связующим и передаточным звеном инновационной системы АПК, доводящим нововведения до конкретного товаропроизводителя на определенной сельской территории, существенно повышая тем самым его потенциальную конкурентоспособность.

Главными общими задачами инновационной политики Республики Беларусь являются: определение государственных приоритетов инновационного развития агропромышленного комплекса; создание благоприятных условий для осуществления инновационной деятельности, в том числе для вложения инвестиций в данную сферу; взаимосвязь науки, образования и расширенное воспроизводство отечественного инновационного потенциала; создание благоприятных условий для доступа субъектов инновационной деятельности к материальным, финансовым и интеллектуальным ресурсам, необходимым для осуществления инновационной деятельности; развитие международного сотрудничества в сфере инновационной деятельности; финансовая поддержка в сфере инновационной политики; организация подготовки, переподготовки и повыше-

ния квалификации кадров в сфере инновационной деятельности и другие задачи [6]. При решении данных задач результаты деятельности агропромышленного комплекса будут совершенствоваться, что будет положительно сказываться на экономике.

Заключение. Таким образом, предпосылками для устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях радиоактивного загрязнения является проведение активной инвестиционной и инновационной политики, которая предусматривает реализацию мероприятий в рамках специальных инновационных программ и проектов, направленных на создание современных производств, обеспечивающих разработку и выпуск самокупаемой и рентабельной продукции, а также более привлекательных условий жизнедеятельности населения.

Литература

1. Сельское хозяйство на загрязненной территории сегодня [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://www.chernobyl.gov.by/index.php?option=com_content&view=article&id=92&Itemid=2.
2. О внесении изменений и дополнения в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31 декабря 2010 г. № 1922: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 июня 2012 г. № 605 [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://www.chernobyl.gov.by/phocadownload/sovmin_605.pdf.
3. Краткая характеристика агропромышленного комплекса области [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.brest-region.gov.by/index.php/ekonomika/selskoe-khozyajstvo/1365-kratkaya-kharakteristika-agropromyshlennogo-kompleksa-oblasti>.
4. Государственные программы [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://www.chernobyl.gov.by/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=18.
5. Жданов, А.О. Инновационная деятельность как тенденция развития АПК Республики Беларусь / А.О. Жданов // Научный поиск молодежи XXI века: сборник научных статей по материалам XIII Международной научной конференции студентов и магистрантов Часть 3, БГСХА, Горки, 27–29 ноября 2012 г. – Горки. – 2013. – С. 116–119.
6. О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь: Закон Республики Беларусь от 10 июля 2012 г. № 425–З [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=3871&p0=H11200425&p1=1>

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Р.Г. Ильязов

Академия наук Республики Татарстан, Казань, Россия, R230@mail.ru

Введение. Авария на Чернобыльской АЭС признана самой крупной техногенной радиационной катастрофой XX века, которая привела к радионуклидному загрязнению 23% территорий, обусловила серьезные экологические, радиологические, медико-биологические и социально-экономические и психологические последствия, затронула судьбы многих миллионов людей, проживающих в этой зоне, стала общенародным бедствием. Экономические последствия, связанные с чернобыльской катастрофой в Республике Беларусь расходы бюджета, в 1991 году составили 22,3% и снизились до 6,1% в 2002 году. Всего с 1991 по 2003 годы ликвидацию последствий чернобыльской

катастрофы Республика Беларусь оценила убытки за 30 лет в размере 235,0 млрд. долларов США.

В наибольшей степени от чернобыльской катастрофы пострадали сельские местности – как население, так и производственный потенциал:

во-первых – катастрофа произошла в конце весны начале лета, когда сельскохозяйственные животные находились на пастбищах и подвергались сочетанному (внешнему радиационному, внутреннему и ингаляционному) облучению Cs-134, 137, Sr-90, I-131 и другими как долго-, так и короткоживущими изотопами;

во-вторых – радиоактивный йод с кормами попадал в организм коров и через 3 часа уже обнаруживался в молоке, и с такой же скоростью он всасывался из желудочно-кишечного тракта в кровь человека;

в-третьих – сельское население не было оповещено о возможной йодной опасности, поэтому радиоактивно загрязненное цельное молоко и молочные продукты, а также овощи употреблялись в пищу без ограничений и специальной обработки.

Сельское население подверглось действию йодной атаки в значительно большей степени, чем городское из-за отсутствия объективной информации о составе радионуклидов в окружающей среде. Поэтому дозы внутреннего облучения сельского населения были намного выше, чем у городского. Впоследствии чернобыльская катастрофа рассматривалась как исключительно тяжелая для сельского хозяйства. В результате в регионе радиационной катастрофы в щитовидной железе детей и взрослых были сформированы биологически значимые дозы, приводящие к резкому увеличению частоты раковых заболеваний.

В ближайшей зоне чернобыльской катастрофы, на юге Гомельской области (Брагинский, Хойникский, Наровлянский районы), в острый период аварии были весьма высокие концентрации радионуклидов, в частности йода-131 в воздухе, и в итоге он оказался в щитовидной железе человека и животных. И лишь неподготовленностью к этой беде, из-за неумения вовремя принять контрмеры, можно объяснить значительность нанесенного здоровью людей и животных ущерба. Контрмера исключительно простая: надо было сразу после аварии давать всем людям и животным таблетки йодистого калия, чтобы преградить путь к щитовидной железе опасному изотопу – йоду-131.

В первый период техногенной катастрофы была ярко выражена неготовность государственных служб, СМИ и многих должностных лиц на пострадавшей территории к деятельности по преодолению бедствия. На растерянность и неразбериху, которые нередко возникали, наложилось распространение разнообразных слухов, некомпетентных высказываний, домыслов, порождавших панику.

В условиях отсутствия достоверной информации от властей и низкого уровня радиологической грамотности среди чиновников и специалистов (врачей, учителей и журналистов) порождались научно-необоснованные и порой абсурдные слухи об опасности радиации, что способствовало возникновению паники и радиофобии среди населения.

События, связанные с отселением сельских жителей с территории, в наибольшей степени пострадавшей от радиационного загрязнения, относятся к одним из самых трагических в летописи чернобыльской катастрофы. В этом деянии переплетен трагизм ситуации с примерами крайне бездушного отношения к безвинно пострадавшим от катастрофы людям – жителям сел и деревень.

В условиях сложной социально-психологической обстановки в 1986 году по заданию Гомельского облисполкома мною совместно с работниками облагропрома и Жлобинского райсельхозуправления были организованы эвакуация людей и сельскохозяйственных животных из 38 деревень Брагинского, Наровлянского и Хойникского

районов в населенные пункты Жлобинского и Рогачевского районов Гомельской области. Дальнейшая судьба эвакуированных людей часто складывалась неблагоприятно, так как в новых районах поселения местные жители нередко встречали эвакуированных враждебно, обзывали их «чернобыльскими ежиками», стремились не допускать даже вновь прибывшую в село молодежь в клубы или на танцплощадки. Иными словами, – это результат радиофобии, а местные руководители пустили события «на самотек», не провели необходимой разъяснительной работы. В некоторых деревнях Наровлянского и Брагинского районов животных вывезли сразу, а к эвакуации жителей после катастрофы приступили только 4 месяца спустя!

Составной частью противокатастрофных контрмероприятий должен быть комплекс социально-психологических мер, способствующих адаптации населения не только пострадавших территорий, но и районов, предназначенных для расселения эвакуированных, что помогло бы организации их работы и жизни на новом месте.

Систематические исследования процесса адаптации вынужденных переселенцев не проводились, следствием стала неодолимая тяга многих к возвращению в свои дома в загрязненной зоне. Это еще раз свидетельствовало о необходимости мер по социально-психологической подготовке населения в окрестностях аварийноопасных техногенных объектов к действиям в экстремальных ситуациях.

Одной из причин таких масштабов бедствия были практически полное отсутствие единой, четкой, заранее отработанной государственной системы преодоления бедствий и осуществления противоаварийных мероприятий в ранней и промежуточной стадиях техногенной катастрофы.

Один из серьезных недостатков того времени – отсутствие единого аналитического центра, ответственного за сбор, анализ и интерпретацию данных, а также информирование руководства и прогнозирование ожидаемой динамики радиационной обстановки.

Возникновение разногласий среди ученых-радиобиологов по вопросам лучевых поражений животных в первый период в зоне радиоактивного загрязнения, не учитывая ряд отягощающих факторов. Катастрофа произошла в самом начале пастбищного периода, когда сельскохозяйственные животные уже находились на пастбищах. В связи с длительным пребыванием животных на пастбище, они подверглись сильному сочетанному радиационному воздействию (в результате внешнего облучения, потребления радионуклидов с кормами и водой, их поступления ингаляционным (дыхательным) путем, радиоактивного загрязнения кожных покровов). В это же время в продукции животноводства (в молоке, мясе, субпродуктах) выявлялись очень высокие уровни загрязнения радионуклидами.

Срочная эвакуация из 30-км зоны сельскохозяйственных животных (из наиболее загрязненных районов Гомельской области – Брагинского, Хойникского и Наровлянского – было эвакуировано 35,5 тыс. голов крупного рогатого скота, 12,8 тыс. голов свиней, 1,3 тыс. голов овец) породила множество сложнейших проблем в содержании и кормлении эвакуированного скота в «уплотняемых» хозяйствах, зооветеринарном обслуживании, ветсанэкспертизе производимых продуктов животноводства.

Массовый убой «грязного» скота в первые недели-месяцы оказался экономически и экологически ущербным, так как «самоочищения» мяса не произошло. И поэтому в 1991 году 8,3 тыс. тонн мяса было утилизировано и захоронено в могильнике 30-км зоны.

В острый период катастрофы в хозяйствах не было необходимой информации о радиационной обстановке (в том числе – на пастбищных угодьях) из-за недостаточной оснащенности ветеринарных лабораторий дозиметрической и радиометрической аппаратурой и запоздалой доставки нормативно-технических документов, определяющих

порядок и последовательность проведения санитарно-гигиенических и специальных ветеринарных мероприятий, а также отсутствия экологической и радиологической грамотности у руководителей хозяйств и зооветеринарных специалистов.

В условиях сложной и напряженной социально-психологической обстановки обнаружилась своеобразная радиофобия даже среди некоторых научных работников и специалистов-радиобиологов, особенно в первые месяцы Чернобыльской катастрофы, которая проявилась в явном преувеличении возможных отрицательных последствий радиационного фактора в животноводстве, которое могло бы нанести серьезный урон сельскому хозяйству пострадавших районов.

Необдуманные заключения некоторых ученых-радиобиологов вызывали среди населения периодическую панику и сильно выраженную радиофобию, что, безусловно, обостряло хронический стресс и психоневротические расстройства у местных жителей. Таким образом, социально-экономические и психоэмоциональные факторы наносили больше вреда здоровью населения, чем радиационный, в таких ситуациях.

В отдаленный период после катастрофы в агропромышленном комплексе на первом месте были санитарно-гигиенические аспекты, а разрабатываемые мероприятия направлены на снижение концентрации радионуклидов в выращиваемой сельхозпродукции, чтобы гарантировать их пригодность для производства экологически безопасных и биологически полноценных продуктов питания.

В настоящее время в Республике Беларусь, где на государственном уровне поддерживаются и внедряются разработанные нами научные рекомендации по освоению новых технологий производства экологически безопасной продукции растениеводства и животноводства и реабилитации населения, проживающего на этих территориях.

Итак, шаг за шагом в течение 30 лет после чернобыльской катастрофы в Республике Беларусь складывалась система радиоэкологического мониторинга и мероприятий, внедрение которых обеспечивало и в настоящее время гарантирует производство нормативно чистой сельскохозяйственной продукции и биологически полноценных продуктов питания, помогло преодолеть «радиофобию» у пострадавшего населения.

Литература

1. Шакиров, Ф.Х. Биогеософия – алгоритмы модернизации / Ф.Х. Шакиров, Р.Г. Ильязов // Казань: Идель Пресс. – 2010. – 360 с.
2. Ильязов, Р.Г. Радиоэкологические, социально-психологические последствия и философские уроки чернобыльской катастрофы / Р.Г. Ильязов // Казань: Изд-во «Арт-Фортекс». – 2011.
3. Ильязов, Р.Г. Чернобыльская катастрофа и агроэкосфера: последствия и контрмеры. Монография / Р.Г. Ильязов // Казань: Изд-во «Бриг». – 2011. – 352 с.

ФИЛОСОФСКИЕ УРОКИ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ

Р.Г. Ильязов

Академия наук Республики Татарстан, Казань, Россия, R230@mail.ru

Введение. Авария на Чернобыльской АЭС признана самой крупной техногенной радиационной катастрофой XX века, которая привела к радионуклидному загрязнению огромных территорий, обусловила серьезные экологические, радиологические, медико-биологические и социально-экономические последствия, затронула судьбы многих

миллионов людей, проживающих в этой зоне, а для России, Республики Беларусь и Украины стала общенародным бедствием.

Один из главных уроков Чернобыля – крайне опасная недооценка значимости **социальных факторов**. Их роль является ключевой при радиационном загрязнении территории любого размера. Эффективные и научно обоснованные меры по ликвидации последствий радиационной аварии могут быть осуществлены только в условиях доверия к власти и последовательной информационной политики.

Главный урок, полученный человечеством в Чернобыле, заключается в том, что почти каждому судьбой уготована встреча со «своей катастрофой», которая для многих станет их главным жизненным экзаменом, способным высветить истинную сущность и цену личности.

Поэтому готовиться к такой возможной встрече с катастрофой стоит с раннего детства – физически и духовно, – чтобы:

- выжить самому;
- уберечь, спасти близких;
- помочь окружающим;
- проявить максимум способностей (на пределе сил), организаторских, инженерно-изобретательских и других талантов для противодействия катастрофам и преодоления их последствий, для защиты людей.

Следует интенсифицировать проектную работу в этой сфере, разрабатывая на постоянной основе «алгоритмы восстановления благополучия» применительно к возможным сценариям аварий и катастроф, чтобы регулярно вносить коррективы в прежние расчеты на основе данных мониторинга.

В структуре таких алгоритмов должно присутствовать пять «П»: профилактика – прогноз – переживание (катастрофы) – последствия (их выявление) – преодоление их.

К примеру, применительно к крупным техногенным объектам алгоритм благополучия должен состоять из следующего набора мероприятий:

профилактика – включает в себя конструктивно заложенные элементы безопасности и создание условий для их нормального функционирования;

прогноз – мониторинг обстановки и анализ получаемых данных со своевременным введением коррективов и информированием руководства и населения;

переживание (катастрофы) – социально-психологическая подготовка персонала объекта и населения в окрестностях к действиям при возникновении экстремальных ситуаций, чтобы обеспечить адекватное реагирование и избежать паники (допустимо даже проведение учений – как в сфере управления, так и, изредка, массовых);

последствия – выявление всего списка последствий, в том числе – заблаговременная их подготовка по возможным сценариям;

преодоление – разработка и поэтапное введение в действие всей системы преодоления возможных последствий вплоть до отдаленных и реабилитации пострадавших ландшафтов.

Заключение. Для разработки комплекса защитных мероприятий в агроэкофере после Чернобыльской катастрофы были привлечены уникальные научные школы страны, теоретически осмыслившие отечественный опыт преодоления аварий и катастроф в различных отраслях народного хозяйства.

И здесь на первом месте – всемирно признанная научная школа радиоэкологии и сельскохозяйственной радиологии, основанная академиком ВАСХНИЛ В.М. Ключковским. Воспитанные Всеволодом Маврикиевичем кадры вынесли на своих плечах основную тяжесть преодоления последствий кыштымской (1957) и чернобыльской катастроф (1986). В ней оказался аккумулированным опыт нескольких поколений исследователей, проявивших небывалую самоотверженность в проведении опасных для соб-

ственного здоровья экспериментов. Для разработки комплекса контрмер в агропромышленном комплексе головным научным учреждением страны был определен ВНИИСХРАЭ (г. Обнинск), а в Беларуси был создан белорусский филиал – ныне «Институт радиологии» МЧС РБ (г. Гомель), где ученые научной школы В.М. Ключковско-го внесли существенный вклад по ликвидации последствий самой крупной техногенной катастрофы, созданию современного радиологического центра и подготовке высококвалифицированных научных кадров – радиоэкологов.

Литература

1. Шакиров, Ф.Х. Биogeософия – алгоритмы модернизации / Ф.Х. Шакиров, Р.Г. Ильязов // Казань: Идель Пресс. – 2010. – С. 360.
2. Ильязов, Р.Г. Радиоэкологические, социально-психологические последствия и философские уроки чернобыльской катастрофы / Р.Г. Ильязов // Казань: Изд-во «Арт-Фортекс». – 2011.
3. Ильязов, Р.Г. Чернобыльская катастрофа и агроэкоосфера: последствия и контрмеры. Монография / Р.Г. Ильязов // Казань: Изд-во «Бриг». – 2011. – 352 с.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ И ПРЕОДОЛЕНИЕ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

**Р.Г. Ильязов¹, В.С. Аверин², А.В. Гулаков², А.А. Царенок³, А.Г. Гвоздик³,
А.Ф. Карпенко³, А.В. Наумчик³, Л.П. Захарова³, Л.И. Губанова³, В.В. Точилина³,
П.Н. Цыгвинцев⁴**

¹Академия наук Республики Татарстан, Казань, Россия

²Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины, Гомель, Беларусь

³РНИУП «Институт радиологии» МЧС Республики Беларусь, Гомель, Беларусь

⁴ФГБНУ «Всероссийский НИИ радиологии и агроэкологии», Обнинск, Россия

Введение. Авария на Чернобыльской АЭС является самой крупной техногенной радиационной катастрофой XX века. После чернобыльской катастрофы радиоактивному загрязнению подверглись 23% территории Республики Беларусь, наиболее пострадавшей является сельское хозяйство, в частности, животноводство.

Следует отметить три особенности экологической природы, которые усугубили тяжесть техногенной катастрофы:

- первая – загрязнению до значимых уровней подверглись очень плотно населенные территории с развитым сельским хозяйством и, особенно, скотоводством молочного и мясного направлений;

- вторая – эндемические особенности территории Полесья, представленные лесными и луговыми, часто заболоченными ландшафтами, сформированными на лугово-болотных и торфяно-болотных почвах с низкой способностью связывать радионуклиды;

- третья – катастрофа произошла в начале пастбищного периода. Крупный и мелкий рогатый скот находился на пастбищах и в максимальной степени был подвержен воздействию всех факторов: поверхностному загрязнению и облучению кожных покровов, ингаляционному и внутреннему поступлению радионуклидов и внешнему облучению.

В первый период одним из основных дозообразующих радионуклидов оказался ¹³¹I. В мае 1986 года в ближней зоне (30-км зоне) аварийного выброса были проведены защитные мероприятия, снижающие дозовые нагрузки на организм сельскохозяйственных животных – организовано стойловое содержание, а затем их дезактивация и эвакуация в чистые районы.

В первые годы после катастрофы большое внимание уделялось, наряду со снижением уровней загрязнения животноводческой продукции, оценке состояния здоровья сельскохозяйственных животных, получивших сравнительно высокие дозовые нагрузки в 1986 г. – до 1,5-3,4 Гр на весь организм и до 180-280 Гр на щитовидную железу.

Формирование поглощенной дозы на щитовидную железу в пределах 180-280 Гр, обусловленное длительным пребыванием (4,5 месяца) крупного рогатого скота в 30-км зоне, сопровождалось облучением всего организма в дозах 1,5-3,4 Гр и слизистой желудочно-кишечного тракта в дозах 0,9-2,0 Гр и обусловило развитие хронической лучевой болезни тяжелой степени с признаками радиационного поражения щитовидной железы, которые проявлялись в ее гипофункции, атрофии и цитоморфологических изменениях, носивших дозо- и времязависимый характер, нарушении воспроизводительной функции, снижении молочной продуктивности, угнетении функции кроветворения и желез внутренней секреции и высокой смертностью новорожденных телят. У молодняка I и II генерации, полученного от коров с признаками радиационного поражения щитовидной железы, клинико-физиологическое состояние характеризовалось диссонансом воспроизводительной функции и адаптационно-компенсаторных механизмов гематологических и биохимических показателей крови при изменении факторов окружающей среды.

Хронические радиационные поражения овец и лошадей, эвакуированных из 30-км зоны спустя 1,5 года после аварийного выброса радионуклидов, также обусловили развитие хронической лучевой болезни тяжелой степени с сильно выраженной лейкопенией, тромбоцитопенией, эозинофилией и миелоцитозом, а также угнетением функции щитовидной железы, общего состояния и развитием микседемы.

Патоморфологические изменения в органах животных в первые месяцы после катастрофы проявлялись выраженными изменениями не только в щитовидной железе в виде сосудистых расстройств, затем – дистрофическими и деструктивными явлениями, а нередко патологический процесс заканчивался склеротическими явлениями, даже ростом опухолевой ткани.

С 1986 до 1990 гг. в хозяйствах 19 загрязненных районов Гомельской и в 5-ти Могилевской области дважды в год проводилась комплексная оценка физиологического статуса, воспроизводительных качеств и продуктивных показателей крупного рогатого скота, содержащегося на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения. В период первой диспансеризации в августе 1986 г. у животных из наиболее загрязненных районов отмечались нарушения функциональной активности щитовидной железы (гипо- и гиперфункция), в связи с чем организована замена маточного поголовья ремонтным молодняком из чистых регионов страны.

Быстрое снижение годовых поглощенных доз и выбраковка малопродуктивных животных минимизировали негативное действие радиационного фактора в хозяйствах, расположенных на территории радиоактивного загрязнения, в первый послеварийный период (1987–1989 гг.) Воспроизводительные качества, продуктивные показатели и клинико-физиологическое состояние коров в хозяйствах с плотностью радиоактивного загрязнения ¹³⁷Cs до 1480 кБк/м², при суммарной поглощенной дозе на весь организм до 0,24 Гр, в первые 4 года (1986–1989 гг.) достоверно не отличались от параметров животных на территории с низким уровнем радиоактивного загрязнения.

Дикие промысловые животные (кабан, косуля европейская и лось), обитающие в 30-км зоне, испытывали большую радиационную нагрузку на весь организм и на красный костный мозг. Поглощенные дозы от внешнего облучения для диких животных составили в 1991 году 58,1-64,2 и в 2000 году – 33,3-37,2 мГр/год, а от внутреннего облучения – для лосей составили $8,4 \pm 1,5$, косули европейской $26,7 \pm 11,4$ и дикого кабана – $92,0 \pm 29,6$ мГр/год. У данных особей наблюдались угнетение функции костномозгового кроветворения и желез внутренней секреции при кажущемся клиническом благополучии, свойственные для хронической лучевой болезни.

При решении радиоэкологических проблем животноводства в отдаленный период на первом месте стояли санитарно-гигиенические аспекты, а разрабатываемые мероприятия направлены на снижение содержания радионуклидов в получаемой продукции.

Радиоэкологические исследования в области кормопроизводства и животноводства позволили разработать и предложить систему радиоэкологического мониторинга, которая в настоящее время используется для прогноза и контроля возможных изменений антропогенных потоков радиоцезия из атмосферы и почвы в растения кормовых угодий, организм сельскохозяйственных животных и продукты животноводства.

Эффективное снижение поступления радионуклидов в организм животных и продукты животноводства в первые годы после катастрофы было достигнуто путем коренного улучшения сенокосов и пастбищ (преобразование естественных угодий в искусственные, культурные, подбор видов и сортов для возделывания, мелиорация земель, оптимальные способы использования продукции). С помощью этих приемов можно снизить поступление ^{137}Cs в рацион продуктивных животных и в получаемое от них молоко и мясо до 10 раз. Однако в отдаленный период после катастрофы проведение повторных агротехнических мероприятий уже не оказывали такого значительного эффекта, и основными контрмерами становились организационные.

Другим эффективным приемом, снижения поступления радиоцезия в организм животных и продукцию животноводства являлось изменение условий содержания и кормления животных. Например, стойлово-выгульное содержание крупного рогатого скота позволило снизить поступление ^{137}Cs в рацион животных в 3-5 раз, в молоко – в 3-5 раз, в мясо – в 2-3 раза по сравнению с пастбищным содержанием.

Наиболее эффективным способом получения мяса, отвечающего временным нормативам, оказался перевод крупного рогатого скота на заключительном этапе откорма на корма с низким содержанием радиоцезия. Разработаны и внедрены рекомендации по откорму крупного рогатого скота, позволяющие рациональнее использовать все запасы кормов в загрязненных радионуклидами районах.

Организационные, агротехнические и зоотехнические мероприятия позволили значительно сократить производство продукции, загрязненной радионуклидами выше нормативных уровней. Дальнейшее снижение содержания радионуклидов в животноводческой продукции были обусловлены естественными процессами их распада и миграции, так что скорость снижения будет сопоставима с уменьшением уровня радиоактивного загрязнения после глобальных выпадений.

Следует отметить, что радиоактивное загрязнение территорий было неравномерным, что определило зональные особенности ведения сельскохозяйственного производства, в частности, животноводства, которое предусматривает проведение комплекса защитных мероприятий по ограничению перехода радионуклидов в продукцию животноводства и разработку новых технологий для отдельных отраслей животноводства в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения территории.

Один из рациональных и эффективных путей использования сельхозугодий в зоне радиоактивного загрязнения – перепрофилирование отрасли молочного скотоводства на создание и развитие специализированного мясного скотоводства, т.е. на произ-

водство говядины. Для переспециализации разработаны и внедрены «Рекомендации по разведению мясного скота в зоне радиоактивного загрязнения».

В отдаленный период катастрофы время для дальнейшего снижения уровней загрязнения продукции животноводства радионуклидами потребовалось использовать дополнительные мероприятия, так как повторное перезалужение пастбищ и сенокосов, а также применение повышенных доз минеральных удобрений уже не оказывало столь значительного эффекта, как в первый период после катастрофы. В этой связи (1992–1998 гг.) нами проведены широкомасштабные научно-производственные испытания ферроцианидов на продуктивных животных в хозяйствах, и подготовлен ряд нормативных документов. Применение ферроцианидов позволяло уменьшать концентрацию ^{137}Cs в молоке коров до 10 раз, в мышечной ткани откормочных бычков – в 5 раз. Использование ферроцианидов в рационах гарантирует снижение содержания цезия-137 на 46-87% в молоке и 42-86% в мышечной ткани коз; на 90-95% в мясе овец; на 42-87% в мясе и 67-91% в яичной массе кур-несушек и на 42-50% в мышечной ткани водоплавающей птицы (уток и гусей). Ферроцианиды весьма эффективны даже при низких уровнях загрязнения продукции (меньше РДУ-99), ибо обеспечивает двукратное уменьшение концентрации ^{137}Cs в молоке. Были разработаны и испытаны различные формы и способы применения ферроцианидов: комбикорма с ферроцианидами (0,6%), а также болюсы и брикеты соли-лизунца. Скармливание солебрикетов с ферроцином (10%) в виде свободной минеральной подкормки снижало концентрацию ^{137}Cs в молоке коров в 2-5 раз по сравнению с контролем. Добавление в рацион комбикорма 500 г/голову с ферроцином в дозе 3-5 г/голову в сутки лактирующим коровам снижает концентрацию ^{137}Cs в молоке в 2,4-2,9 раза, а в мышечной ткани бычков на заключительной стадии откорма – в 1,7-2,9 раза по сравнению с контролем. Однократное введение трех ферроцинсодержащих болюсов в рубец обеспечивает лактирующим коровам 2-5-кратное снижение ^{137}Cs в молоке в течение двух месяцев.

Анализ проведенных защитных мероприятий в АПК республики за весь постчернобыльский период говорит об их высокой эффективности. Так, в результате их применения, уже в начале девяностых годов основное количество зерна, картофеля, молока и мяса, производимых в общественном секторе, стало соответствовать действующим санитарно-гигиеническим нормативам по содержанию радионуклидов (ВДУ-1989, РКУ-1990, РДУ-1993).

В целом за поставарийный период проведенные защитные меры и естественные процессы распада и закрепления радиоизотопов в почве позволили снизить поступление ^{137}Cs в сельскохозяйственную продукцию в 8-10 раз. Значительно улучшилось качество продуктов питания, производимых в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ). Количество населенных пунктов в Беларуси, где регистрируется грязное молоко с содержанием ^{137}Cs более 100 Бк/л, спустя 12 лет снизилось почти на порядок, с 580 до 68, но проблемы еще имеются, особенно на территории наиболее загрязненной Гомельской области. Также здесь ежегодно регистрируется 11-14 ферм в общественном секторе и ряд населенных пунктов (2006 г. – 39, 2007 г. – 43, 2008 г. – 23), где молоко в ЛПХ не соответствует нормативу по содержанию ^{90}Sr .

Поступление ^{90}Sr в пищевую цепочку за постчернобыльский период снижено примерно в 2-3 раза, что обусловлено в основном за счет внедрения комплекса агрохимических защитных мероприятий, так как подвижность ^{90}Sr в почве и доступность его растениям не уменьшилась, а чаще имеет тенденцию к повышению.

Решение проблемы производства нормативно чистых по ^{90}Sr продуктов питания возможно только путем плановой трансформации земель, дифференцированного размещения посевов сельскохозяйственных культур и целевого использования конечной

продукции на основе прогноза загрязнения урожая с учетом свойств почв и радиационного контроля.

Заключение. Таким образом, на значительной территории Беларуси сформировался огромный малоподвижный запас радионуклидов (цезий-137, стронций-90). В течение многих десятилетий он будет поставлять радионуклиды в корневую систему растений кормовых и зерновых культур, рационы продуктивных животных и животноводческую продукцию (молоко, мясо), нанося значительный ущерб сельскому хозяйству. Сохраняющаяся необходимость проведения масштабных агрохимических, агротехнических и зооветеринарных защитных мероприятий негативно отражается на конкурентоспособности производимой сельскохозяйственной продукции. Решение этих проблем требует дальнейшей оценки экономических и технологических аспектов ведения животноводства на загрязненных территориях и привлечения значительных материальных затрат.

Литература

1. Сироткин, А.Н. Радиоэкология сельскохозяйственных животных / А.Н. Сироткин, Р.Г. Ильязов // Казань: Изд-во "Фэн". – 2001.
2. Ильязов, Р.Г. Экологические и радиобиологические последствия чернобыльской катастрофы для животноводства и пути их преодоления / Р.Г. Ильязов, А.Н. Сироткин, Б.П. Кругликов [и др.] // Казань: Изд-во "Фэн". – 2002.
3. Анненков, Б.Н. Радиационные аварии и ликвидация их последствий в агро-сфере / Б.Н. Анненков, А.В. Егоров, Р.Г. Ильязов / Под редакцией заслуженного деятеля науки Российской Федерации проф. Б.Н. Анненкова // Казань: Изд-во "Фэн" Академии наук РТ. – 2004. – 408 с.
4. Ильязов, Р.Г. Адаптация агроэкоосферы к условиям техногенеза / Р.Г. Ильязов, Ф.Х. Шакиров, Б.С. Пристер [и др.] / Под редакцией чл.- корр. АН РТ Ильязова Р.Г. // Казань: Изд-во "Фэн" Академии наук РТ. – 2006. – 670 с.
5. Ильязов, Р.Г. Чернобыльская катастрофа и агроэкоосфера: последствия и контрмеры. Монография / Р.Г. Ильязов // Казань: Изд-во "Бриг". – 2011. – 352 с.

ВЛИЯНИЕ РАССОЛА «БЕЛОРУССИТ» НА ПРИРОСТ ЖИВОЙ МАССЫ ЖИВОТНЫХ И ПТИЦЫ И МИГРАЦИЮ РАДИОНУКЛИДОВ

А.Ф. Карпенко, А.Г. Подоляк

РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь

Введение. Одним из условий, обеспечивающих получение более чистой животноводческой продукции на загрязненной территории, является полноценное кормление животных. Недооценка роли минеральных элементов в кормлении животных приводит не только к задержке их роста и развития, снижению продуктивности, расстройству функции воспроизводительной системы, но и способствует большему всасыванию радионуклидов в организме.

Территория Гомельской области является эндемичной зоной, в которой наблюдается недостаток в почве таких элементов как йод, цинк, медь и некоторых других. В наших исследованиях было показано, что почва является одним из ведущих факторов, определяющих через растения и животных качество продуктов питания человека и, в частности, молока. Между содержанием в почве и молоке животных наблюдается прямая зависимость по таким элементам как кальций, магний, молибден, стронций, желе-

зо, марганец, олово. С уменьшением количества в почве пастбищ кальция в 1,5 раза содержание его в молоке снижалось в 4,4 раза, соответственно магния – в 1,2 и 3,6 раза, молибдена – в 1,4 и 13,0 раз, стронция – в 1,6 и 2,5 раза, железа – в 2,1 и 4,3 раза, марганца – в 5,0 и 2,0 раза, олова – в 4,3 и 3,5 раза [1–3].

Для устранения дефицита минеральных элементов в рационы животных Гомельской области необходимо вводить добавки, содержащие в своем составе углекислый кальций, поваренную соль, препараты цинка, марганца, йода и некоторые другие.

В этой связи использование дешевых минеральных добавок может иметь большую практическую значимость. Такой дешевой добавкой, как нам представляется, может быть природный высококонцентрированный рассол Беларуси, добываемый из скважин, расположенных в Гомельской области. Природный рассол «Белоруссит» – это высококонцентрированная минеральная вода, содержащая ряд ценных элементов, в которой общая минерализация колеблется от 375 до 450 г/л. В рассоле количество кальция хлористого составляет – 203-209 г/л, натрия хлористого – 75-118 г/л, калия хлористого – 28-33 г/л, магния бромистого – 5-8 г/л, магния хлористого – 47-55 г/л. В своем составе рассол содержит как макроэлементы, так и микроэлементы, как йод, медь, железо, цинк, кобальт, марганец и другие. Рассол обладает неограниченным сроком хранения, не токсичен и не агрессивен. «Белоруссит» разрешен Главным ветеринарным управлением Республики Беларусь к применению в качестве лечебно-профилактического средства при заболеваниях пищеварительной системы и минерального обмена сельскохозяйственных животных. Все это предоставляло возможность провести испытание рассола в качестве минеральной добавки в корм коров с целью уменьшения перехода стронция в молоко.

Материалы и методы. Объектом изучения являлись сельскохозяйственные животные и птица, рационы кормления, природный рассол «Белоруссит». В опыте на растущих петушках изучали эффективность растворов рассола в концентрациях 0,5, 1,0 и 3,0%. Рассол 3-х % концентрации выпаивали через день (таблица 1). Одновременно с петушками изучали влияние рассола на прирост живой массы курочек. Опытная группа курочек получала 1% раствор рассола.

Таблица 1 – Схема опыта на петушках

Группа	Количество голов	Живая масса	Особенности кормления и поения птицы
I (контроль)	9	1358	Комбикорм+вода
II	8	1358	Комбикорм+0,5% раствор рассола
III	8	1442	Комбикорм+1% раствор рассола
IV	8	1285	Комбикорм+3% раствор рассола

Кроме птицы растворы рассола изучались на кроликах калифорнийской породы в возрасте 8-10 месяцев (в условиях вивария в зимний период). При клеточном содержании в состав рациона кроликов входили следующие корма: сено (г на голову) 90-100 г, ячмень – 70-80 г, кормовая свекла – 150-230 г. В качестве дополнительного минерального питания использовались растворы рассола в концентрации 1% и 1,5%.

Для опыта было сформировано 3 группы животных: I группа (контроль) получала водопроводную воду, II группа в поилках 1% раствор рассола, III группа – 1,5% раствор рассола. Длительность выпаивания растворов осуществлялась в течение 38 дней.

Результаты исследований и их обсуждение. Кормление петушков во всех группах было одинаковым. Однако живая масса птицы и среднесуточный прирост через 10 дней эксперимента в опытных группах оказались выше, чем в контрольной. Среднесуточный прирост за время опыта во II группе в сравнении с I (контрольной) группой был выше на 12,8 г, в III группе – на 3,3 г и в IV группе – на 10,2 г.

Живая масса у курочек опытной группы, получавших раствор рассола, за двадцать дней опыта также оказалась выше в сравнении с контрольной группой, как и среднесуточный прирост. Среднесуточный прирост курочек оказался на 1,8 г или 7,1% выше.

В опытах на кроликах было отобрано три группы животных, имеющих практически одинаковую живую массу 2101,7-2118,8 г. Изменения живой массы животных контролировали в начале опыта, на 15 и 38 сутки. Результаты изменения динамики живой массы свидетельствуют, что в конце опыта увеличение живой массы кроликов в I группе составило 125%, II группе – 131% и III группе – 141% от исходных показателей в начале выпаивания. Прирост живой массы во II группе, в сравнении с контролем был на 109,2 г/гол. больше, в III группе – на 321,7 г/гол. В сравнении с контрольной группой среднесуточный прирост живой массы во II группе оказался выше на 2,8 г или 20% и в III группе – на 8,4 г или 60%.

Следовательно, результаты проведенных исследований по изучению влияния растворов рассола на прирост живой массы кроликов и растущей птицы свидетельствуют, что рассол является эффективной минеральной добавкой в рационе, способствующей приросту живой массы.

В имеющейся литературе отсутствовали экспериментальные данные об эффективности ферроцинсодержащих и других препаратов при выведении цезия-137 из организма кроликов. Поэтому целью наших исследований являлось определение оптимальной дозы ферроцина для кроликов при разной активности суточных рационов и влияние добавок минерального рассола на эффективность изучаемого препарата.

Было проведено две серии опытов. В первой серии участвовало 6 групп кроликов калифорнийской породы по 5 голов в каждой группе, подобранных по методу аналогов. Возраст кроликов – 10-18 месяцев, масса животных – 2,5-3,0 кг. Согласно принятым нормам, в состав рациона входило сено (удельное содержание цезия-137 – 1600-2400 Бк/кг), ячмень и кормовая свекла. Кормление проводилось двухразовое, содержание клеточное. Ферроцин задавался в дозах 20, 40, 60, 80 и 115 мг на 1 кг живой массы. Эксперимент длился 15 суток, в конце которого был произведен забой животных и определено содержание цезия-137 в мышечной ткани.

Результаты радиометрии показали, что кратность снижения цезия-137 в мышечной ткани опытных групп составила от 1,25 до 3,01 раз. За оптимальную дозу ферроцина, обеспечивающую максимальное снижение в расчете на его потребление, была принята доза 80 мг на 1 кг живого веса кролика.

Во время проведения второй серии опытов было сформировано 3 группы кроликов по 4-5 голов в каждой. I группа получала основной рацион и выступала в качестве контроля, II опытная группа – основной рацион и 80 мг ферроцина на 1 кг живой массы кролика, III опытная группа – основной рацион и 40 мг ферроцина на 1 кг массы и в качестве питья получала вместо воды 1% раствор рассола «Белоруссит». Продолжительность опыта протекала в течение 13 суток, после чего был произведен убой кроликов и определено содержание цезия-137 в мышечной ткани.

Удельная активность цезия-137 в мясе кроликов составила: в контрольной группе $74,8 \pm 4,2$ Бк/кг, во II группе – $28,0 \pm 2,8$ Бк/кг и в III группе – $27,4 \pm 3,1$ Бк/кг. Кратность снижения радионуклида в сравнении с контролем составила во II и III группах соответственно 2,67 и 2,72 раза.

Итак, исследования показали, что совместное введение в рацион кроликов ферроцина и «Белоруссита» способствует повышению эффективности ферроцина приблизительно в 2 раза. Это в определенной мере свидетельствует о взаимодействии этих двух веществ.

Содержание и источник поступления кальция в рационе животных существенно влияют на переход радионуклидов из корма в молоко. Введение в рацион коров кальция на фоне дефицитного и нормального содержания его позволяет существенно снизить поступление стронция-90 из корма в молоко. Выяснение возможности использования рассола в качестве добавки, оказывающей влияние на содержание радионуклидов в животноводческой продукции, проводилось в совхозе «Ветковский» на молочных коровах в период пастбищного содержания.

Для опыта было отобрано три группы животных по 4 головы в каждой, живой массой 450-500 кг, с удоем 6-8 кг молока в день. Во время опытного периода коровы выпасались на пастбище и кроме пастбищной травы и подкормки в количестве 5-10 кг на голову других кормов не получали. Учет и наблюдения за потреблением кормов показали, что животные ежедневно потребляли 45-50 кг зеленой массы, в составе которой содержалось 45-60 г кальция. Рассол задавали II и III группам в дозе 0,3 л на голову. С данным количеством рассола животные дополнительно получали около 30 г кальция. Таким образом, ежесуточное потребление кальция животными II и III групп составляло около 75-90 г/сутки. Кроме того, коровам III группы вместе с рассолом вводили по 3 г/сутки ферроцина в качестве сорбента цезия-137.

Для определения содержания стронция-90 и цезия-137 в молоке коров пробы его, в количестве 0,5 кг, отбирали от каждой коровы перед применением добавок, а также через 6, 13 и 20 суток от начала эксперимента. Анализ проб молока на удельную активность стронция-90 проводили в I (контрольной) и II группах, цезия-137 – во всех группах.

Как свидетельствуют результаты проведенных радиохимических анализов, во II опытной группе отмечалось меньшее в 2,6-2,7 раза выделение в молоко стронция-90 по сравнению с контрольной группой.

Во II и III опытных группах установлено более низкое содержание в молоке цезия-137. Во II группе удельная активность цезия-137 была ниже в 1,06-1,4 раза, в III группе – в 1,61-1,66 раза, в сравнении с контрольной группой.

Заключение. Результаты исследований свидетельствуют о том, что рассол Припятского прогиба Беларуси можно использовать в качестве добавки в корм скоту. Он позволяет улучшать минеральное питание животных, благодаря чему увеличивается прирост живой массы животных и птицы, снижается переход цезия-137, а при недостатке кальция в рационе коров уменьшается переход стронция-90 в молоко коров до 2,6-2,7 раза. При совместном введении ферроцина с рассолом отмечается уменьшение переноса цезия-137 из фуража в молоко животных в 1,61-1,66 раза. Для широкого применения рассола в практике кормления сельскохозяйственных животных на территории радиоактивного загрязнения необходимо проведение дополнительных исследований.

Литература

1. Карпенко, А.Ф. Эколого-экономические проблемы агропроизводства Гомельской области после Чернобыльской катастрофы: монография / А.Ф. Карпенко // Брянск: Дельта. – 2012. – 258 с.
2. Подоляк, А.Г. Влияние агротехнических и агрохимических приемов улучшения основных типов лугов Белорусского Полесья на поступление в травостой ^{137}Cs и ^{90}Sr : Дис. ... канд. с-х. наук: 05.02.01 // Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск. – 2002. – 235 с.
3. Богдевич, И.М. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания / И.М. Богдевич [и др.]; под ред. И.М. Богдевича // Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии. – 2012. – 48 с.

СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАРТОФЕЛЯ ПО КОЭФФИЦИЕНТАМ ПЕРЕХОДА РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}Cs И ^{90}Sr

Л.И. Козлова

РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь

Введение. Картофель в Республике Беларусь является традиционным, наиболее распространенным, физически и экономически доступным продуктом питания. Производство картофеля на душу населения в 2014 г. составило 663 кг. Норма потребления картофеля на душу населения в последние годы находится на уровне более 180 кг при физиологической норме 129,1 кг.

В структуре производства основных видов сельскохозяйственной продукции Республики Беларусь в 2014 г. картофель занимал в сельскохозяйственных организациях 16%, в крестьянских (фермерских) хозяйствах – 4,9%, а в хозяйствах населения – 79,1% [1].

В настоящее время в составе личных подворий населения, проживающего на территории радиоактивного загрязнения, занято 60 тысяч гектар загрязненных радионуклидами земель, на которых производится около 70% овощной продукции, составляющей рацион питания. Сумма вклада картофеля и овощей в величину поступления стронция-90 в организм жителей составляет более 70% [2].

В загрязненных районах Гомельской области периодически регистрируются случаи превышения РДУ-99 по содержанию радионуклидов в картофеле. Одним из дешевых и доступных приемов получения продукции в пределах допустимых уровней является подбор сортов, отличающихся минимальным накоплением радионуклидов.

Материалы и методы. Для изучения накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr клубнями картофеля были выбраны 10 сортов белорусской селекции различных групп спелости: ранней – Лилея, Уладар, Дельфин; среднеранней – Бриз, Нептун; среднеспелой – Дубрава, Скарб, Криница; среднепоздней – Журавинка, Ветразь.

Исследования проводились на территории Брагинского района Гомельской области на дерново-подзолистой связносупесчаной почве и среднемошной торфяной почве. По агрохимическим показателям почвы относились к среднекультурным. Плотность загрязнения дерново-подзолистой связносупесчаной почвы ^{137}Cs составляла 59,2 кБк/м² (1,6 Ки/км²), ^{90}Sr 14,8 кБк/м² (0,4 Ки/км²); торфяной – ^{137}Cs 85,1 кБк/м² (2,3 Ки/км²), ^{90}Sr 18,5 кБк/м² (0,5 Ки/км²).

Обработка почвы, посев и уход за растениями картофеля проводились в соответствии с агротехническими требованиями, рекомендуемыми отраслевым регламентом [3]. В фазе физиологической спелости картофеля (наступление естественного усыхания ботвы и стеблей не менее чем у 90% растений) проводился отбор сопряженных проб почвы и клубней.

Пробы почвы отбирали тростевым буром, согласно ГОСТ 28168-89. Определение основных агрохимических показателей почвы осуществлялось по общепринятым методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО – ГОСТ 26212-91; зольность торфа – ГОСТ 27784-88; рН_(КСl) – потенциометрическим методом ГОСТ 26483-85; подвижные формы фосфора и калия – ГОСТ 26207-91. Содержание ^{137}Cs в исследуемых почвенных и растительных образцах определялось на γ -спектрометрических комплексах фирмы Canberra. Радиохимическое выделение ^{90}Sr проводили по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на аттестованном α - β счетчике Canberra-2400. Аппаратурная ошибка измерений не превышала 20% [4].

Результаты исследований и их обсуждение. За период, прошедший после катастрофы на ЧАЭС, произошли изменения в доступности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr для растений. Доля доступных форм ^{137}Cs значительно уменьшилась по сравнению с первоначальным периодом после выпадений и в дерново-подзолистых супесчаных и песчаных, а также торфяных почвах и находится в пределах 10-20%. Удельный вес доступного ^{90}Sr достигает в настоящее время около 70% в дерново-подзолистых почвах и 50% в торфяных почвах [2].

Как известно, на параметры перехода ^{137}Cs наибольшее влияние оказывает обеспеченность почвы обменным калием, а на параметры перехода ^{90}Sr – уровень кислотности почвы. За период с 1993 г. по 2012 г. коэффициенты перехода ^{137}Cs для клубней картофеля, в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы обменным калием, уменьшились в 1,8-2,8 раза. Параметры перехода ^{90}Sr , наоборот, возросли, в зависимости от уровня кислотности почвы, в 0,8-1,1 раза.

По результатам наших исследований установлено, что в отдаленный период после катастрофы содержание калия в минеральных почвах не оказывает значительного снижения перехода ^{137}Cs для клубней картофеля по сравнению с торфяной почвой. Так, при средней обеспеченности дерново-подзолистой связносупесчаной почвы калием (141-200 мг/кг) коэффициенты перехода ^{137}Cs для клубней картофеля находились на уровне 0,05-0,06, а при низкой обеспеченности (81-140 мг/кг почвы) – 0,06-0,07. При средней обеспеченности торфяной почвы калием (401-600 мг/кг почвы) параметры перехода ^{137}Cs для клубней картофеля составили 0,05-0,1, а при низкой обеспеченности (201-400 мг/кг почвы) возросли в 2 раза (0,1-0,2).

Иная ситуация наблюдалась с коэффициентами перехода ^{90}Sr на почвах разного генезиса. Так, при слабокислой реакции почвенной среды параметры перехода ^{90}Sr для картофеля на торфяной почве находились на уровне 0,05-0,07, а на дерново-подзолистой связносупесчаной почве составляли 0,10-0,22, т.е. увеличивались в 2-3 раза. Наблюдалась тенденция снижения параметров перехода ^{90}Sr на дерново-подзолистой связносупесчаной почве у сортов среднепозднего срока спелости [5].

На основании полученных данных, в соответствии с требованиями РДУ-99, были рассчитаны предельные плотности загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr дерново-подзолистой связносупесчаной и торфяной почв для получения продовольственного картофеля исследованных сортов (таблица 1).

Таблица 1 – Предельно допустимые уровни загрязнения почв ^{137}Cs и ^{90}Sr при возделывании продовольственного картофеля, согласно РДУ-99

Сорт картофеля	Плотность загрязнения почвы, Ки/км ²			
	^{137}Cs		^{90}Sr	
	дерново-подзолистая связносупесчаная	торфяная	дерново-подзолистая связносупесчаная	торфяная
Лилея	30	15	0,2	1,0
Уладар	20	10	0,2	1,0
Дельфин	30	15	0,2	1,0
Нептун	30	10	0,3	1,0
Бриз	30	10	0,3	1,0
Дубрава	15	10	0,2	0,5
Скарб	30	15	0,3	1,0
Криница	25	5	0,3	1,0
Ветразь	30	15	0,4	1,0
Журавинка	30	20	0,3	1,0

Одним из основных показателей производственной ценности сортов является их урожайность. Наибольшее влияние на продуктивность клубней картофеля оказывают метеорологические условия вегетационного периода. Оптимальный гидротермический коэффициент для роста и развития картофеля составляет ГТК = 1,1-1,6 [6]. В результате проведенных исследований установлено, что в засушливый и жаркий вегетационный период (ГТК=0,5-1,0) урожайность картофеля на дерново-подзолистой связносупесчаной почве снижалась до 45%. Однако, даже в таких экстремальных погодных условиях сорта Лилея, Уладар, Дельфин, Бриз, Дубрава и Журавинка достигли продуктивности более 230 ц/га. При избыточном увлажнении (ГТК \geq 1,7) урожайность данных сортов составила 300 ц/га и более (рисунок 1).

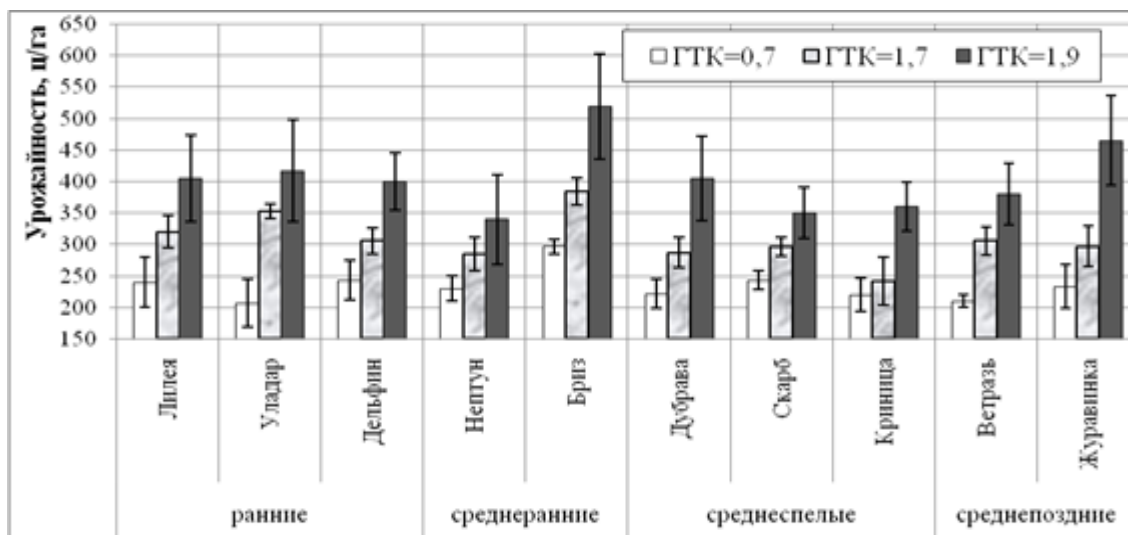


Рисунок 1. Урожайность картофеля на дерново-подзолистой связносупесчаной почве (в среднем за три года)

При возделывании картофеля на торфяной почве, в условиях недостаточного увлажнения, урожайность, в зависимости от сортовых особенностей культуры, снижалась до 60%. На почвах такого типа целесообразно возделывать сорта Лилея, Нептун, Бриз и Скарб, которые при засушливых погодных условиях формируют урожай более 220 ц/га, а при избыточном естественном увлажнении – более 400 ц/га (рисунок 2).

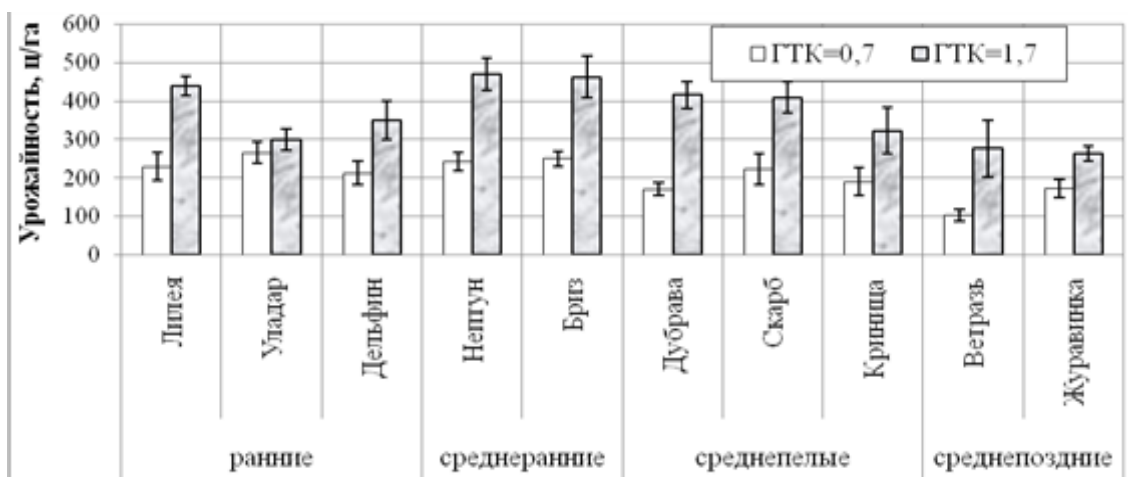


Рисунок 2. Урожайность картофеля на торфяной почве (в среднем за два года)

Заключение. В результате исследований установлено, что наиболее сильное влияние на коэффициенты перехода ^{137}Cs для картофеля, возделываемого на торфяной

почве, оказывает содержание подвижных форм калия. При низкой обеспеченности почвы калием коэффициенты перехода ^{137}Cs увеличиваются в 2 раза.

Коэффициенты перехода ^{90}Sr на дерново-подзолистой связноупесчаной почве больше в 3,0-3,6 раза по сравнению с торфяной почвой.

У сортов картофеля среднепозднего срока спелости параметры перехода ^{137}Cs на торфяной почве и ^{90}Sr на дерново-подзолистой связноупесчаной почве ниже, чем у сортов более ранних групп.

Урожайность картофеля зависит от метеорологических условий вегетационного периода и сортовых особенностей. При возделывании картофеля на дерново-подзолистой связноупесчаной почве наиболее продуктивны сорта – Лилея, Уладар, Дельфин, Бриз, Дубрава и Журавинка; на торфяной почве – Лилея, Нептун, Бриз и Скарб.

Литература

1. Статистический сборник. Сельское хозяйство Республики Беларусь // Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – 2015. – 318 с.

2. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012-2016 годы // Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС МЧС РБ, М-во с.-х. и прод. Респ. Беларусь. – Минск. – 2012. – 122 с.

3. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин. аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусаков [и др.] // Мн.: Бел. наука. – 2005. – 460 с.

4. Кузнецов, А.В. Методические указания по определению ^{90}Sr и ^{137}Cs в почвах и растениях / А.В. Кузнецов, В.И. Силин, Ф.И. Павлоцкая и др. // М.: ЦИНАО. – 1985. – 64 с.

5. Рекомендации по возделыванию разных сортов картофеля в условиях радиоактивного загрязнения земель / подготовили: Н.Н. Цыбулько [и др.]. // Минск: Институт радиологии. – 2013. – 28 с.

6. Писарев, Б.А. Сортовая агротехника картофеля / Б.А. Писарев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 208 с.

ПРИМЕНИМОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО МЕТОДА СБОРА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ДОЧЕРНИХ ПРОДУКТОВ РАСПАДА РАДОНА И ТОРОНА ИЗ ВОЗДУХА ЗАМКНУТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Д.В. Колесников¹, И.В. Кравченко²

¹ГУО «Средняя школа №40 г. Гомеля», Гомель, Беларусь, chem@chem.by

²РУП «Белмедпрепараты», Минск, Беларусь, ivan@chem.by

Введение. Проблема радонового загрязнения воздуха является актуальной несмотря на то, что радон относится к естественным источникам пополнения фоновой среднегодовой дозы. Особенность этого источника состоит в том, что его вклад в фоновую дозу составляет 50% и более [1], т.е. его можно рассматривать как основной. А что наиболее важно – на него возможно влиять, теоретически даже полностью устраняя, в отличие от иных фоновых источников. Неравномерность фоновой дозы обусловлена тем, что радон/торон газообразен и постоянно выделяется из практически любых минералов, в том числе и входящих в состав строительных материалов. Выделение обуслов-

лено содержанием в минералах урана или тория. Например, песок в среднем содержит 1 грамм ^{238}U на тонну [2]. Помимо скорости выделения концентрация радона в воздухе зависит от объема и вентиляции помещения, и может превышать на 3 порядка таковую в наружном атмосферном воздухе [1].

Причины, по которым радон лидирует в накоплении фоновой дозы следующие: альфа-распад радона и части его дочерних продуктов, их газообразность или аэрозольность; пребывание человека в помещениях с недостаточной вентиляцией или состоящих из строительного материала с повышенным содержанием родительских радионуклидов радона.

Вследствие альфа-распада биологический эффект от радона в 20 раз превышает таковой для гамма-нуклидов. У ^{222}Rn происходит 4 альфа-распада до превращения его в стабильный ^{206}Pb . Это значит, что полный биологический эффект будет 80-кратным. Биологический эффект реализуется преимущественно в органах дыхания – на поверхности эпителиальной выстилки бронхов, непосредственно контактирующей с вдыхаемым воздухом. С учетом длительности периодов полураспада в цепочке ^{222}Rn можно предположить, что 3 альфа-распада будут в одной точке эпителия, 4-й ($T_{1/2} \sim 22$ года) – в любом месте организма из-за миграции нуклидов за столь долгий срок. Наиболее неблагоприятный исход дозовой нагрузки радона и его дочерних продуктов распада не уникален, это онкогенность. В данном случае – рак легких. Согласно отчету всемирной организации здравоохранения, загрязнение воздуха помещений радоном является причиной возникновения рака легких в районе от 3 до 14% случаев, что занимает второе место по частоте после курения [3]. Учитывая, что ежегодно от рака легких умирает 1,5 миллиона человек (во всем мире), среди них 150 тысяч случаев вызваны именно радоном. Таким образом, среди некурящих фактор радона по канцерогенности для органов дыхания выходит на первое место.

В странах Европы и США уже серьезно обеспокоены проблемой радона – пытаются решить ее следующими способами: через предварительную проверку и неиспользование материалов и мест, выделяющих радон для целей строительства; устанавливая принудительную вентиляцию в местах непосредственного выделения радона. Только в США это выливается в миллиард долларов ежегодных затрат [3]. В условиях более прохладного климата эффективные системы принудительной вентиляции будут еще сложнее и дороже вследствие потребности в обустройстве теплообмена для сбережения тепловой энергии.

В настоящее время методы принудительной вентиляции помещений и неиспользования некондиционных материалов или площадей для строительства помещений являются единственными широко используемыми для решения рассматриваемой проблемы.

Материалы и методы. В поисках альтернативного, более эффективного способа снижения вклада изотопов радона в среднегодовую фоновую дозу внимание авторов было обращено на реализацию методов радиометрии радона. Некоторые из них являются косвенными и осуществлены через концентрирование дочерних продуктов распада (ДПР). Концентрирование ДПР проводится протяжкой большого объема воздуха через фильтр-накопитель или же электростатически. Вполне логично предполагать, что концентрирование в некотором месте измерения означает снижение концентрации вокруг, если поступление радионуклида при этом остается равномерным. Если методы с протяжкой воздуха сходны с вентиляцией, то электростатический метод [4] уникален и не применялся с целью очистки воздуха от ДПР; изучение эффективности метода в этом направлении так же не проводилось. Таким образом, авторами было принято решение исследовать применимость электростати-

ческого метода сбора дочерних продуктов распада изотопов радона с целью очистки воздуха помещений от таких продуктов.

Кратко рассмотрим суть метода электростатического сбора ДПР. В момент своего образования первый и последующие дочерние продукты распада будут являться положительно заряженными ионами (более чем в 90% случаев [5]). Часто полагают, что испускание альфа-частицы должно придать отрицательный заряд оставшемуся ядру, что справедливо только при рассмотрении процесса распада в закрытой системе. В реальной ситуации дочерний атом теряет электроны, так как альфа-частица, испущенная из ядра, пролетает через электронные оболочки атома, срывая часть электронов. К тому же, дочерний атом получает энергию отдачи, значительно превышающую максимальную энергию связи электронов. При альфа-распаде разница между массами дочернего ядра и альфа-частицы не так велика, как в иных случаях распада, поэтому энергия отдачи для дочернего ядра будет порядка сотни кэВ. Например, ^{218}Po , распадаясь, отдает ^{214}Pb энергию в 117 кэВ [5]. Положительно заряженный ион за некоторое время (в районе десятков секунд) присоединяется к случайно встреченной аэрозольной частице (частице пыли в воздухе), придавая ей небольшой положительный заряд. Если поместить на открытом пространстве электрод и подать на него отрицательный потенциал, то положительно заряженные аэрозольные частицы будут двигаться в направлении силовых линий внешнего электрического поля – к его источнику. Тем самым можно без механической протяжки воздуха, весьма избирательно собирать на поверхности электрода большую часть свежобразованных дочерних продуктов распада. Впервые такой метод был применен С. Costa-Ribeiro в 1960-х для интегрального измерения концентрации радона в воздухе урановых рудников [6].

В авторской реализации метод электростатического сбора применен с некоторыми изменениями, поскольку целью является не точная радиометрия, а максимально эффективная (в т.ч. экономически) очистка.

Исследовательская установка для сбора состоит из контрольно-измерительной части и электростатической ловушки. Контрольно-измерительная часть представляет собой счетчик импульсов на основе датчика типа СБМ-20, установленного внутри электрода-ловушки. Она необходима для регистрации событий бета- и гамма-распада ДПР радона с целью дальнейшего сравнительного анализа для установления относительной эффективности сбора, включая измерение условий проведения процесса (влажность воздуха, температура, напряжение на электроде-ловушке). Электроника контрольно-измерительной части представлена микроконтроллером Atmega8. Он функционирует с постоянной записью данных от датчиков на SD-карту, осуществляет вывод текущей информации на символьный дисплей. Данные с датчика СБМ-20 – это разница времени между каждыми двумя импульсами, в миллисекундах. Временного разрешения в 1 миллисекунду вполне достаточно, учитывая, что мертвое время самого датчика СБМ-20 всего на порядок меньше, а предполагаемая активность ловушки вызовет не более десятка импульсов в секунду.

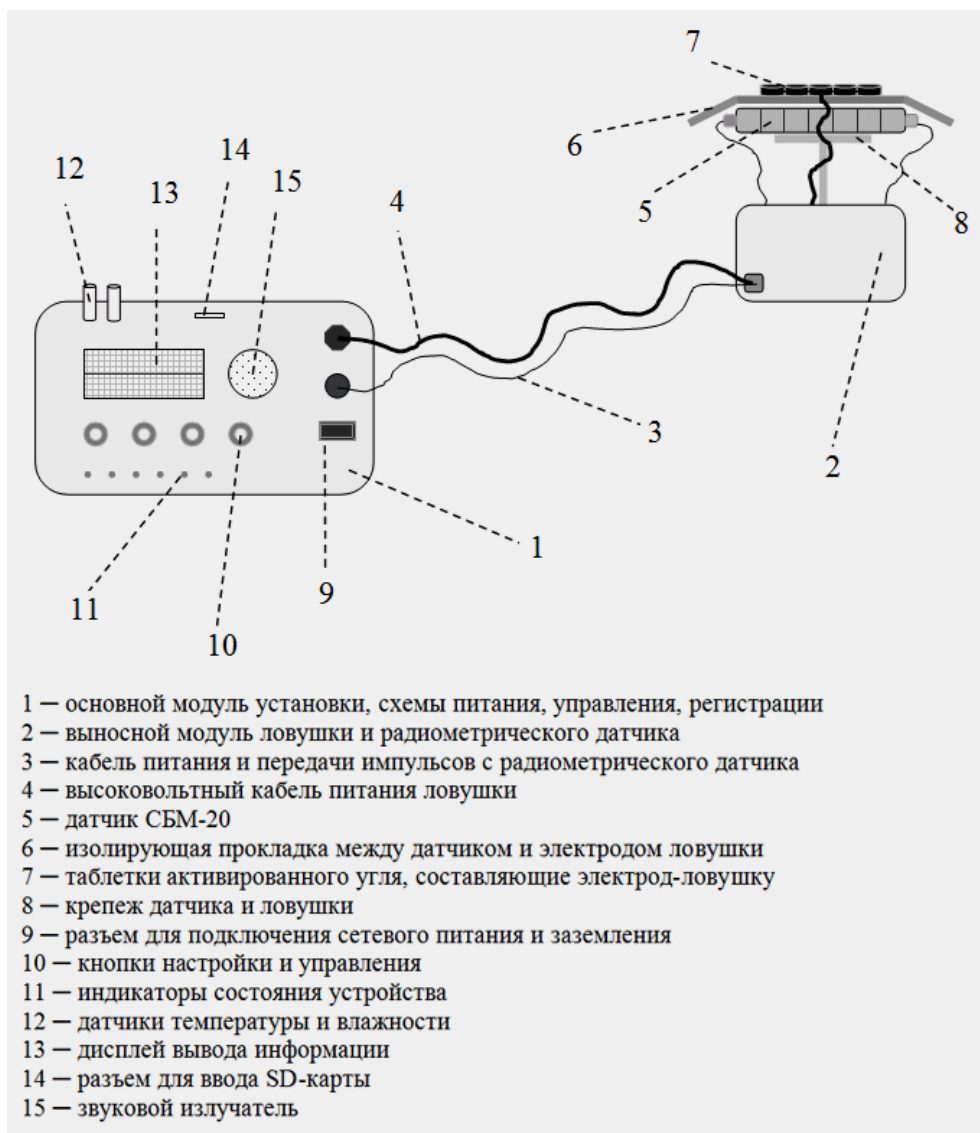


Рисунок 1. Общее устройство исследовательской установки

Электростатическая ловушка выполнена в виде электрода, покрывающего поверхность датчика СБМ-20 и высоковольтного генератора (к отрицательному выводу которого подключен этот электрод). Напряжение на выходе высоковольтного генератора может быть задано с микроконтроллера. Положительный вывод генератора подключен к общему проводу схемы и заземлен. В качестве материала электрода-ловушки выбран активированный уголь. Есть основания полагать, что его сорбционность будет полезна для прочного удержания осевших аэрозольных частиц, особенно при исчезновении отрицательного потенциала. Так же активированный уголь удобен стандартной формой поставки в таблетках одинаковой массы и размеров.

Эксперимент по изучению эффективности удаления ДПР радона проводился в помещении объемом 59 м^3 , материал стен — силикатный кирпич, пол и потолок железобетонные. Значимая вентиляция помещения отсутствует. Температура воздуха $26 \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность 45% . За время проведения измерений (8 часов) эти параметры практически не изменялись. Электрод-ловушка с потенциалом в -5000 В был размещен в центре помещения, на высоте 1 метр. Проведено 4 отдельных измерений, следовавших одно за другим с кратким перерывом для смены активированного угля на электроде (каждое измерение длительностью 2 часа). Отработанный в ловушке активированный уголь убирался из помещения.

Результаты исследований и их обсуждение. Массив данных, записанных на карту памяти во время исследования, был обработан. В данном случае проводился подсчет только общего числа импульсов за период каждого измерения. Обобщенные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования сбора ДПР установкой

<i>Номер исследования</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Число импульсов за 2 часа	8657	5381	3775	2708
Импульсов в секунду	1,202	0,747	0,524	0,376

По табличным результатам можно вынести суждение о снижении числа распадов, регистрируемых в ловушке с каждым новым сбором-измерением в помещении. Так, после первого исследования число событий, вызванных собранными ДПР радона, снизилось в 1,61 раза, после второго – в 1,42 и после третьего – в 1,39. Это означает, что некоторая часть ДПР устранялась из воздуха помещения после каждого прошедшего исследования, влияя на следующее. Вполне можно заключить, что за 8 часов сбора ДПР их концентрация снизилась в 3,2 раза относительно существовавшей до сбора.

Заключение. Согласно результатам предварительных исследований, метод электростатического сбора дочерних продуктов распада радона выглядит вполне способным использоваться для снижения их концентрации. Во время исследования удалось снизить концентрацию ДПР втрое. Однако исходная концентрация радона или самих ДПР установлена не была, поэтому о количественном снижении фона говорить на данный момент нельзя. Авторами запланированы дальнейшие исследования с целью уточнения наиболее оптимальных условий (напряжения электрода, температуры, влажности, скорости воздухообмена) для очистки воздуха от ДПР электростатическим методом и выяснения точных количественных характеристик фона (и его снижения).

Литература

1. Ларин, С.А. Вклад приоритетных канцерогенов в развитии злокачественных новообразований среди населения / С.А. Ларин, К.Г. Громов, С.А. Мун // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 11. – С. 95–96.
2. Пархоменко, В.И. Радиоактивность различных строительных материалов, используемых в СССР // Радиационная гигиена, Ленинград. – 1980. – № 9. – С. 22–24.
3. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective / H. Zeeb, F. Shannon // World Health Organization – 2009.
4. Махди, М.Р. Радиометрия эсхалиции радона из строительных материалов: дис. канд. техн. наук: 05.11.10 / М.Р. Махди // Минск. – 1995. – 105 с.
5. Effect of electrical field on ^{222}Rn progeny concentration / J. Bugu // Health Phys. – 1985. – Vol. 49. – P. 512–518.
6. Radon detector suitable for personal or area monitoring / C. Costa-Ribeiro, J. Thomas, R.T. Drew // Health Phys. – 1969. – Vol. 17. – P. 193–196.

К ПРОБЛЕМЕ ПРОИЗВОДСТВА ГОВЯДИНЫ, СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ НОРМАТИВУ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА ПО СОДЕРЖАНИЮ ^{137}Cs

Е.В. Копыльцова, Э.Н. Цуранков

РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь, kev81@tut.by

Введение. В ряде сельскохозяйственных предприятий Республики Беларусь, расположенных на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, существует вероятность производства мяса с превышением допустимых уровней содержания радионуклидов. Это связано с ужесточением допустимых уровней содержания ^{137}Cs в говядине с 500 до 200 Бк/кг в связи с вступлением в силу технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»). Без специальных расчетов сложно заранее предсказать объемы производства сельскохозяйственной продукции, загрязненной сверх норматива.

Нормативные документы по содержанию радионуклидов в продуктах питания не содержат указаний на то, как учитывать неопределенности контролируемых параметров безопасности. В этой связи возникает необходимость применения вероятностных методов, что особенно важно для решения практически значимых задач, касающихся производства и последующего использования продовольственного сырья, сертификации и реализации полученной на загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных землях продукции. Ключевой вероятностной характеристикой является риск получения продуктов питания, не соответствующих принятым санитарно-гигиеническим нормативам. Оценка и анализ риска получения продукции с превышением нормативных значений является новым, но интенсивно развиваемым во всем мире междисциплинарным научным направлением, принципиальные положения которого заключаются, в частности, в выделении в единый процесс принятия решений оценку риска и управление им [1–3].

Оценка и анализ рисков производства сельскохозяйственной продукции с превышением санитарно-гигиенических нормативов должны обеспечивать безопасность пищевых продуктов по всей технологической цепи, не только на этапе их производства, но и на этапах получения продовольственного сырья и кормов.

Основной целью работы являлось гарантия соблюдения стандартов безопасности на основе оценки рисков при производстве говядины с превышением нормативов Технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»).

Материалы и методы. При расчетах использовались данные радиологического контроля сельскохозяйственной продукции, агрохимического и радиологического обследования сельскохозяйственных земель, коэффициенты перехода (и их неопределенности), полученные на фактическом материале в условиях специально спланированных и проведенных производственных экспериментов. Накопленная информация систематизировалась, оценивались параметры распределений коэффициентов перехода радионуклидов по цепям «почва–растение» и «рацион–животное».

Расчет вероятности превышения содержания радионуклида для каждого вида корма производился стандартными статистическими методами по плотности вероятности величины распределения удельной активности, исходя из агрохимических показателей почвы, типа и гранулометрического состава почвы, на которой была выращена кормовая культура [4]. При оценке риска производства говядины с превышением нормативных значений учитывались неопределенности, связанные с вариабельностью

уровней загрязнения радионуклидами пастбищ и рационов кормления, типом рациона и его составом, продуктивностью животных, технологией их содержания.

Оценка вероятности реализации опасного фактора (превышение санитарно-гигиенических нормативов) устанавливалась, исходя из четырех возможных вариантов: риск отсутствует, незначительный, значительный и высокий [2, 3]. Результаты качественной оценки служили исходной информацией для осуществления количественной оценки, которая предполагала численное определение риска в целом. Полученные на основе фактических данных и в результате прогностических расчетов с помощью комплекса миграционных моделей вероятностные распределения характеристик действующих факторов (статистические распределения содержаний радионуклидов в продукции животноводства), позволили рассчитать риски производства сельскохозяйственной продукции с превышением санитарно-гигиенических нормативов. В качестве критериев рисков использовались установленные в Беларуси или ЕАЭС значения допустимых уровней.

Результаты исследований и их обсуждение. Содержание ^{137}Cs в говядине является интегральным маркером, отражающим также и нерадиационные факторы кормовой базы: виды кормов, структуру рационов кормления, половозрастные и иные характеристики животных, технологию производства. На основе анализа наиболее часто используемых на территории радиоактивного загрязнения рационов кормления был построен прогноз содержания ^{137}Cs и проведена оценка рисков превышения норматива Таможенного союза в мясе КРС с учетом неопределенности параметров, влияющих на поступление радионуклидов в товарную продукцию.

При прогнозе содержания ^{137}Cs и оценке рисков превышения норматива Таможенного союза в мясе КРС учитывались три типа рационов кормления откормочного поголовья: для зимне-стойлового периода – силосный и сенажный, для летне-пастбищного периода – летний. Кроме того, немаловажными факторами, влияющими на содержание ^{137}Cs в конкретном виде корма, являются кормовые культуры, из которых они произведены, и тип угодий, на которых они возделывались. Так, сенаж, сено и зеленая масса могут быть заготовлены на пашне, улучшенных либо естественных луговых землях; концентраты могут быть приготовлены из зерна злаковых либо бобовых культур (в качестве маркеров выбраны овес и горох, как наиболее накапливающие культуры в соответствующих группах). Поэтому при расчетах использовались три силосных, два сенажных, два летних рациона.

Максимальные значения уровней загрязнения мяса КРС в отдельных сельскохозяйственных организациях могут в три раза превышать прогнозируемые средние значения. Это связано с неблагоприятными для показателей безопасности конечной продукции комбинациями гранулометрического состава, агрохимических характеристик почв и видов кормовых культур, т.е. параметров, которые определяют величину перехода радионуклидов в корма. Однако вероятность того, что в одном сельскохозяйственном предприятии содержание радионуклидов будет максимально возможным одновременно для всех групп кормов, входящих в рацион кормления животных, незначительна. Неопределенность оценки с учетом возможных комбинаций видов и количества кормов в рационе не превышает 20%. Это значение и было использовано при расчете рисков превышения нормативного значения в мясе КРС (200 Бк/кг). При такой неопределенности риск более 25% уже является значимым.

Минимальное содержание ^{137}Cs в мясе прогнозируется при кормлении КРС рационами силосного типа, при этом риски превышения нормативного требования Таможенного союза отсутствуют. Наибольшие риски получения продукции, не соответствующей требованиям Технического регламента Таможенного союза по содержанию ^{137}Cs , имеют место при использовании в летних рационах зеленой массы с естествен-

ных луговых земель и зимне-стойловых рационов сенажного типа. Риск производства мяса КРС с превышением норматива в 200 Бк/кг присутствует в 21 сельскохозяйственном предприятии в 8 районах Гомельской области и оценивается как высокий.

Анализ фактических данных по удельной активности ^{137}Cs в говядине показал, что содержание ^{137}Cs в мясе большинства сельскохозяйственных предприятий, как правило, не превышает 100 Бк/кг, причем значительное число значений были ниже предела детектирования измерительной аппаратуры (< 32 Бк/кг). В 2014 году в семи сельскохозяйственных предприятиях Гомельской области (КСУП «Дубовый Лог» Добрушского, КСУП «50 лет БССР» Калинковичского, КСУП «Маложинский» Брагинского, ОАО «Хойникский Агросервис», КСУП им. Мележа и КСУП «Оревичи» Хойникского, РСУП «Э/б «Криничная» Мозырского районов) зарегистрированы случаи содержания ^{137}Cs в мясе КРС с превышением нормативных значений Технического регламента Таможенного союза в диапазоне 220-400 Бк/кг. Отмечены случаи содержания ^{137}Cs в мясе КРС выше 200 Бк/кг из частного сектора двух районов Гомельской области.

Заключение. На основе фактических данных и прогнозных значений содержания ^{137}Cs в мясе КРС был составлен перечень сельскохозяйственных предприятий Гомельской области, в которых возможно получение мяса КРС с превышением норматива Таможенного союза. Было принято решение включить в перечень группу предприятий, в которых фактически не отмечены случаи превышения нормативов содержания ^{137}Cs в мясе КРС, однако риски превышения высоки и могут быть реализованы при изменении структуры рационов кормления либо при использовании других видов кормов. Проблемы с производством мяса КРС с содержанием ^{137}Cs выше нормативных требований могут затрагивать 12 районов Гомельской области (всего 31 сельскохозяйственное предприятие).

Практическое применение результатов исследований заключается в том, что полученные данные позволяют снижать риски реализации загрязненных продуктов питания уже на этапе планирования их производства. Результаты исследований являются научной основой для обеспечения безопасности производимого мяса КРС и повышения конкурентоспособности продукции отрасли животноводства Гомельской области.

Применение защитных мероприятий, основанное на анализе рассчитанных рисков, можно квалифицировать как «управление рисками». Модели, разработанные на стадии оценки прогностических рисков, целесообразно использовать в качестве инструментов при выборе оптимальных стратегий управления.

Литература

1. Управление качеством и безопасностью пищевых продуктов на основе анализа рисков и критических контрольных точек. Общие требования: СТБ 1470-2004. Введ. 30 июня 2004 г. № 29 // Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации. – 2004. – 14 с.
2. Меньшиков, В.В. Концептуальные основы оценки экологического риска: учеб. пособие / В.В. Меньшиков // М.: МНЭПУ. – 2001. – 44 с.
3. Методология оценки риска воздействия техногенных факторов различной природы на агроэкосистемы / Отв. за выпуск.: С.И. Спиридонов // Обнинск: ВНИИСХРАЭ. – 2007. – 68 с.
4. Закс, Л. Статистическое оценивание / Л. Закс // М.: Статистика. – 1976. – 598 с.

ДЕЗАКТИВАЦИЯ РЫБНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ НЕПРОТОЧНОГО ОЗЕРНОГО ВОДОЕМА

А.В. Кудельский¹, Дж.Т. Смит², В.И. Пашкевич¹, С.В. Овсянникова³

¹ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси», Минск, Беларусь, kudelsky@nature.basnet.by

²Портсмутский университет, UK, jim.smith@port.ac.uk

³Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, svetlanaosv@mail.ru

Введение. Изучением радиоэкологических последствий чернобыльской катастрофы было установлено высокое загрязнение ^{137}Cs рыбных популяций замкнутых непроточных озер по сравнению с речными популяциями, и поставлена проблема дезактивации рыб озерных экосистем в районах радиоактивных выпадений. Установлено, что загрязнение ^{137}Cs биоты в водных экосистемах пропорционально содержанию $^{137}\text{Cs}^+$ в воде и обратно связано с концентрацией в воде K^+ [1]. С учетом этого обстоятельства, был проведен натурный эксперимент по внесению растворимой соли калия в воду непроточного озера с целью снижения содержания ^{137}Cs в рыбных популяциях.

Материалы и методы. Для проведения натурального эксперимента было выбрано непроточное оз. Святое, расположенное в 30 км юго-восточнее г. Костюковичи (рисунок 1), в зоне с плотностью загрязнения ^{137}Cs более 1 500 кБк/м².

Площадь водного зеркала озера – 0,25 км², максимальная глубина – 5,2 м, объем водной массы – 717 950 м³. Сезонные амплитуды колебаний уровня воды в озере достигали 0,5 м, что эквивалентно вариациям объема воды 717 950±125 000 м³.



Рисунок 1. Местоположение и схема озера Святое с указанием мест отбора образцов донных отложений и проб воды

Ионный состав озерной воды – гидрокарбонатный кальциевый, минерализация воды в разные сезоны года изменялась в пределах 85-155 мг/л, концентрация калия [K^+_{w}] и аммония [$\text{NH}_4^+_{\text{w}}$] в воде варьировала от 0,95 до 1 мг/л и от 0,2 до 0,6 мг/л, соответственно. Содержание ^{137}Cs в воде ($A^{137}\text{Cs}_{\text{w}}$) непосредственно перед экспериментом составляло 3,8-4,9 Бк/л, в среднем – около 4,0 Бк/л. С целью изучения влияния K^+ на процессы снижения концентрации ^{137}Cs в рыбе в феврале 1998 г. на ледовом покрове озера было распределено 14 535 кг калийных удобрений. В их составе 94,7 мас. % было представлено хлоридом калия и 5,3 мас. % – калий-аммониевым фосфатом. Полное растворение солей калия в воде озера зафиксировано 1 апреля 1998 г. С этого времени по февраль 2000 г. на озере был организован регулярный гидрохимический и радиохимический мониторинг с периодичностью в 2 недели для отбора проб воды и посезонного (май, сентябрь) отлова рыбы. В последующие годы (2001–2004) было выполнено не-

сколько дополнительных отловов рыбы. Периодически отбирались и исследовались пробы воды из поверхностного 0,5 м слоя водной массы озера.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследованиями 1997–2000 гг. установлено распределение ^{137}Cs по вертикальным профилям различного типа донных отложений оз. Святое. Удельные активности глинисто-супесчаных осадков варьировали от (107 ± 8) (слой 0-2 см) до (60 ± 5) кБк/кг сухого вещества (слой 2-4 см). Удельные активности этих же слоев песчаных отложений соответственно составляли от (61 ± 4) до $(80,3 \pm 0,5)$ кБк/кг. Объемная активность поровых растворов соответствующих слоев глинисто-супесчаных отложений варьировала от (59 ± 6) до (46 ± 5) Бк/л, а песчаных – от (140 ± 10) до (270 ± 20) Бк/л. По нашим оценкам, общий запас ^{137}Cs в донных отложениях озера составлял около 375 ГБк.

По состоянию на 25.05.1997 г., ионный состав воды оз. Святое соответствовал гидрокарбонатному кальциевому типу с минерализацией 101,9 мг/л и низкой концентрацией ионов калия в воде ($[\text{K}^+_w] = 0,95$ мг/л). Удельная активность рыбы по ^{137}Cs в расчете на сухое вещество варьировала в пределах 8,4-117 кБк/кг (окунь – 58-117 кБк/кг; щука – до 56 кБк/кг; плотва – 12,4-16,7 кБк/кг, красноперка – 8,4-17,5 кБк/кг).

После внесения КСl концентрация $[\text{K}^+_w]$ возросла до 10 мг/л (20.04.1998), минерализация изменилась незначительно, ионный состав воды трансформировался в гидрокарбонатно-хлоридно-кальциево-калиевый. После достижения своего максимума (10 мг/л) концентрация K^+ в воде $[\text{K}^+_w]$ начала постепенно снижаться вследствие биологического потребления гидробионтами, сорбции и встраивания ионов K^+ в межслоевое пространство глинистых минералов донных отложений водоема. Единовременное повышение $[\text{K}^+_w]$ в водной массе повлекло за собой резкое увеличение содержания ^{137}Cs в воде за счет активизации процесса десорбции и вытеснения катионами K^+ ионов $^{137}\text{Cs}^+$ из глинистых минералов (иллит и др.) донных отложений сначала до 9,3-11,4, а затем периодически и до 15-17 Бк/л в летние месяцы.

Изменение во времени удельной активности 0,2 м слоя озерной воды ($A^{137}\text{Cs}_w$) можно описать тригонометрической косинус-синусоидной функцией ($R^2 = 0,57$):

$$A^{137}\text{Cs}_w = -2,99 \cos\left(\frac{2\pi}{12}t - 0,56\right) + 10,63, \quad (1)$$

где t – время (месяцы) после внесения калийного удобрения.

В течение трех лет (с 1997 по 1999) было проведено 6 отловов рыбы и получено 297 образцов мышечной ткани 1 771 особи рыб, выловленных в оз. Святое. В рыбных популяциях были представлены щука (0,74%), плотва (22,87%), красноперка (15,09%), линь (1,7%), пескарь (5,52%), уклейка (0,28%), верховка (5,48%), карась (4,33%), лещ (1,2%), серебряный лещ (0,41%), гальян (2,85%), окунь (24,10%), ерш (0,93%) и красноперка (14,5%).

Установлено, что сразу же за полным растворением хлорида калия в воде начался процесс активной дезактивации рыб. По состоянию на май 2005 г., загрязнение рыбных популяций ^{137}Cs в результате внесения K^+ в водную массу оз. Святое снизилось на 41-67% (в среднем на 54,2%) относительно уровня первоначального загрязнения, доля естественной деконтаминации (радиоактивный распад) за период наблюдений (от 67 до 82 месяцев) составила 12-15% (в среднем 13,4%).

Несмотря на значительный рост концентрации растворенного в озерной воде ^{137}Cs (с 4 до 15-17 Бк/л) после внесения хлорида калия, процесс деконтаминации ихтиофауны протекал довольно активно, достигая в среднем 1,31% в месяц относительно первоначальных уровней загрязнения рыб. Устойчивое снижение уровня загрязнения рыбы ^{137}Cs объясняется тем, что накопление ^{137}Cs в организме рыбы зависит не столько

от концентрации радиоактивного цезия в воде, сколько от соотношения конкурирующих ионов $^{137}\text{Cs}^+$ и K^+ ($\text{AC}_{\text{sw}}/\text{K}_w^+$). Для наиболее характерных видов рыб непроточных водоемов юго-востока Беларуси эта зависимость выглядит следующим образом:

$$\text{Окунь} : A^{137}\text{Cs}_{fish} = 6981,4 (\text{AC}_{\text{sw}} / \text{K}_w^+)^{1,1175}; R^2 = 0,74 \quad (2)$$

$$\text{Щука} : A^{137}\text{Cs}_{fish} = 7907,7 (\text{AC}_{\text{sw}} / \text{K}_w^+)^{0,835}; R^2 = 0,65$$

$$\text{Плотва} : A^{137}\text{Cs}_{fish} = 2947,6 (\text{AC}_{\text{sw}} / \text{K}_w^+)^{1,0589}; R^2 = 0,88$$

В связи с постоянно уменьшавшейся во времени концентрацией K^+ в воде озера Святое соответственно возрастала величина отношения $\text{AC}_{\text{sw}}/\text{K}_w^+$, изменение которого во времени хорошо аппроксимировалось тригонометрической функцией косинусоидного типа ($R^2 = 0,72$):

$$\frac{A^{137}\text{Cs}_w}{[\text{K}^+]_w} = 0,32 \cos\left(\frac{2\pi}{12}t - 0,42\right) + 0,096t + 1,13 \quad (3)$$

с полупериодом изменения отношения $\text{AC}_{\text{sw}}/\text{K}_w^+$ 6 месяцев, как в описанном выше случае изменения со временем содержания ^{137}Cs в воде (AC_{sw}).

Отмеченный рост во времени отношения $\text{AC}_{\text{sw}}/\text{K}_w^+$ однозначно свидетельствует как о снижении темпа деконтаминации рыб вследствие устойчивого выведения $[\text{K}^+]_w$ из водной массы, так и о приходящем на смену деконтаминации новом цикле загрязнения ^{137}Cs рыбных популяций. В этой связи представляет практический интерес вопрос о продолжительности действия внесенных в озеро ионов K^+ или, другими словами, вопрос о времени, когда отношение $^{137}\text{Cs}^+/\text{K}^+$ в воде озера достигнет 4 уровня, с которого начался эксперимент по внесению растворимой соли калия 1 апреля 1998 г.

Первая попытка прогнозирования продолжительности воздействия K^+ на радиационное состояние рыб в оз. Святое принадлежит Дж. Т. Смиуту [2]. В соответствии с разработанной математической моделью, искусственная «калиевая» деконтаминация рыб (окунь) достигает своего максимума в течение первых 4-5 лет после начала эксперимента, после чего она должна постепенно ослабевать примерно до 2013 г., сменяясь естественной деконтаминацией в результате радиоактивного распада ^{137}Cs (рисунок 2).

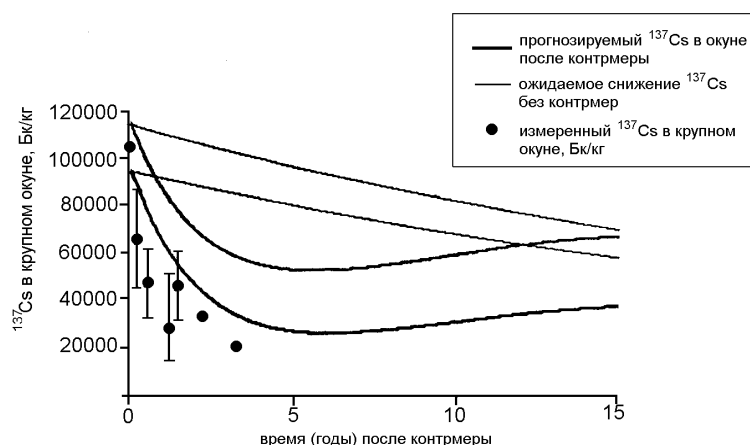


Рисунок 2. Прогноз снижения $A^{137}\text{Cs}$ в крупных окунях из озера Святое после контрмеры [2]

Заключение. Результаты эксперимента свидетельствуют о реальной возможности долговременного снижения содержания ^{137}Cs в рыбе непроточных озерных экосистем методом внесения дополнительного количества K^+ (в виде КСI) при условии под-

держания соотношения между $^{137}\text{Cs}^+$ и K^+ в воде ($A^{137}\text{Cs}_w/[\text{K}^+_w]$) в режиме, благоприятном для дезактивации рыб.

Внесением калийной соли в водную массу непроточного озера Святое с последующим увеличением отношения $A^{137}\text{Cs}_w/[\text{K}^+_w]$ в воде от 4 до 10 удалось в течение 26-82 месяцев снизить загрязнение рыбных популяций ^{137}Cs по сравнению с первоначальным уровнем на 53-82% (в среднем на 67,4%) с учетом радиоактивного распада и на 32-67% (в среднем на 54,2%) без учета естественной деконтаминации.

В непроточных озерных экосистемах с внутренними источниками ^{137}Cs (донные осадки) загрязнение рыбных популяций ^{137}Cs в основном контролируется соотношением $^{137}\text{Cs}^+$ и K^+ в воде ($A^{137}\text{Cs}_w/[\text{K}^+_w]$).

Эффективная фаза деконтаминации рыбных популяций может продолжаться вплоть до достижения озерной водой первоначальных условий эксперимента по критерию $A^{137}\text{Cs}_w/[\text{K}^+_w]$.

Литература

1. Кудельский, А.В. Влияние калия на поведение ^{137}Cs в природных водах районов радиоактивного загрязнения (Беларусь) / А.В. Кудельский, Дж.Т. Смит, В.И. Пашкевич [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 1998. – Т. 4/ – № 1. – С. 110–113.

2. Application of potassium chloride to a Chernobyl-contaminated lake: modeling the dynamics of radiocaesium in an aquatic ecosystem and a decontamination of fish / J.T. Smith [et al.] // The Journal of Total Environ. – 2003. – Vol. 205. – P. 217–227.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ АГРОХИМИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs В УРОЖАЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В.К. Кузнецов¹, В.П. Грунская², Н.В. Андреева¹

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, Обнинск, Россия

²ФГБНУ «Тулский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Плавск, Россия

Введение. Поведение радионуклидов в агроэкосистемах, подвергшихся радиоактивному загрязнению, обуславливается в основном двумя группами факторов: в первую входят естественные биохимические процессы, определяющие поведение радионуклидов в почве и их переход в растения, а во вторую – факторы, связанные с проведением агротехнических и агрохимических мероприятий, которые оказывают модифицирующее влияние на миграцию радионуклидов. При этом агрохимические мероприятия являются наиболее рациональными как для решения проблемы сохранения плодородия почвы, повышения урожая и улучшения качества сельскохозяйственной продукции, так и получения продукции с содержанием радионуклидов, соответствующим санитарно-гигиеническим нормативам. Это связано с тем, что современные технологии возделывания предусматривают обязательное систематическое внесение минеральных, органических удобрений и мелиорантов, применение которых направлено на сохранение и увеличение плодородия почвы, рост урожайности и повышение качества продукции.

Внедрение в рамках применяемых систем удобрений специальных защитных агрохимических мероприятий приводит к изменению поведения радионуклидов в системе почва-растение и значительному снижению загрязнения сельскохозяйственной про-

дукции радионуклидами. При этом значительное влияние могут оказывать характер, сроки, периодичность, масштабы проведения агрохимических мероприятий.

Снижение концентрации радионуклидов в урожае при внесении удобрений может быть обусловлено рядом причин:

- улучшение условий питания растений и связанное с этим увеличение биомассы и тем самым «разбавление» радионуклидов [1, 2];

- повышение концентрации в почве обменных катионов, в первую очередь калия и кальция [3];

- усиление антагонизма между ионами радионуклидов и ионами вносимых солей при корневом усвоении [4, 5];

- изменение доступности для корневых систем радионуклидов вследствие перевода их в труднодоступные соединения и обменной фиксации в результате реакций радионуклидов с солями вносимых удобрений [1, 5]. В настоящее время вопросы динамики изменения накопления радионуклидов в урожае сельскохозяйственных культур в случае длительного применения различных по характеру агрохимических мероприятий на биологическую подвижность радионуклидов в разных типах почв относятся к числу недостаточно изученных.

Целью исследований являлась оценка влияния различных систем агрохимических мероприятий или их полное отсутствие на переход ^{137}Cs в растения из выщелоченных черноземов в течение продолжительного периода времени после аварии на Чернобыльской АЭС.

Материалы и методы. Исследования по оценке влияния различных систем агрохимических мероприятий на накопление ^{137}Cs в урожае сельскохозяйственных культур проводили на радиоактивно загрязненных угодьях Тульского НИИ сельского хозяйства с 1992 по 2010 гг. С этой целью на основе расчетных значений индексов агрохимической окультуренности почв (Иок) был проведен анализ и выявление пространственного распределения полей различных севооборотов по степени их окультуренности. В дальнейшем был проведен выбор полей, различающихся почвенным плодородием, интенсивностью и направленностью проведения агрохимических мероприятий, с которых периодически в течение 18 лет отбирались и анализировались образцы почв и растений.

Технологии возделывания сельскохозяйственных культур варьировали на выделенных полях от экстенсивных до интенсивных. Интенсивный уровень на полях с высокой степенью окультуренности заключался в ежегодном внесении под зерновые культуры удобрений в дозах N(60-90)P60K60 и в периодическом (исходя из гидролитической кислотности) известковании почв (1 раз в 4 года), что способствовало повышению плодородия почв и возрастанию индекса агрохимической окультуренности почв (Иок) с 0,85 до 0,93.

Для базовых технологий была характерна максимальная дифференциация мероприятий по уходу, применению удобрений и средств защиты растений в зависимости от состояния почвы и вида предшествующей культуры. В период до 2010 г. на этих полях проводились периодическое известкование. Минеральные удобрения вносились под озимые и пропашные культуры преимущественно в дозах N(60-90)P60K60. Остальные культуры возделывались без внесения минеральных удобрений. Вынос питательных веществ с урожаем ежегодно превышал поступление с удобрениями, что обусловило снижение Иок с 0,86 до 0,83.

В качестве полей с полностью экстенсивными технологиями возделывания сельскохозяйственных культур служил контрольный вариант многолетнего полевого эксперимента, в котором с 1982 по 2008 гг. минеральные удобрения не применялись. При

этом индекс агрохимической окультуренности почвы этого варианта снизился за период исследований с 0,83 до 0,78.

Для вновь освоенных участков полей с низкой степенью окультуренности было характерно проведение с 1993 по 2000 гг. всего комплекса мероприятий по повышению плодородия почв с известкованием и ежегодным внесением минеральных удобрений в дозах N(60-90)P60K60. Вместе с тем, начиная с 2000 по 2010 гг., агрохимические мероприятия на этих полях не проводились и культуры возделывались без применения минеральных удобрений. Индекс агрохимической окультуренности этих участков полей за период освоения (с 1993 по 2000 гг.) вырос с 0,51 до 0,62.

Пробы сельскохозяйственных культур отбирались со всех выделенных полей севооборотов с разделением их на хозяйственно-ценную и побочную часть продукции. Для исключения влияния видовых особенностей растений на накопление радионуклидов в качестве основной культуры была выбрана яровая пшеница.

Образцы почв и растений высушивались до воздушно-сухого состояния и измельчались на мельнице МРП-1. Определение ^{137}Cs проводилось γ -спектрометрическим методом на многоканальном анализаторе IN 1200 с германиевым детектором GM, ошибка измерений не превышала $\pm 10\%$. Проводился расчет коэффициентов перехода или коэффициентов накопления ^{137}Cs как интегральных показателей, связывающих концентрацию радионуклида в растениях и плотность загрязнения почв на единицу площади (КП) или их удельную активность в почвах (КН).

Результаты исследований и их обсуждение. Исследования, проводимые в течение 18 лет, показали неоднозначную зависимость уровней накопления ^{137}Cs в урожае яровой пшеницы от интенсивности проводимых агрохимических мероприятий и формируемых за счет них показателей почвенного плодородия.

Длительное возделывание сельскохозяйственных культур по экстенсивной технологии без проведения агрохимических мероприятий обуславливает истощение даже высокоплодородных черноземных почв и способствует подкислению почвенного раствора на 0,4 единицы, снижению содержания подвижного калия на 26 мг/кг и гумуса на 0,2 единицы. При этом произошло возрастание коэффициентов накопления ^{137}Cs в урожае яровой пшеницы в 1,2 раза (рисунок 1 Б).

Напротив, интенсивное применение агрохимических мероприятий с ежегодным сбалансированным применением минеральных удобрений и мелиорантов в оптимальных объемах, способствует не только поддержанию почвенного плодородия, но и снижению перехода ^{137}Cs в урожай яровой пшеницы в 3,1 раза (рисунок 1 Г).

На почвах примерно такой же степени окультуренности применение базовой технологии возделывания сельскохозяйственных культур, включающей периодическое проведение агрохимических мероприятий, привело к снижению накопления ^{137}Cs в зерне и соломе яровой пшеницы за этот период только в 1,5 и 1,3 раза, соответственно (рисунок 1 В).

На вновь освоенных выщелоченных черноземах максимальное снижение накопления ^{137}Cs в зерне и соломе яровой пшеницы (в 3,0 и 3,2 раза, соответственно) произошло в период с 1993 по 2000 гг., то есть во время проведения наиболее полного комплекса агрохимических мероприятий (рисунок 1А). В последующие 10 лет темпы изменения накопления ^{137}Cs в растениях существенно сократились, и кратность снижения составила 1,6 раза, причем в наибольшей степени в период с 2000 по 2006 гг., что вероятно, было обусловлено влиянием последствий ранее проведенных мероприятий. В дальнейшем, в период с 2006 по 2010 гг., темпы снижения перехода ^{137}Cs в урожай растений практически не менялись.

Таким образом, на сельскохозяйственных угодьях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, подвижность радионуклидов в системе «почва–растение» определяет-

ся, с одной стороны, почвенным плодородием, а с другой – геохимическими процессами, течение и направленность которых в зависимости от характера проводимых агрохимических мероприятий или их отсутствия может видоизменяться в сторону снижения или, наоборот, возрастания их мобильности.

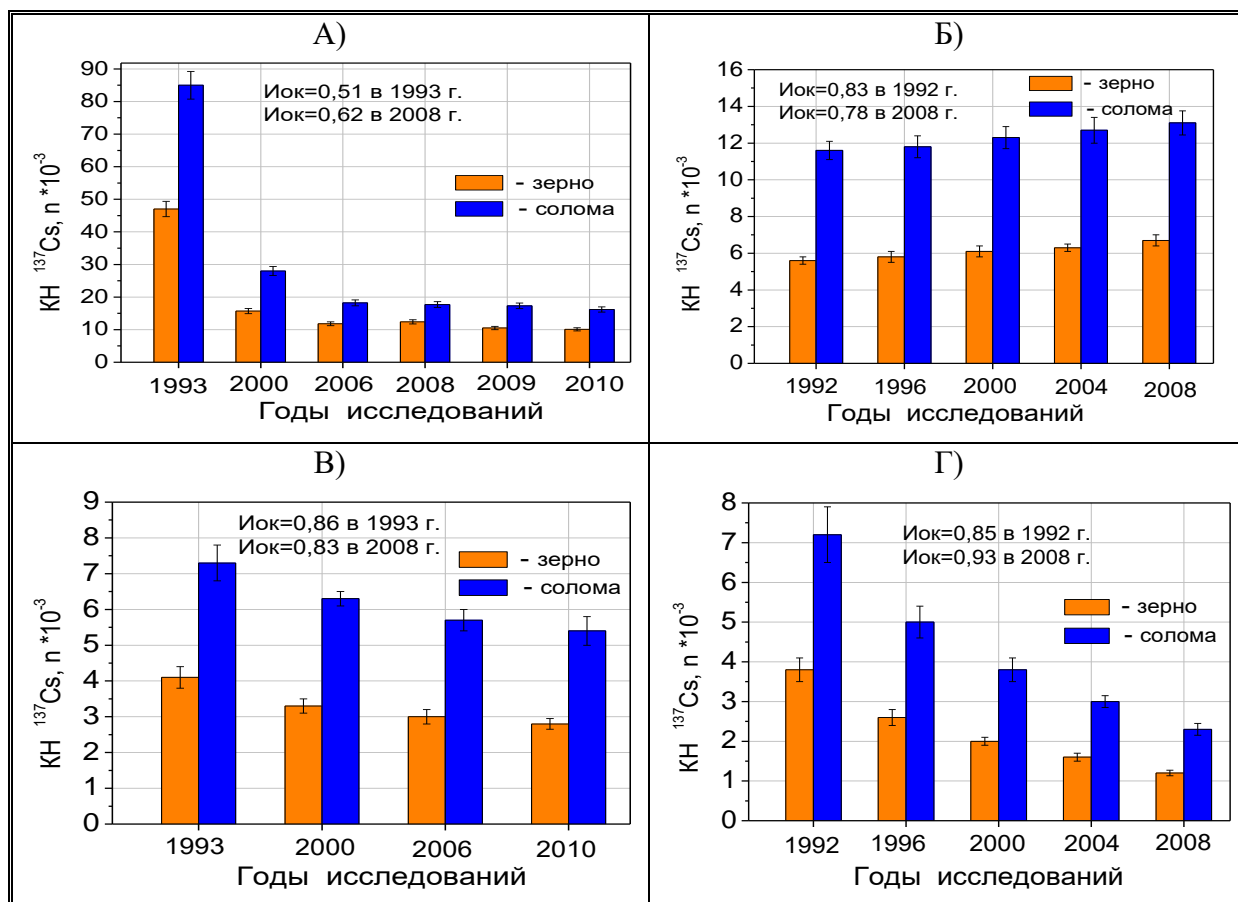


Рисунок 1. Динамика накопления ¹³⁷Cs в урожае яровой пшеницы из освоенных (А) и окультуренных почв с экстенсивной (Б), базовой (В) и интенсивной (Г) технологиями возделывания сельскохозяйственных культур

Литература

1. Алексахин, Р.М. Агрохимия ¹³⁷Cs и его накопление сельскохозяйственными растениями / Р.М. Алексахин, И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров // Агрохимия. – 1977. – № 2. – С. 129–142.
2. Моисеев, И.Т. К оценке влияния минеральных удобрений на динамику обменного ¹³⁷Cs в почвах и доступность его овощным культурам / И.Т. Моисеев [и др.] // Агрохимия. – 1988. – № 5. – С. 86–92.
3. Юдинцева, Е. В. О роли калия в доступности ¹³⁷Cs растениям / Е.В. Юдинцева, Э.М. Левина // Агрохимия. – 1982. – № 4. – С. 75–81.
4. Nisbet, A.F. Association of radionuclides with different molecular size fractions in soil solution: implications for plant uptake / A.F. Nisbet [et al.] // Environ. Radioactivity. – 1993. – Vol. 18. – P. 71–84.
5. Моисеев, И.Т. К вопросу о влиянии минеральных удобрений на доступность ¹³⁷Cs из почвы сельскохозяйственным растениям / И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров, Л.А. Рерих // Агрохимия. – 1986. – № 2. – С. 89–92.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛУГОВЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

Т.В. Ласько

РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь, office@rir.by

Введение. Важнейшим фактором сохранения высокой продуктивности (60-100 ц/га к.ед. в год) луговых земель на торфяных почвах является достижение высокого уровня почвенного плодородия и оптимальных агрохимических свойств за счет применения агрохимических приемов их улучшения и эксплуатации.

Проблема сельскохозяйственного использования торфяных почв имеет особую актуальность, т.к. специфика процессов почвообразования, происходящих в торфяных почвах после осушения, требует отличной от других почв системы сельскохозяйственного использования. Процесс антропогенной эволюции торфяных почв превращает их в минеральные. Этот процесс можно замедлить, возделывая многолетние травы, которые по сравнению с другими культурами минимально разрушают органическое вещество почвы, а за счет пожнивных и корневищных остатков возвращают частично его в почву [1].

Наиболее дешевая кормовая единица – это бобово-злаковые травосмеси, особенно отличающиеся длительным использованием без применения азотных удобрений. Себестоимость кормовой единицы сена бобово-злаковых травосмесей на 20% ниже, чем сена злаковых травостоев. Исследованиями и практикой установлено, что травосмеси дают урожай на 13% выше, чем злаковые травы [2].

Благодаря продуктивному использованию влаги, накопленной в торфяной почве в весенне-летний период, бобово-злаковые травосмеси ежегодно формируют высокую урожайность зеленой массы – до 590 ц/га, сена – до 130 ц/га, что позволяет получить дополнительно 20-25 ц/га к.ед./га [3].

Эффективным мероприятием в современной радиоэкологии считается внесение минеральных удобрений, которое способствует увеличению концентрации обменных катионов в почве, приводит к усилению антагонизма между радионуклидами и внесенными катионами, к уменьшению подвижности радионуклидов и росту биомассы растений за счет оптимального минерального питания. При этом особое значение имеет регулирование азотного питания растений, поскольку недостаток доступного азота в почве снижает урожай, и концентрация радионуклидов в растениеводческой продукции повышается. Повышенные дозы азотных удобрений стимулируют накопление радионуклидов в растениях [4].

Эффективность удобрений на бобово-злаковом травостое следует оценивать не только по выходу растительной продукции, но и по сохранности бобовой компоненты, которая обеспечит урожай в последующие годы жизни агрофитоценоза. При создании и обновлении бобово-злаковых агроценозов большое значение имеет подбор компонентов, наиболее полно использующих биоклиматические ресурсы, обеспечивающих высокую урожайность и устойчивость бобовых культур в травосмесях и в меньшей степени накапливающих радионуклиды.

Известно, что фосфорно-калийные удобрения сохраняют бобовые растения в травостое. Азотные удобрения затягивают сроки образования клубеньковых бактерий и ослабляют их развитие. При внесении азота под бобово-злаковые травостои усиливается ценотическое давление злаков, и бобовая культура постепенно выпадает из травостоя. Наряду с имеющимися данными о негативном воздействии азотных удобрений на

развитие бобовых существует мнение об эффективности применения их в начальные стадии развития.

Материалы и методы. Данные по влиянию различных доз минеральных удобрений на урожайность многолетних бобово-злаковых травосмесей и накопление ими радионуклидов получены в результате исследований в полевом эксперименте, проводившемся в СПК «Оборона» Добрушского района Гомельской области с 2011 по 2014 гг. Опыт проводился на торфяной маломощной почве (0,8-1,0 м), подстилаемой песком связным со следующими агрохимическими показателями: зольность 17,0%, рН_{KCl} – 5,36, P₂O₅ – 149 мг/кг; K₂O – 315 мг/кг; CaO – 1586 мг/кг; MgO – 106 мг/кг почвы. Плотность загрязнения ¹³⁷Cs – 499 кБк/м² (13,5 Ки/км²), ⁹⁰Sr – 16,2 кБк/м² (0,44 Ки/км²).

Посев беспокровный, повторность опытов 3-кратная, площадь каждой делянки 10 м², размещение делянок рендомизированное. Минеральные удобрения в виде суперфосфата аммонизированного, калия хлористого и аммиачной селитры вносятся в соответствии со схемой полевого опыта. Фосфорные удобрения вносятся в полной дозе под первый укос, калийные и азотные – 75% под первый укос и 25% под второй укос. Микроудобрения вносятся в виде сульфата меди, молибденовокислого аммония, борной кислоты.

Результаты исследований и их обсуждение. При благоприятных метеорологических условиях вегетационного периода уже в первый год пользования травосмеси могут сформировать до трех укосов. Средняя урожайность сена достигает 127ц/га при оптимальной дозе удобрений и 138 ц/га при повышенной дозе калия (таблица 1). Прибавка урожайности травосмесей от внесения оптимальной дозы минеральных удобрений N30P60K180 + м/э достигает 61 ц/га.

На торфяно-глеевой почве внесение удобрений в дозе N60P60K180+м/э повышает урожайность сена на 12 ц/га, но вместе с тем повышенная доза азота подавляет развитие клубеньковых бактерий, что снижает рост бобовой компоненты. Наиболее эффективными дозами минеральных удобрений при возделывании бобово-злаковых травосмесей на торфяных почвах являются N30P60K180 + м/э.

Прибавки урожая сена от внесения удобрений на торфяно-глеевой почве ниже, чем на торфяной. Это связано с более высоким уровнем естественного плодородия торфяно-глеевых почв и большей доступностью элементов питания, где урожай сена на участках без внесения удобрений на 15% выше, чем на торфяной почве.

Таблица 1 – Средняя урожайность сена многолетних бобово-злаковых травосмесей на маломощной торфяной и торфяно-глеевой почвах за три года пользования

Дозы удобрений	маломощная торфяная почва		торфяно-глеевая почва	
	Урожайность, ц/га	Прибавка ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка ц/га
Галега+овсяница+кострец+тимофеевка				
Без удобрений	64,8	-	69,5	-
P60K180+м/э	110,6	45,8	94,5	30,0
N30P60K180+м/э	123,9	59,1	121,6	52,1
N30P60K240+м/э	132,5	67,7	-	-
N60P60K180+м/э	-	-	133,4	63,9
НСР ₀₅	4,5		4,5	
Лядвенец+овсяница+кострец+тимофеевка				
Без удобрений	65,9	-	68,9	-
P60K180+м/э	114,3	48,4	98,3	30,4
N30P60K180+м/э	126,9	61,0	125,1	57,2
N30P60K240+м/э	138,0	72,1	-	-
N60P60K180+м/э	-	-	137,8	68,9

Дозы удобрений	маломощная торфяная почва		торфяно-глеевая почва	
	Урожайность, ц/га	Прибавка ц/га	Урожайность, ц/га	Прибавка ц/га
НСР ₀₅	4,9		5,6	
Клевер+овсяница+кострец+тимофеевка				
Без удобрений	57,6	-	64,9	-
P60K180+м/э	101,8	44,1	92,5	27,6
N30P60K180+м/э	116,0	58,4	116,5	51,6
N30P60K240+м/э	127,2	69,6	-	-
N60P60K180+м/э	-	-	129,3	64,4
НСР ₀₅	5,2		5,2	

Установлена зависимость Кп ^{137}Cs для травосмесей от содержания в почве подвижного калия и получены значения Кп в диапазоне обеспеченности торфяных почв калием от 315 до 345 мг/кг почвы. На слабо обеспеченной калием торфяной почве внесение P60K180 способствует снижению коэффициент перехода ^{137}Cs до 4 раз в зависимости от состава травосмеси. Повышение доз калийных удобрений от 180 кг/га д.в. до 240 кг/га д.в. позволяет снизить Кп ^{137}Cs для сена в 1,5 раза. Внесение азотных удобрений в дозе 30 кг/га д.в. на фосфорно-калийном фоне на параметры накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr сеном травосмесей существенного влияния не оказывает. Результаты эксперимента показали, что накопление радионуклидов бобово-злаковыми травосмесями, возделываемыми на торфяной почве, в первый год пользования было интенсивнее, чем в последующие годы пользования (рисунки 1, 2). Во втором укосе трав переход ^{90}Sr увеличился до 1,5 раза по отношению к первому укосу.

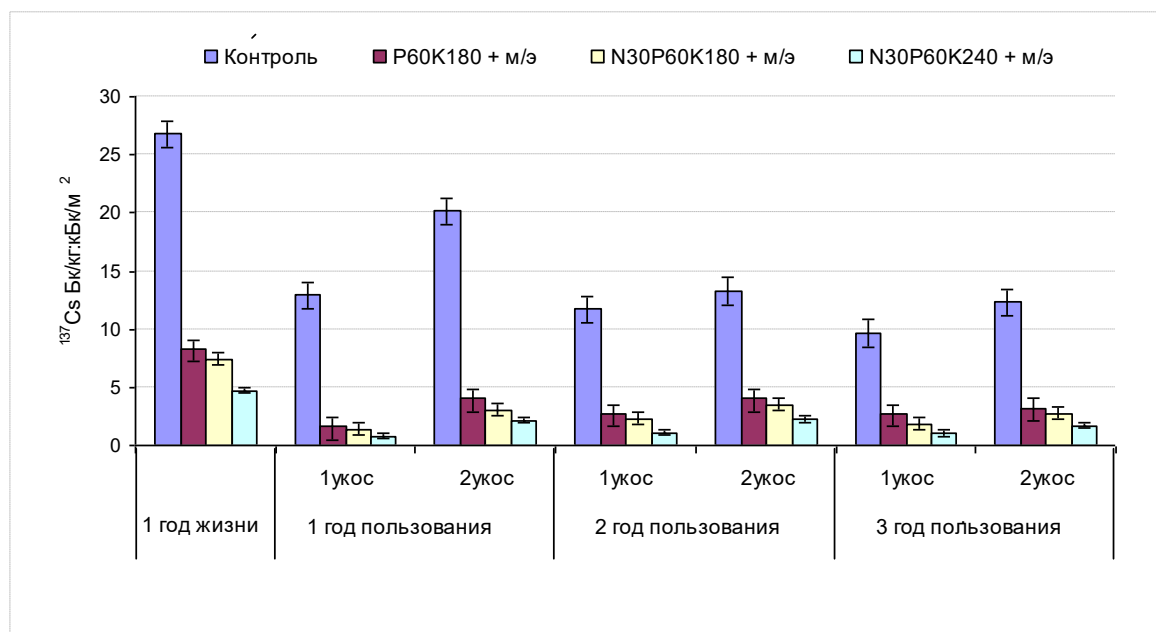


Рисунок 1. Параметры перехода ^{137}Cs для сена бобово-злаковых травосмесей при различных дозах минеральных удобрений

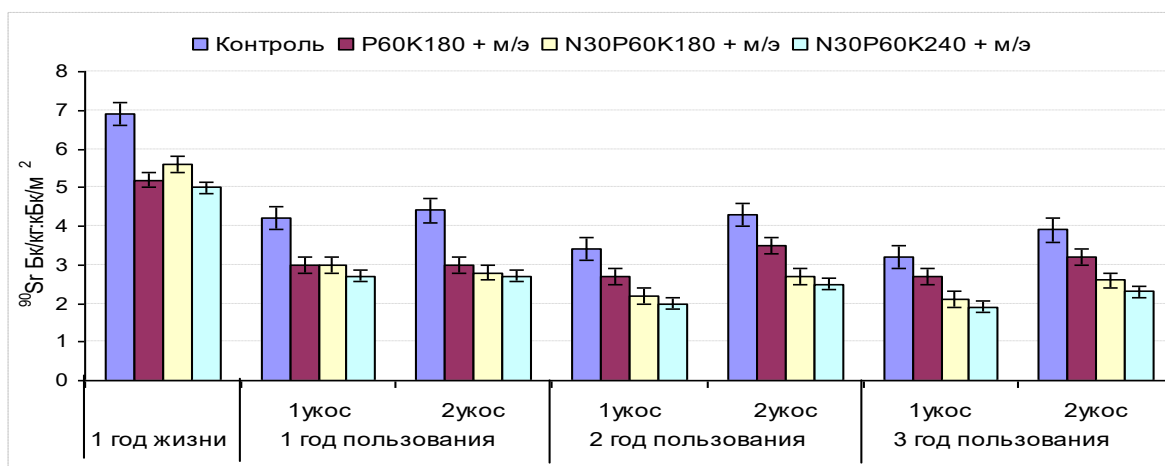


Рисунок 2. Параметры перехода ⁹⁰Sr для сена бобово-злаковых травосмесей при различных дозах минеральных удобрений

Исследованиями установлена зависимость накопления радионуклидов травосмесями от вида бобового компонента. Параметры перехода ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr для сена бобово-злаковой травосмеси на основе галеги в 1,4 раза ниже, чем для травосмесей с лядвенцем и клевером, что позволит использовать данную травосмесь для производства кормов с допустимыми уровнями содержания радионуклидов на более загрязненных участках сельскохозяйственных земель.

Заключение. В результате исследований установлено, что поступление ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в сельскохозяйственные корма может зависеть от многих факторов, в том числе от уровней азотного и калийного питания, метеорологических условий вегетационных периодов, количества и качества проводимых укосов. В соответствии с технологией возделывания многолетних бобово-злаковых травосмесей на загрязненных радионуклидами землях для получения высокого урожая (до 140 ц/га сена) на торфяных почвах при оптимальном уровне обеспеченности подвижным фосфором и калием эффективно внесение фосфора в дозе 60 кг/га д.в., калия в дозе 180 кг/га д.в., азотных удобрений в количестве 30 кг/га д.в. Внесение N₃₀P₆₀K₁₈₀ способствует снижению величины коэффициентов перехода ¹³⁷Cs для сена до 5 раз. Повышение доз калийных удобрений от 180 кг/га д.в. до 240 кг/га д.в. позволяет снизить К_п ¹³⁷Cs в 1,5 раза.

Литература

1. Мееровский, А.С. Возделывание долголетних луговых травостоев – способ сохранения торфяных почв / А.С. Мееровский, С.Н. Брель // Плодородие почв – основа устойчивого развития сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф. и IV съезда почвоведов., Минск, 26-30 июля 2010 г.: в 2 ч. / редкол.: В.В. Лапа [и др.]. – Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск. – 2010. – Ч. 1. – С. 123–125.
2. Пикун, П.Т. Продуктивность многолетних трав на торфяно-болотных почвах / П.Т. Пикун // Наше сельское хозяйство. – 2010. – № 11. – С. 78–81.
3. Шлапунов, В.Н. Резервы кормового поля / В.Н. Шлапунов [и др.] // Кормопроизводство: технологии, экономика, почвосбережение: сборник материалов Междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 25-26 июня 2009 г. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ «Минфина». – 2009. – С. 3–6.
4. Ласько, Т.В. Рекомендации по возделыванию лядвенца рогатого и галеги восточной на загрязненных радионуклидами землях / Т.В. Ласько // РНИУП «Институт радиологии». – Гомель. – 2009. – 66 с.

ПОСТУПЛЕНИЕ ^{137}Cs и ^{90}Sr В МНОГОЛЕТНИЕ ЗЛАКОВЫЕ ТРАВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

З.В. Лозовая

РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь, office@rir.by

Введение. Поведение радионуклидов, их миграция на разных этапах биохимического круговорота элементов в значительной степени зависит от агрохимических свойств и гранулометрического состава почвы. Почва является ведущим звеном миграции радионуклидов, так как особенности их взаимодействия с компонентами почвенного комплекса определяют характер движения изотопов в остальных звеньях биологического цикла.

Планирование сельскохозяйственного производства и защитных мер на загрязненных радионуклидами землях невозможно без прогноза загрязнения урожая. Надежный прогноз радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции может базироваться только на основе экспериментально установленных параметров перехода радионуклидов из почв в сельскохозяйственные культуры.

Материалы и методы. Для изучения влияния агрохимических свойств и гранулометрического состава почв на переход ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в растения в Ветковском, Брагинском и Хойникском районах Гомельской области отбирались сопряженные почвенные и растительные пробы. Отбор производился на дерново-подзолистых автоморфных почвах разного гранулометрического состава, разной степени окультуренности с плотностью загрязнения ^{137}Cs от 313 до 2480 кБк/м² и ^{90}Sr от 2 до 63 кБк/м². На кормовых угодьях агрохимические показатели почв варьировали в пределах: рН_{KCl} – от 4,5 до 6,8, содержание подвижного К₂O – от 102 до 459 мг/кг и Р₂O₅ – от 101 до 568 мг/кг почвы, содержание СаО – от 512 до 1964 мг/кг и MgO – от 95 до 320 мг/кг почвы, гумуса от 1,2 до 3,8%.

Ботанический состав многолетних злаковых трав был представлен различными видами злаков (по характеру кущения): корневищными – пырей ползучий (*Elytrigia répens*), кострец безостый (*Bromus inermis* Leyss), полевица белая (*Agrostis alba* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.); рыхлокустовыми – овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), райграс пастбищный (*Lolium perenne*), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.); плотнокустовыми – луговик дернистый (щучка) (*Deschampsia caespitosa* L.), белоус торчащий (*Nardus stricta* L.) и другие. Определение отдельных видов растений и их принадлежность к ботанической группе проводили по методическим разработкам Л.М. Сапегина «Определение луговых растений Беларуси» [1].

Анализ агрохимических показателей и удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr проведен по стандартным методикам. Разделение почвенных образцов на гранулометрические фракции производили по методу Н.И. Горбунова [2].

Результаты исследований и их обсуждение. Определенное влияние на подвижность радионуклидов оказывают основные почвенные свойства, среди которых наиболее важными являются гранулометрический состав, насыщенность почв калием, кальцием, фосфором, кислотность почвенного раствора и содержание органического вещества.

Принимая во внимание существенные различия между песчаными, супесчаными и суглинистыми почвами как в гранулометрическом и минералогическом составе, так и

по агрохимическим свойствам, корреляционные зависимости были рассчитаны раздельно для всех почвенных разновидностей.

Исследовано влияние насыщенности ППК подвижным калием на процент снижения поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в многолетние злаковые травы на дерново-подзолистых почвах. На почвах со средним содержанием подвижного калия 141-200 мг/кг коэффициент перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в растения на дерново-подзолистых почвах снизился в среднем на 22% по цезию-137 и на 30% по стронцию-90, а на почвах с высоким содержанием калия 301-400 мг/кг на 78% по цезию-137 и на 43% по стронцию-90.

Установлена корреляционная связь между степенью кислотности (pH_{KCl}) исследуемых почв и поступлением ^{137}Cs и ^{90}Sr в злаковые травы. Особенно сильная связь ($r = -0,78$) исследуемых параметров наблюдается на дерново-подзолистых рыхло-песчаных почвах.

Оценена степень влияния содержания обменного кальция в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава на величину КП ^{137}Cs и ^{90}Sr в многолетние злаковые травы. Коэффициент перехода ^{90}Sr в растения определяется содержанием обменного кальция на дерново-подзолистых песчаных почвах ($r = -0,4$), а ^{137}Cs на суглинистых почвах ($r = -0,8$).

Повышение содержания гумуса в дерново-подзолистых песчаных почвах от недостаточного (1,5-2,0%) до среднего (2,0-2,5%) сопровождалось снижением поступления ^{137}Cs в многолетние злаковые травы на 66%, а от среднего (2,0-2,5%) до высокого (более 3%) до 12%. Снижение поступления ^{90}Sr постепенное и на каждой градации гумуса наблюдается уменьшение на 21%. Сильная связь ($r = -0,8$) исследуемых параметров гумуса на поступление ^{90}Sr в многолетние злаковые травы наблюдается на суглинистых почвах.

Поведение радионуклидов в дерново-подзолистых почвах в зависимости от гранулометрического состава. Для установления процентного соотношения фракций был отобран 21 образец дерново-подзолистых почв, наиболее различающихся по гранулометрическому составу. Анализу подлежало распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr по фракциям (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr по гранулометрическим фракциям дерново-подзолистых почв (\pm погрешность измерений)

Фракция почвы		^{137}Cs		^{90}Sr	
мм	%	Бк/г	%	Бк/г	%
Дерново-подзолистые автоморфные связнопесчаные почвы					
0,5 – 0,25	8,51	0,86 ± 0,17	3,75	0,12 ± 0,02	6,42
0,25 – 0,1	9,75	0,40 ± 0,08	2,41	0,07 ± 0,01	5,54
0,1 – 0,05	23,66	1,10 ± 0,22	16,07	0,12 ± 0,02	21,81
0,05 – 0,01	50,54	2,26 ± 0,45	70,51	0,15 ± 0,03	59,13
0,01 – 0,005	3,99	0,75 ± 0,15	5,07	0,03 ± 0,01	0,82
< 0,005	3,55	2,47 ± 0,49	14,85	0,23 ± 0,01	6,37
< 0,01	7,54	3,22 ± 0,64	7,26	0,26 ± 0,06	7,19
Дерново-подзолистые автоморфные связносупесчаные почвы, подстилаемых песками с глубины 0,6-0,8 м					
0,5 - 0,25	21,55	0,80 ± 0,24	14,18	0,44 ± 0,13	19,99
0,25 – 0,1	19,20	0,79 ± 0,24	12,43	0,37 ± 0,11	14,97
0,1 – 0,05	24,24	0,41 ± 0,12	8,16	0,06 ± 0,02	3,07
0,05 – 0,01	16,16	1,61 ± 0,48	21,35	0,76 ± 0,23	25,90
0,01 – 0,005	13,80	2,59 ± 0,78	29,34	0,42 ± 0,13	12,22
< 0,005	5,05	3,51 ± 1,05	14,55	2,24 ± 0,67	23,85

Фракция почвы		¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr	
мм	%	Бк/г	%	Бк/г	%
<0,01	18,85	6,10 ± 1,30	43,89	2,66 ± 0,53	36,07
Дерново-подзолистые автоморфные среднесуглинистые почвы, подстилаемых песками глубже 1 м					
0,5 - 0,25	17,06	0,35±0,11	4,06	0,37±0,11	11,90
0,25 – 0,1	24,04	0,39±0,12	4,59	0,27±0,08	8,68
0,1 – 0,05	23,74	0,13±0,04	1,48	0,08±0,02	2,57
0,05 – 0,01	3,80	1,10±0,33	12,95	0,26±0,08	8,36
0,01 – 0,005	16,43	2,46±0,74	28,97	0,98±0,29	31,51
< 0,005	14,93	4,07±1,22	47,95	1,15±0,35	36,98
<0,01	31,36	6,53 ± 1,30	76,90	2,13 ± 0,43	68,49

Во всех анализируемых почвах содержание самой крупной фракции – песок крупный (1-0,5 мм) не превышают 5%, поэтому к этой фракции мы не применяли спектральный анализ. По результатам исследований, очевидно, что фракции диаметром 0,25-0,05 мм в среднем составляют 33-48%, а более мелкие по размеру фракции делятся на 2 группы: крупно-пылеватые (0,05-0,01 мм) и глинистые (<0,01 мм), их содержание колеблется в пределах 35-58%.

Данные представленной таблицы позволяют установить, что ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr наиболее активно сорбируются самыми тонкодисперсными (<0,01 мм) фракциями почвенного субстрата (фракция физической глины). Но, что особенно важно, фракции, представленные как мелкая пыль + ил (<0,005 мм), при очень небольшой массе несут в себе значительный заряд активности радионуклидов. Очевидно, что эти фракции имеют наибольшую суммарную поверхность по сравнению с более крупными фракциями. Уже только по этой причине эта фракция должна сорбировать наибольшее количество радионуклидов в расчете на единицу массы и, соответственно, отличаться наибольшей удельной активностью (Бк/г) даже при одинаковом минеральном составе всех фракций.

Анализируя распределение радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr по фракциям верхних корнеобитаемых горизонтов, отметим, что в песчаной автоморфной дерново-подзолистой почве содержание частиц во фракциях <0,01 мм (8%) в 2,5 раза ниже, чем в аналогичных фракциях супесчаной почвы (19%) и в 4 раза ниже, чем в суглинистой (31%). Тем не менее, в песчаной почве фракция <0,01 мм является носителем 77% (на 8% массы) от общего количества ¹³⁷Cs, сорбированного минеральным веществом, тогда как в почве супесчаной на их долю приходится 44% (на 19% массы) этого количества, в суглинистой почве 77% (на 31% массы), что обусловлено очевидными различиями в содержании ¹³⁷Cs в частицах <0,01 мм. Аналогично распределяется ⁹⁰Sr. Но для крупных фракций 0,5-0,25 мм характерна обратная картина – в песчаной почве удельная активность частиц этой фракции составляет 4% от суммарной активности всех фракций, при массе фракции 8%, в супесчаной 14% на 8% массы, а в почве суглинистой удельная активность составила 4%, но масса фракции 17%, что и свойственно суглинистым почвам.

Супесчаные и суглинистые почвы обладают большим количеством мелкодисперсных фракций, нежели песчаные, поэтому и величины накопления радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr растениями напрямую зависят от гранулометрического состава почв (таблица 2).

Таблица 2 – Значения коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в многолетние злаковые травы на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава

Тип почвы	Гранулометрический состав	Коэффициенты перехода Бк/кг : кБк/м ² (± стандартное отклонение)	
		^{137}Cs	^{90}Sr
Дерново-подзолистая автоморфная	песчаная почва	0,39 ± 0,02	4,02 ± 0,20
	супесчаная почва	0,23 ± 0,12	2,37 ± 0,70
	суглинистая почва	0,14 ± 0,02	1,84 ± 0,56

Из приведенного материала видно, что коэффициенты перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в многолетние злаковые травы, произрастающие на дерново-подзолистых суглинистых автоморфных почвах, на 64% по ^{137}Cs и на 54% по ^{90}Sr ниже по сравнению с дерново-подзолистыми песчаными автоморфными почвами.

Результаты наших исследований показали также, что мелкодисперсные почвенные фракции принимают активное участие в формировании урожая многолетних злаковых трав. Об этом свидетельствует наличие прямой линейной корреляционной зависимости между урожаем многолетних злаковых трав, с одной стороны, и содержанием физической глины в почве, с другой стороны.

Заключение. В результате исследований выявлено распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr по гранулометрическим фракциям дерново-подзолистых почв. С уменьшением размера почвенных частиц удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr возрастает. Максимальное количество радионуклидов сорбировано фракцией <0,01 мм (от 7% в песчаных до 78% в суглинистых почвах по ^{137}Cs и от 7% в песчаных до 68% в суглинистых почвах по ^{90}Sr) [3, 4].

Установлено, что коэффициенты перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из дерново-подзолистых суглинистых автоморфных почв в растения многолетних злаковых трав на 64% по ^{137}Cs и на 54% по ^{90}Sr ниже по сравнению с дерново-подзолистыми песчаными почвами.

Литература

1. Сапегин, Л.М. Определитель луговых растений Белоруссии / Л.М. Сапегин. // Минск: Высш. шк. – 1987. – 871 с.
2. Методы минералогического и микроморфологического изучения почв: [сб. ст. / Почв. ин-т им. В.В. Докучаева; под общ. ред. Н.И. Горбунова]. – М., 1971. – С. 5–14.
3. Автушко, М.И. Распределение ^{137}Cs по гранулометрическим фракциям дерново-подзолистых почв / М.И. Автушко, З.В. Лозовая, Л.М. Пчелякова // «Гомельщина: экологические проблемы региона и пути их решения»: материалы Гомельской обл. науч.-практ. конф., Гомель, 14 апреля 2004 г. / Гомельский обл. комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды; редкол.: В.Н. Бортневского [и др.]. – Гомель, 2004. – С. 26–31.
4. Лозовая, З.В. Влияние гранулометрического и минералогического состава дерново-подзолистых почв на поступление техногенных радионуклидов в растения / З.В. Лозовая, В.Ю. Агеец // Навукова-практичны часопіс «Земляробства і ахова раслін». – 2008. – № 4 (59). – С. 46–49.

ОПТИМИЗАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ^{137}Cs АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВАХ

Л.Н. Лученок

РУП «Институт мелиорации», Минск, Беларусь, l_luchенок@mail.ru

Введение. Значительная часть сельскохозяйственных угодий, расположенных на мелиорированных землях, после аварии на ЧАЭС подверглась загрязнению радионуклидами. По данным ПИРУП «Белгипроводхоз» на 01.01.2001 г., в Гомельской области загрязнены ^{137}Cs более 1 Ки/км² около 223,54 тыс. га мелиорированных земель, в Могилевской области – 70,71 тыс. га. По результатам радиологического и агрохимического обследования (на 01.01.2006 г.) около 100 тыс. га из них располагаются на торфяных, из которых 43 тыс. га одновременно загрязнены ^{90}Sr более 0,15 Ки/км².

Торфяные и формирующиеся на месте торфяно-, торфянистоглеевых и мелкозалежных торфяных почв антропогенно-преобразованные торфяные почвы, загрязненные радионуклидами, являются наиболее критичными для получения сельскохозяйственной продукции с допустимыми уровнями загрязнения радионуклидами. Это связано с особенностями морфологического и генетического строения этих почв, воднофизическими и агрохимическими свойствами. К настоящему моменту мелиоративный объект – это сложная почвенная система, на которой сельскохозяйственные земли различаются между собой водным режимом (от подтапливаемых участков в низовьях системы до пересушенных в верховьях), агрохимическими свойствами и содержанием органического вещества (от менее 10% в верховьях до 70-80% в низовьях). На возвышенных участках мезо- и микрорельефа могут преобладать песчаные, а в понижениях – торфяные почвы. То есть даже в пределах поля загрязнение растений радионуклидами может сильно варьировать, что скажется на качестве кормов.

В настоящее время для антропогенно-преобразованных торфяных почв, в т.ч. и загрязненных радионуклидами, применяется система удобрений, как для автоморфных минеральных. В силу необходимости применения повышенных доз минеральных удобрений получаемая продукция характеризуется повышенным содержанием радионуклидов, а экономические параметры занижаются.

Кроме того, существующие Кп, которые могут быть использованы при прогнозировании загрязнения урожая сельскохозяйственных культур, актуальны только для торфяных почв [1, 2]. Для антропогенно-преобразованных торфяных почв такие Кп для большинства культур отсутствуют. В то же время эти почвы могут по-разному сорбировать радионуклиды и, следовательно, Кп в системе почва-растение могут существенно различаться и варьировать в зависимости от водного режима и содержания органического вещества [3]. Не установлено и влияние УГВ на этих почвах на коэффициенты перехода для кормовых культур.

Вышеперечисленные причины обуславливают необходимость разработки агротехнологических приемов возделывания яровой пшеницы на антропогенно-преобразованных торфяных почвах, загрязненных радионуклидами, и предложений по учету почвенно-гидрологических условий антропогенно-преобразованных торфяных почв при прогнозировании загрязнения радионуклидами товарной продукции зерновых культур.

Материалы и методы. Для решения поставленных целей были заложены полевые опыты на торфяных почвах различных стадий трансформации с зерновыми культурами. Агрохимическая характеристика почвы (A_n) опытного поля: содержание органи-

ческого вещества (ОВ) – 55-60%; рН_{KCl} – 5,3-5,5; подвижные формы (в 0,2 М HCl): P₂O₅ – 582 и K₂O – 794 мг/кг почвы. Уровни грунтовых вод (УГВ) варьировали в пределах 0,85-1,05 см. Сорт яровой пшеницы Росстань, суперэлита. Схема опыта: N₀P₀K₀; P₆₀K₈₀; P₆₀K₁₂₀; P₆₀K₁₆₀; P₆₀K₁₂₀ + N₆₀; P₆₀K₁₂₀ + N₉₀; P₆₀K₁₂₀ + N₁₂₀; P₆₀K₁₂₀ + N₆₀ (начало трубоквания) + (N₃₀ + PP+ элегум-Cu + Экосил) начало колошения. Плотность загрязнения почвы ¹³⁷Cs на опытном участке в пределах 121,0-197,0 кБк/м². При возделывании яровой пшеницы применены технологические приемы, разработанные для антропогенно-преобразованных торфяных почв [4].

Результаты исследований и их обсуждение. Урожайность яровой пшеницы варьировала в пределах 32,2-50,1 ц/га в зависимости от применяемых доз удобрений. За счет почвенного плодородия формируется до 32,2 ц/га. При совместном внесении фосфорных и калийных удобрений, не смотря на высокую обеспеченность почвы, урожайность повышается на 2,9-12,5 ц/га (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние удобрений и биологически активных веществ на урожайность и содержание ¹³⁷Cs в зерне яровой пшеницы

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка от NPK, ц/га	Удельная активность ¹³⁷ Cs, Бк/кг
N ₀ P ₀ K ₀	32,2	-	2,7±0,5
P ₆₀ K ₈₀	35,1	2,9	3,4±0,6
P ₆₀ K ₁₂₀	40,8	8,6	3,4±0,8
P ₆₀ K ₁₆₀	44,7	12,5	2,1±0,6
P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₆₀	45,6	13,4	3,0±0,7
P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₉₀	50,1	17,9	3,7±0,5
P ₆₀ K ₁₂₀ + N ₁₂₀	46,7	14,5	3,7±0,7
P ₆₀ K ₁₂₀ N ₆₀ + N ₃₀ + PP + элегум-Cu + Экосил	45,4	13,2	3,4±0,6
НСР ₀₅	2,8		

Высокая обеспеченность этих почв минеральным азотом [5] при внесении P₆₀K₁₆₀ позволяет получать 44,7 ц/га. Наиболее высокая урожайность в опыте 50,1 ц/га получена при внесении дозы азота N₉₀ в один прием на фоне P₆₀K₁₂₀. Из-за полегания посевов при более высокой дозе N₁₂₀, так же как и при внесении меди, ретарданта и Экосила урожайность яровой пшеницы не повысилась.

Однако следует отметить, что увеличение дозы азота привело и к повышению удельной активности зерна. Таким образом, для загрязненных ¹³⁷Cs антропогенно-преобразованных торфяных почв необходимо оптимизировать дозы минеральных удобрений таким образом, чтобы при увеличении урожайности зерна минимизировать поступление радионуклида в зерно.

Поступление ¹³⁷Cs в товарную продукцию может зависеть от многих факторов, в т.ч. содержание азота (что особенно актуально для торфяных почв различных стадий трансформации, в значительной степени обеспеченных минеральным азотом) и калия в почве, а также их соотношение. В связи с тем, что плотность загрязнения почвы опытного участка варьировала в пределах 120,0-197,0 кБк/м², то удельная активность зерна была ниже РДУ (таблица). Однако в результате проведенных исследований получены данные по зависимостям содержания в почве азота, калия и их соотношения на поступление ¹³⁷Cs в зерно яровой пшеницы.

Установлена слабая связь между содержанием цезия в зерне пшеницы и минеральным азотом почвы (Σ запасов почвенного минерального азота + азот удобрений) в силу разброса данных. Однако прослеживается четкая визуальная зависимость поступления цезия-137 в зерно. Оптимальным уровнем содержания азота в почве, при котором отмечено минимальное поступление ^{137}Cs , является 125-200 кг/га (рисунок 1-1). В этом диапазоне содержания N удельная активность в 2,5-4,4 раза ниже, чем при <125 и >200 мг N/кг почвы.

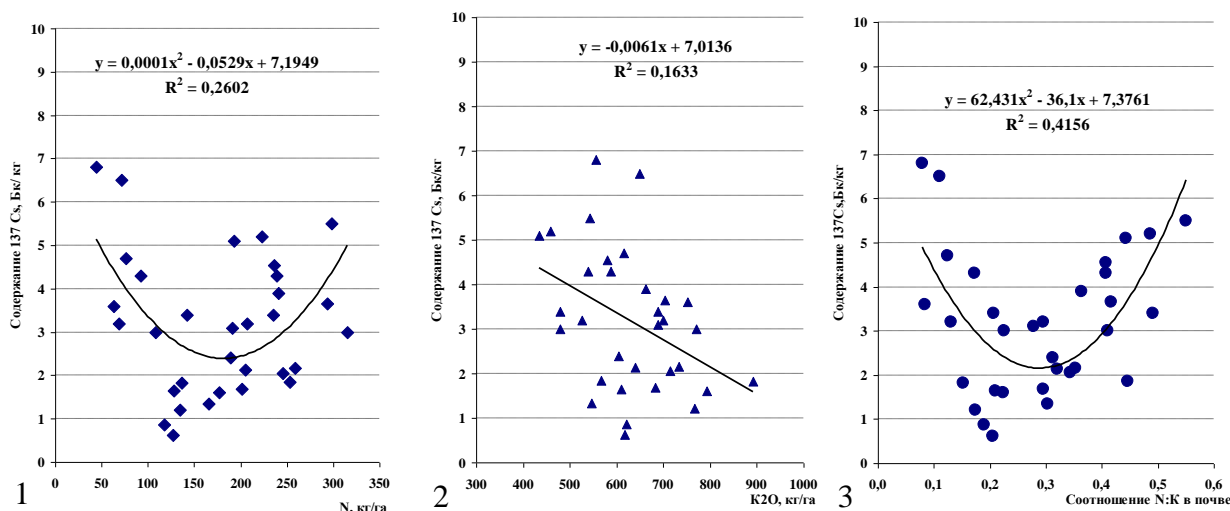


Рисунок 1. Зависимость удельной активности ^{137}Cs в зерне от содержания азота (сумма минерального азота почвы и удобрений (1), калия (2) и от соотношения N:K (3) в почве)

Четко выраженной связи между уровнем калия в почве (доступный растениям калий в почве + калий удобрений) и содержанием ^{137}Cs в зерне также не выявлено (рисунок 1-2). Однако можно отметить, что при увеличении содержания калия в почве накопление цезия снижается в 2,6-4,1 раз. Установлена умеренная зависимость поступления ^{137}Cs в зерно от соотношения азота к калию, которую можно использовать как модель прогноза загрязнения зерна цезием-137 на основе результатов почвенной диагностики. Минимальный уровень удельной активности зерна отмечен при отношении N:K 0,25-0,35 (рисунок 1-3). При полученных значениях коэффициентов детерминации можно говорить о том, что на перемещение ^{137}Cs в системе почва-растение оказывают влияние ряд других факторов, например влагообеспеченность вегетационного периода, содержание ОВ и др.

Заключение. Результаты исследований показали, что на торфяных почвах различных стадий трансформации, загрязненных радионуклидами, в связи с особенностями их морфологического и генетического строения, водно-физическими и агрохимическими свойствами, для получения нормативно чистой продукции необходимо рассчитывать дозы вносимых азотных и калийных удобрений на основании результатов почвенной диагностики.

Для прогноза удельной активности ^{137}Cs в зерне можно использовать уравнение:

$$a_{137\text{Cs}} = 62,431 \cdot c_{N:K}^2 - 36,1 \cdot c_{N:K} + 7,3761, \quad (1)$$

где $a_{137\text{Cs}}$ – удельная активность ^{137}Cs в зерне, Бк/кг;

$c_{N:K}$ – соотношение содержания азота к калию (сумма подвижных форм и вносимых с удобрениями, мг/кг почвы).

На антропогенно-преобразованных торфяных почвах при суммарном содержании азота в пределах 125-200 кг/га, калия – 550-700 кг/га и соотношении N:K – 0,25-0,35 отмечается снижение поступления ^{137}Cs в зерно при урожайности 44-45 ц/га.

Литература

1. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь / И.М. Богдевич, В.В. Лапа, Н.И. Смян и [др.]. – 2003. – 72 с.
2. Подоляк, А.Г. Прогноз величины накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr в травостоях основных типов лугов Белорусского Полесья по агрохимическим свойствам почв / А.Г. Подоляк, И.М. Богдевич, И.И. Ивашкова // Вес. Нац. акад. наук Беларуси: Сер. аграр. наук. – 2007. – № 3. – С. 54–62.
3. Афанасик, Г.И. Приемы снижения радионуклидной загрязненности растениеводческой продукции на осушаемых землях Белоруссии / Г.И. Афанасик, Д.С. Пятница, Э.Н. Шкутов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2001. – № 5. – С. 40–44.
4. Семененко, Н.Н. Адаптивная система комплексного применения удобрений и других средств интенсификации возделывания зерновых культур на антропогенно-преобразованных торфяных почвах: методические рекомендации / Н.Н. Семененко // Минск. – 2010. – 62 с.
5. Лученок, Л.Н. Зональные особенности азотного режима торфяных почв Беларуси / Л.Н. Лученок, С.Г. Баран // Материалы междунаучно-практич. конф. ГНУ ВНИИМЗ Россельхозакадемии «Современные проблемы использования мелиорированных земель и повышения их плодородия», Тверь (Россия) 27-28 июня 2013 г. – С. 164–167.

ОЦЕНКА РИСКОВ НЕСООТВЕТСТВИЯ НОРМАТИВУ ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА МЯСА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ПО СОДЕРЖАНИЮ ^{137}Cs В МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

О.А. Мерзлова¹, Е.В. Копыльцова², Т.Н. Агеева¹

¹Могилевский филиал РНИУП «Институт радиологии», Могилев, Беларусь,
o-merzlova@yandex.ru

²РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь

Введение. Одним из наиболее тяжелых последствий Чернобыльской катастрофы является крупномасштабное загрязнение сельскохозяйственных земель долгоживущими радионуклидами, на которых в течение длительного периода времени ведется агропромышленное производство. В настоящее время в Могилевской области радионуклидами загрязнено 258854 га или 34% площади сельскохозяйственных земель, из них 164343 га пахотных земель, 94511 га кормовых угодий.

В Быховском, Краснопольском, Славгородском, Чериковском районах области площадь земель с плотностью загрязнения ^{137}Cs более 1,0 Ки/км² составляет 99-100%. В Костюковичском районе на их долю приходится 39% площади. Корма, получаемые с данных земель, являются источником поступления радионуклидов в продукцию животноводства. В связи с вступлением в силу Технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 021/2011) на загрязненных радионуклидами землях могут возникать проблемы при производстве продукции, экспортируемой в страны ЕАЭС. Наиболее существенным отличием ТР ТС 021/2011 от Республиканских допустимых уровней (РДУ-99)

является требование к содержанию ^{137}Cs в мясе 200 Бк/кг. Этот допустимый уровень в 2,5 раза жестче внутриреспубликанских требований [1].

Задачей этой работы было оценить риски производства мяса с превышением нормативов ТР ТС 021/2011 для сельскохозяйственных предприятий Могилевской области.

Материалы и методы. Источниками информации для оценки рисков несоответствия мяса крупного рогатого скота нормативам технического регламента Таможенного союза по содержанию радионуклидов послужили уровни загрязнения ^{137}Cs и годовые объемы поставок крупного рогатого скота (в живом весе) на мясокомбинаты Могилевской области, рационы кормления крупного рогатого скота на откорме, используемые в сельскохозяйственных предприятиях с развитым мясным направлением производства, расположенных в наиболее загрязненных районах Могилевской области, данные агрохимического и радиологического обследований сельскохозяйственных земель и радиационного контроля кормов.

Результаты исследований и их обсуждение. Оценка рисков превышения установленных нормативов по содержанию радионуклидов в говядине и кормах осуществлялась как по фактическим данным, так и методами математического моделирования.

Анализ данных радиационного контроля кормов свидетельствует, что их использование на заключительной стадии в зимне-стойловый период позволяет получать говядину, соответствующую требованиям не только действующего норматива Республики Беларусь (500 Бк/кг), но и Технического регламента Таможенного союза (200 Бк/кг).

В 2014 году объем поставок мяса на мясокомбинаты Могилевской области составил 27650,6 тонн, в том числе: на Могилевский мясокомбинат – 22361,6 тонн, на Бобруйский мясокомбинат – 5289,0 тонн. Поставки осуществлялись из 38 сельскохозяйственных предприятий, расположенных в наиболее загрязненных районах области.

Анализ показал, что содержание ^{137}Cs в мясе из большинства сельскохозяйственных предприятий Могилевской области, не превышает как внутриреспубликанский норматив, так и требования технического регламента Таможенного союза. Удельная активность ^{137}Cs в данной продукции в 99,7% от поступившего объема не превышает 100 Бк/кг.

Случаи производства мяса крупного рогатого скота в 2014–2015 гг., содержание ^{137}Cs в котором превышало допустимый уровень ТР ТС 021/2011 (200 Бк/кг), отмечались в трех сельскохозяйственных предприятиях (УКСП «Совхоз «Воронино» Быховского района и ОАО «Экспериментальная база Дашковка» Могилевского района, СПК «40 лет Октября» Славгородского района).

К группе риска можно отнести сельскохозяйственные предприятия, где удельная активность ^{137}Cs в говядине находится в интервале 101–200 Бк/кг. За период 2014–2015 гг., помимо предприятий указанных выше, к этой группе относятся: СПК «Обидовичи» и СПК «Лудчицы» Быховского района, СПК «Дуброва» Костюковичского района, ОАО «Краснопольский» Краснопольского района и СПК «Зарянский» Славгородского района и СПК «Дужевка» Чаусского района.

Выполнены прогноз содержания ^{137}Cs в кормах и оценка рисков превышения норматива Таможенного союза 200 Бк/кг в мясе крупного рогатого скота для наиболее часто используемых рационов кормления в сельскохозяйственных организациях Могилевской области. Оценка рисков производства сельскохозяйственной продукции с превышением санитарно-гигиенических нормативов проводилась по всей технологической цепи, не только на этапе производства мяса крупного рогатого скота, но и на этапах получения кормов [2].

По результатам расчетов, в целом можно сказать, что максимальные значения содержания ^{137}Cs в кормовых культурах при выращивании их на пашне прогнозируются в Костюковичском районе. Далее по убывающей: Славгородский, Чериковский, Краснопольский и Быховский районы. При производстве зеленой массы, сена и сенажа из многолетних злаковых трав с содержанием ^{137}Cs выше республиканских нормативов риск незначителен и составляет в диапазоне 10-90% на 5% площади пашни и улучшенных луговых земель сельскохозяйственных предприятий анализируемых районов.

Среди всех анализируемых видов кормов наиболее проблемной является заготовка зеленой массы и сена на естественных сенокосах. Значительный риск их производства прогнозируется на 2,5-15,4% площадей, высокая степень риска существует на 0,2-0,3% площади естественных сенокосов.

Производство мяса крупного рогатого скота в соответствии с требованиями технического регламента Таможенного союза предполагает более жесткий подход к содержанию радионуклидов в кормах.

При построении прогноз содержания ^{137}Cs в мясе использовано 7 вариантов различных рационов кормления животных на заключительной стадии откорма (таблица 1) [3]. Они предусматривают 2 варианта кормления в летне-пастбищный период и 5 вариантов зимне-стойлового рациона. Зимне-стойловые рационы представлены двумя типами: сенажный и силосный. Варианты зимне-стойлового рациона между собой различаются типом угодий, на которых выращивались кормовые культуры (пашня, улучшенные луговые земли, естественные луговые земли), составом концентратов (зерновые либо с добавлением бобового компонента).

Таблица 1 – Разновидности рационов, использованных для построения прогноза

Состав рациона	Источник (тип) кормов	Рационы для заключительного откорма крупного рогатого скота, кг						
		зимний 1	летний 1	зимний 2	летний 2	зимний 3	зимний 4	зимний 5
Зеленая масса	многолетние злаковые травы на пашне, улучшенные луга	-	50	-	-	-	-	-
	естественные луга	-	-	-	50	-	-	-
Сено	многолетние злаковые травы на пашне, улучшенные луга	-	-	-	-	-	2	-
	естественные луга	-	-	-	-	-	-	2
Сенаж	многолетние злаковые травы на пашне, улучшенные луга	5	-	-	-	5	25	25
	естественные луга	-	-	5	-	-	-	-
Силос	кукурузный	25	-	25	-	25	-	-
Концентраты	зерно овса	3	2	3	2	-	2	-
	зерно гороха	-	-	-	-	2	-	2
Солома	ржаная	-	-	-	-	-	5	5

Минимальное содержание ^{137}Cs в мясе прогнозируется при кормлении крупного рогатого скота рационами силосного типа, при этом риски превышения нормативного требования Таможенного союза отсутствуют. В 8 и 15 сельскохозяйственных организациях исследуемых районов вероятность превышения нормативов по содержанию ^{137}Cs в говядине составляет более 25% при использовании сенажного рациона в зимне-стойловый период и зеленой массы, выращенной на естественных луговых землях в летне-пастбищный, соответственно.

Заключение. В целом можно сказать, что наибольшие риски с получением продукции, несоответствующей требованиям Технического регламента Таможенного сою-

за «О безопасности пищевой продукции» ТР ТС 021/2011 по содержанию ^{137}Cs , возникают при использовании в летних рационах зеленой массы с естественных луговых земель и зимне-стойловых рационов сенажного типа. Риск производства продукции с превышением норматива в 200 Бк/кг присутствует в 15 сельскохозяйственных предприятиях представленных районов, составляет от 55% до 99% и оценивается как высокий.

К группе риска относятся сельскохозяйственные предприятия, в которых фактически содержание ^{137}Cs в мясе крупного рогатого скота по данным мясокомбинатов превышает 200 Бк/кг, так и предприятия, в которых фактически не отмечены случаи превышения нормативов содержания ^{137}Cs , однако риски превышения высоки и могут быть реализованы при изменении структуры рационов кормления либо при использовании других видов кормов.

Для этих сельскохозяйственных предприятий начата разработка адресных предложений, направленных на предотвращение производства мяса крупного рогатого скота, несоответствующего нормативу Таможенного союза.

Литература

1. Технический регламент Таможенного союза. ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880 / Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://gosstandart.gov.by/ru-RU/ts-pr-reg.php> – Дата доступа: 10.06.2015.

2. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012-2016 годы / Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, РНИУП «Институт радиологии»; В.С. Аверин [и др.] // Минск. – 2012. – 124 с.

3. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: изд. 5-е, перераб. и допол. / М.Ф. Томмэ [и др.]; под ред. М.Ф. Томмэ // Москва: «Колос». – 1969. – 360 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ В МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

О.А. Мерзлова, Т.В. Малиновская

*Могилевский филиал РНИУП «Институт радиологии», Могилев, Беларусь,
o-merzlova@yandex.ru*

Введение. За 30-летний период после аварии на Чернобыльской АЭС в Республике Беларусь было реализовано пять Государственных программ, в разные пятилетки поэтапно направленных на ликвидацию, минимизацию и преодоление ее последствий.

Все мероприятия, осуществляемые в рамках упомянутых программ, направлены на радиационную и социальную защиту населения, создание среды жизнедеятельности с минимальными рисками для здоровья человека. Условно они делятся на 4 направления. Однако именно направление «радиационная защита и адресное применение защитных мер» отличает ее от других социальных программ и является основополагающим.

Важность этого направления отражена в задачах программы:

- реализация комплекса защитных мер в сельском хозяйстве, обеспечивающих производство продукции, соответствующей республиканским и международным нормативам по содержанию радионуклидов;
- проведение мероприятий в лесном хозяйстве по рациональному использованию лесных ресурсов на загрязненных территориях, охране лесов от пожаров, минимизации доз облучения работников леса;
- обеспечение надежного функционирования республиканской системы радиационного контроля;
- выполнение работ по содержанию и функционированию территорий зон отчуждения и отселения, включая ликвидацию непригодных объектов, дезактивацию, захоронение радиоактивных отходов, требующих специального обращения [1].

Она прослеживается и при анализе структуры финансирования мероприятий по основным направлениям. На долю перечисленных мероприятий в период 2011–2015 годы в Могилевской области приходилось около 40%, а в отдельных районах до 90%.

Материалы и методы. Оценка эффективности данных мероприятий проведена по методике, разработанной специально для этой цели в РНИУП «Институт радиологии» при непосредственном участии авторов статьи. Она производится путем определения интегрального коэффициента эффективности на основе балльной оценки отклонений показателей результативности каждого направления от выработанных нормативов.

Результаты исследований и их обсуждение. Средства, выделенные из государственного бюджета в 2011–2015 гг. на направление «радиационная защита населения и адресное применение защитных мер», в Могилевской области составили 617,0 млрд. руб. (таблица 1). Из них 616,5 млрд. руб. поступили в виде субвенций в Могилевский областной исполнительный комитет.

Таблица 1 – Расходы на «радиационную защиту и адресное применение защитных мер» в 2011–2015 гг. в Могилевской области

Наименование показателя	Сумма, млн. руб.	Структура, %
Всего	616977	100
Мероприятия в сельском хозяйстве	527415	85,5
из них поставка минеральных удобрений и известкование	514339	83,4
Мероприятия в лесном хозяйстве	514,2	0,1
Ликвидация объектов, дезактивация и захоронение отходов	86315,2	14,0
Обеспечение правового режима территорий зон отчуждения и отселения	2732,5	0,4

Основная часть средств 85,5% приходится на мероприятия в агропромышленном производстве. Это обеспечение функционирования системы радиационного контроля, создание и уход за кормовыми угодьями, обеспечение спецодеждой и средствами индивидуальной защиты сельскохозяйственных работников, ремонтно-эксплуатационные работы на мелиоративных сетях, известкование кислых почв и поставка минеральных удобрений.

За пятилетний период создано 154,6 га кормовых угодий, на площади 710,9 га для частного сектора проведены уходные работы; в частный сектор поставлено 19,4 тонны комбикорма с цезийсвязывающими добавками; проведены ремонтно-эксплуатационные работы на 369,4 км мелиоративных сетей; средствами химической защиты растений обработано 2146,3 га посевов овощей на территориях, загрязненных ^{137}Cs выше 5 Ки/км²; проведено известкование 46345 га кислых почв; приобретено

21479,8 тонны д.в. фосфорных и 78301,5 тонны д.в. калийных удобрений (таблица 2). Однако не все мероприятия удалось осуществить в соответствии с их потребностью.

Результатом проведения данных мероприятий стало стабильное производство сельскохозяйственной продукции в пределах требований Республиканских допустимых уровней (РДУ-99). Более 10 лет в Могилевской области не регистрировался возврат скота с мясокомбинатов, не фиксировалось случаев превышения норматива по содержанию ^{137}Cs в молоке и мясе крупного рогатого скота, отмечаются лишь единичные пробы зерна с превышением норматива по содержанию ^{90}Sr .

Мероприятия в лесном хозяйстве финансируются путем перераспределения средств в Министерство лесного хозяйства. Их удельный вес в расходах на анализируемое направление составил 0,1% или в денежном выражении 0,514 млрд. руб. За 2011–2015 годы в Могилевской области проведена посадка 22 га леса, уход за лесными культурами на площади 214 га, установлено 306 шлагбаумов, создано 2606 км и проведен уход за 5184 км минерализованных полос, приобретена спецодежда в количестве 433 шт., в соответствии с графиком осуществлялась аккредитация постов радиационного контроля. В части информационной работы установлены 406 предупреждающих знака и оборудовано 26 стендов. Работы проведены в запланированном объеме.

На мероприятия по ликвидации объектов, дезактивации, захоронению отходов, требующих специального обращения, и мероприятия по обеспечению правового режима территорий зон отчуждения и отселения приходится 14,0% (86,3 млрд. руб.) и 0,4% (2,7 млрд. руб.) соответственно. Данные мероприятия осуществлены в запланированном объеме.

При этом проведено захоронение 459 подворий и 188 строений, осуществлено устройство 370 км минерализованных полос, благоустройство 104 кладбищ, ремонт 38 памятников, изготовление и установка 735 предупредительных знаков.

Таблица 2 – Выполнение плана мероприятий по «радиационной защите и адресному применению защитных мер» в 2011–2015 гг. в Могилевской области

Наименование мероприятия	План	Факт	Выполнено, %
<i>Защитные мероприятия в сельскохозяйственном производстве</i>			
Создание культурных кормовых угодий, га	232,0	154,6	67
Уходные работы на ранее созданных кормовых угодьях частного сектора, га	819,5	710,9	87
Применение комбикорма с цезийсвязывающей добавкой (частный сектор), тонн	23,6	19,4	82
Ремонтно-эксплуатационные работы на внутрихозяйственных мелиоративных сетях, км	400,0	369,4	92
Средства химической защиты растений, гектаров	2262,5	2146,3	96
Известкование кислых почв, га	54992,2	46345,0	84
Поставка минеральных удобрений, тонн д. в.			
фосфорных	26401,7	21479,8	81
калийных	90277,7	78301,5	87
<i>Мероприятия по ликвидации объектов, дезактивации, захоронению отходов, требующих специального обращения</i>			
Захоронение объектов, расположенных на отселенных территориях (подворий/строений)	461/186	459/188	100
<i>Мероприятия по обеспечению правового режима территорий зон отчуждения и отселения</i>			
Устройство минерализованных полос, км	370	370	100
Благоустройство кладбищ	104	104	100
Ремонт памятников	38	38	100
Изготовление предупредительных знаков	735	735	100

Оценка направления «радиационная защита и адресное применение защитных мер» в разработанной нами методике является наиболее объективной, поскольку результаты данного направления обусловлены мероприятиями, проводимыми в рамках только анализируемой программы. Тогда как на социальную и экономическую эффективность значительное влияние оказывают другие факторы.

Поскольку на защитные мероприятия в агропромышленном производстве приходится основная часть финансовых ресурсов, направленных на радиационную защиту, в расчете эффективности мероприятий по радиационной защите основными критериями эффективности служат показатели, оценивающие результативность мер, направленных на снижение содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции. В качестве косвенных выступают отдельные показатели сельскохозяйственного производства [2].

Оценка эффективности мероприятий по «радиационной защите и адресному применению защитных мер» в Могилевской области выявила, что на протяжении 2011–2015 гг. она имеет высокий уровень и при этом близка к своему максимуму (рисунок 1).

Следует отметить, что получение 91%-й эффективности при достижении максимального уровня показателями, характеризующими радиационную безопасность сельскохозяйственной продукции, можно считать предельно возможной величиной. Эта величина была достигнута во всех районах в каждом из годов анализируемого периода.

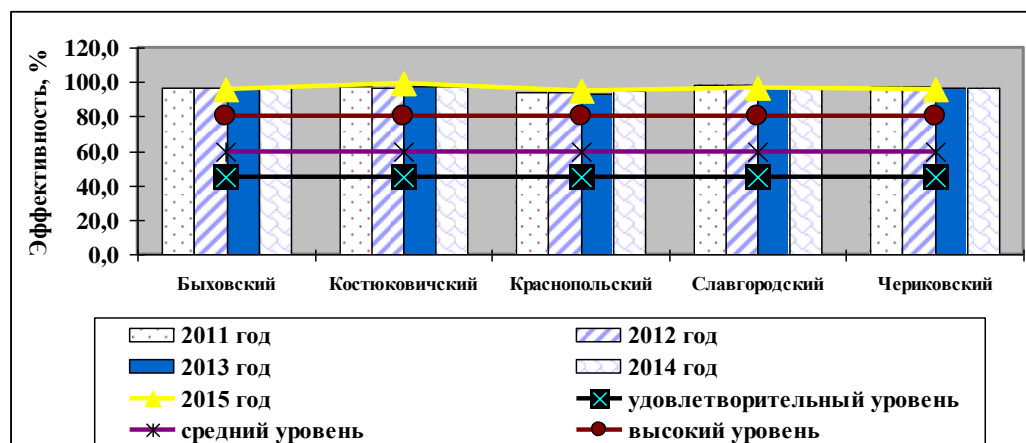


Рисунок 1. Эффективность мероприятий по «радиационной защите и адресному применению защитных мер»

В течение 5 лет показатель колебался в пределах от 93,8% (минимальное значение 2011 года, Краснопольский район) до 99,0% (максимальное значение 2015 года, Костюковичский район). Это свидетельствует о высокой эффективности мероприятий в сельскохозяйственном производстве и сведении проблемы получения загрязненной продукции до минимума.

Заключение. Результативность мероприятий Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС за 2011–2015 годы по направлению «радиационная защита и адресное применение защитных мер» в первую очередь характеризуется выполнением объема запланированных мероприятий в физическом выражении.

Весомые по бюджету мероприятия в сельскохозяйственном производстве выполнены на 67-96%. Наиболее других невыполнен план создания кормовых угодий, наименее – план по проведению химической защиты посевов. При этом более 99% сельскохозяйственной продукции имеет минимально детектируемое приборами содержание радионуклидов. Достигнутый уровень в производстве нормативно чистой сельскохозяйственной продукции на протяжении 5-летнего периода неизменен.

Оценка мероприятий по радиационной защите и адресному применению защитных мер на основе балльной оценки отклонений показателей результативности от выработанных нормативов, очередной раз подтвердила, что на протяжении 2010–2015 гг. данное направление в Могилевской области имеет высокий уровень эффективности (93,8-99,0%) и близка к своему максимуму.

Мероприятия по радиационной защите в лесном хозяйстве, в зонах отселения и отчуждения, мероприятия по сносу и захоронению подворий, строений, хранению радиоактивных отходов выполнены в полном объеме.

Литература

1. Государственная программа по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011–2015 годы и на период до 2020 года: утв. Пост. Сов. Мин. Респ. Беларусь 31 дек. 2010 г. № 1922. – Минск. – 2010. – 132 с.

2. Статистический ежегодник Могилевской области 2014: статистический сборник / Нац. статистический комитет Респ. Беларусь, Главное статистическое упр-е Могилевской области; ред. кол. В.В. Берестов и [др.] // Могилев: Главное статистическое упр-е Могилевской области. – 2014. – 464 с.

СОДЕРЖАНИЕ В ПОЧВЕ И НАКОПЛЕНИЕ В ПРОДУКЦИИ ^{90}Sr И ^{137}Cs ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

А.Ф. Мирончик

*УО «Могилевский государственный университет продовольствия», Могилев,
Беларусь, plissa-maf@rambler.ru*

Введение. Наблюдения за выпадениями РН глобального происхождения в Белоруссии начаты в 1964 г. Накопленные сведения о выпадениях ^{90}Sr и ^{137}Cs однозначно указывают на их постоянное наличие в основных видах пищевых продуктов (хлеб, мясо, молоко, картофель), отобранных в 18 контрольных точках, равномерно расположенных по территории республики. При этом наибольшие количества ^{137}Cs определялись в хлебе ржаном и мясе говяжьим [1]. В динамике наблюдений отмечено снижение удельной активности ^{137}Cs во всех исследованных продуктах. Так, активность хлеба ржаного за 1964–1980 гг. снизилась в 8,3 раза (с $8,2 \pm 2,6$ до $1 \pm 0,8$ Бк/кг), а хлеба пшеничного, молока, говядины и картофеля в 4,6; 3,7; 6,7; 1,3 раза, соответственно. Максимальные уровни поступления ^{137}Cs в организм жителей БССР с основными компонентами рациона отмечены в 1964 г. (9,4 Бк/сут.), а минимальные – в 1980 г. (2,3 Бк/сут.). В соответствии с данной динамикой поступления нуклида находились и уровни содержания ^{137}Cs в организме у населения – 1328,3 Бк в 1964 г. и 333 Бк в 1980 г.

Материалы и методы. Радиационная обстановка на территории Беларуси, обусловленная глобальными выпадениями, свидетельствует о выраженной неравномерности выпадений ^{137}Cs и ^{90}Sr на почву, загрязнения растительности, распределения РН в организмах животных и людей. Одной из таких зон является район Полесья [2, 3]. Около 30% площади его покрыто лесами, главным образом сосновыми. Большая часть земель, куда относятся и обширные территории осушенных болот, занята сельскохозяйственными посевами. Сельское хозяйство на территории Полесья имеет молочно-овощеводческое направление, а население питается в основном продуктами местного производства.

Результаты исследований и их обсуждение. Согласно результатам анализов содержание ^{137}Cs в почвах Полесья (0-10 см) не превышало средних величин (0,30-4,07 кБк/м²), типичных для умеренных широт европейской территории СССР. Соотношение удельных активностей $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ в песчаных почвах $2,5\pm 1,4$, на супесчаных и суглинистых – $4,4\pm 2,6$, что свидетельствует о преимущественном накоплении ^{137}Cs в поверхностном слое супесчаных и суглинистых почв и о меньшей подвижности его в последних по сравнению со ^{90}Sr . Содержание ^{137}Cs в пастбищной растительности (ПР) колебалось в широких пределах – от 12,6 до 100 Бк/кг: на торфяно-болотных почвах различной степени заболоченности – $100\pm 40,7$ Бк/кг, на супесчаных и суглинистых почвах – $12,6\pm 5,2$ Бк/кг. Для ^{90}Sr такой зависимости поступления из почвы в растения от типа почв не наблюдали. Величина отношения $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ в ПР уменьшалась от песчаных (10,8) к супесчаным и суглинистым почвам (1,9), что объяснимо большей величиной сорбции ^{137}Cs и уменьшением его подвижности на тяжелых почвах [2, 3]. Наибольшее количество ^{137}Cs во все виды сельскохозяйственных культур поступало из песчаных почв подгрупп Ia, Ib. Минимальное поступление характерно для суглинистых почв. Обращает на себя внимание преимущественное поступление в сельскохозяйственные культуры ^{137}Cs по сравнению со ^{90}Sr – соотношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ в сельскохозяйственных культурах ($19,6\div 27,9$) значительно выше, чем в почвах (4,9). Однако КН ^{137}Cs сельскохозяйственными во всех случаях меньше единицы (таблица 1). Такое относительно низкое поступление ^{137}Cs из пахотных почв по сравнению с поступлением из целинных обусловлено, во-первых, более низким содержанием ^{137}Cs в пахотных почвах в результате вспашки, чем на целинных почвах – $13,3\div 17$ Бк/кг, во-вторых, использованием под пахоту относительно сухих или осушенных участков территорий. Тем не менее, содержание ^{137}Cs в сельскохозяйственных культурах на территории Полесья были значительно выше средних показателей по Союзу.

Таблица 1 – Содержание ^{137}Cs в сельскохозяйственных продуктах

Почвы	Злаки		Овощи		Картофель		Свекла	
	пКи/кг	К _н	пКи/кг	К _н	пКи/кг	К _н	пКи/кг	К _н
торфя- ные	177±90	$\frac{0,56}{(0,82-0,21)}$	110±100	$\frac{0,29}{(0,5-0,13)}$	143±130	$\frac{0,34}{(1,1-0,2)}$	62±49	0,25
песча- ные	39±19	$\frac{0,10}{(0,17-0,09)}$	73±64	$\frac{0,20}{(0,3-0,08)}$	85±80	$\frac{0,28}{(1,5-0,13)}$	42	0,11
сугли- нистые	95±40	$\frac{0,13}{(0,20-0,06)}$	34±122	$\frac{0,07}{(0,1-0,02)}$	60±20	$\frac{0,13}{(0,6-0,05)}$	13	0,03

Обозначение: В числителе указано среднее значение содержания ^{137}Cs в производимом сырье, в знаменателе – максимальная и минимальная величины.

Содержание ^{137}Cs в отдельных пробах молока из ряда пунктов Полесья достигало в 1966 г. 14,8 Бк/л и выше. С 1963 по 1966 гг. в этом районе выпало не более 1,11 кБк/м² ^{90}Sr и 1,85 кБк/м² ^{137}Cs . Поэтому повышенное содержание обоих элементов в организме жителей и коровьем молоке объясняется специфическими местными причинами, а именно, преобладанием песчаных почвообразующих пород, обилием водоемов и высоким уровнем грунтовых вод. Для большинства разновидностей дерново-подзолистых почв, занимающих основную территорию, характерны кислая реакция, низкое содержание гумуса, кальция, магния, железа [3].

Содержание ^{90}Sr в мясе и картофеле во всех обследованных районах не превышало 0,37 и 0,26 Бк/кг, соответственно, а содержание ^{137}Cs достигало в мясе 37 Бк/кг, в картофеле – 2,6 Бк/кг, а максимальное соотношение $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ составило в мясе 130, в картофеле – 30, что значительно превышало среднесоюзные показатели.

На территории Могилевской области регулярный радиационный контроль за содержанием РН в производимой сельскохозяйственной продукции проводится с 1971 г. Шесть базовых хозяйств, в которых не менее двух раз в год отбирали пробы выращиваемой сельскохозяйственной продукции, расположены в разных регионах области. Это бывшие колхозы «Гигант» (Бобруйский район), «Горы» (Горецкий район), «Палужский» (Краснопольский район), «Заря» (Могилевский район) и «Кричевский» (Кричевский район) и экспериментальная база «Роднянская» (Климовичский район). После аварии на Чернобыльской АЭС к этим хозяйствам добавили еще одно – колхоз «17-й Партсъезд» (Славгородский район) [4–6].

Наиболее полные результаты за период 1971–1985 гг. накоплены по содержанию ^{137}Cs в мясе говяжьём (рисунок 1а), молоке (рисунок 2а), зерне овса, ржи, пшеницы и ячменя, соломе, сене луговом и сеяных трав, свекле, муке фуражной, картофеле, в менее полном объеме – в мясе свином и курином, костях КРС, моркови, огурцах, помидорах, кукурузе, муке костной и ячменной, яйцах куриных и капусте. По содержанию ^{90}Sr – в мясе говяжьём (рисунок 1б), костях КРС, свиных и куриных, молоке (рисунок 2б), зерне овса, ржи, пшеницы и ячменя, соломе, сене луговом и сеяных трав, свекле, муке фуражной, картофеле, в менее полном объеме – в мясе свином и курином, костях КРС, моркови, огурцах, помидорах, кукурузе, зернофураже, муке фуражной, костной и ячменной, яйцах куриных и капусте, соответственно. Обращает на себя внимание факт более значимого накопления нуклидов в сельскохозяйственной продукции, выращенной в доаварийный период в Краснополяском районе по сравнению с другими регионами области, а в Климовичском и Могилевском районах – по сравнению с Бобруйским и Горецким районами (таблица 2). Этот факт требует дополнительного анализа особенно с учетом сложившегося загрязнения территории Могилевской области после аварии на ЧАЭС.

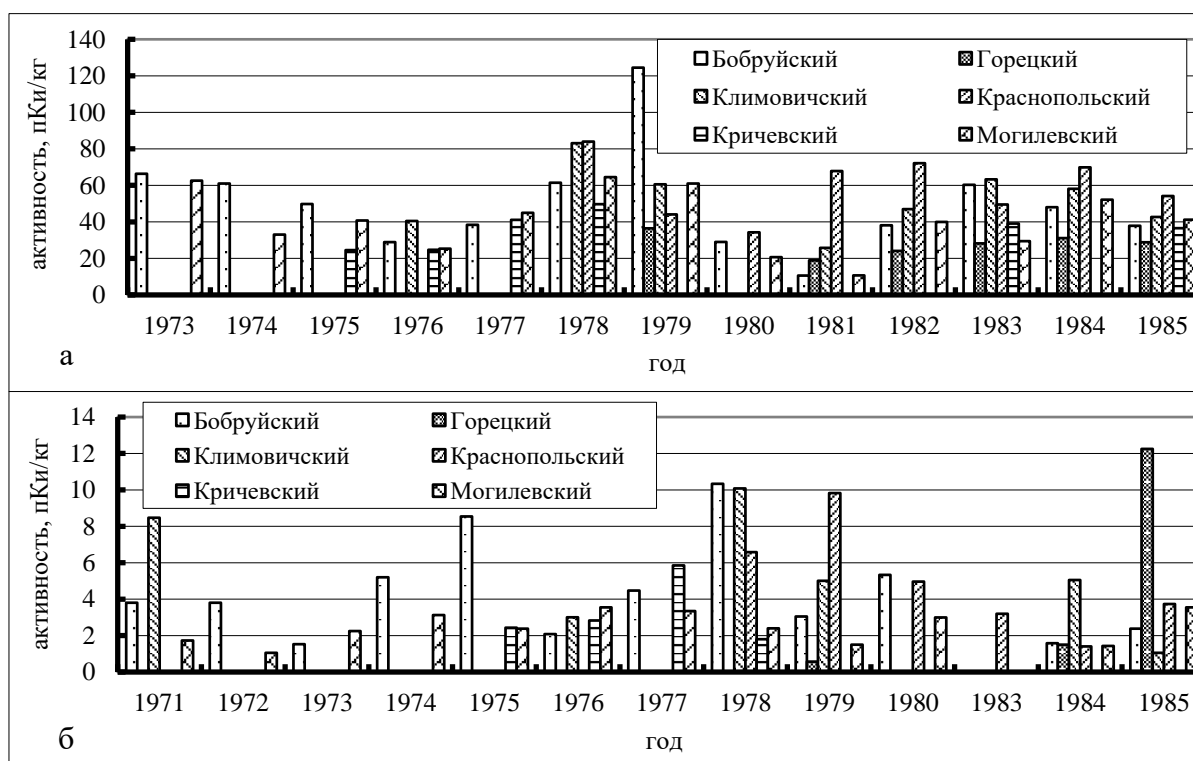


Рисунок 1. Содержание ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в мясе говяжьём

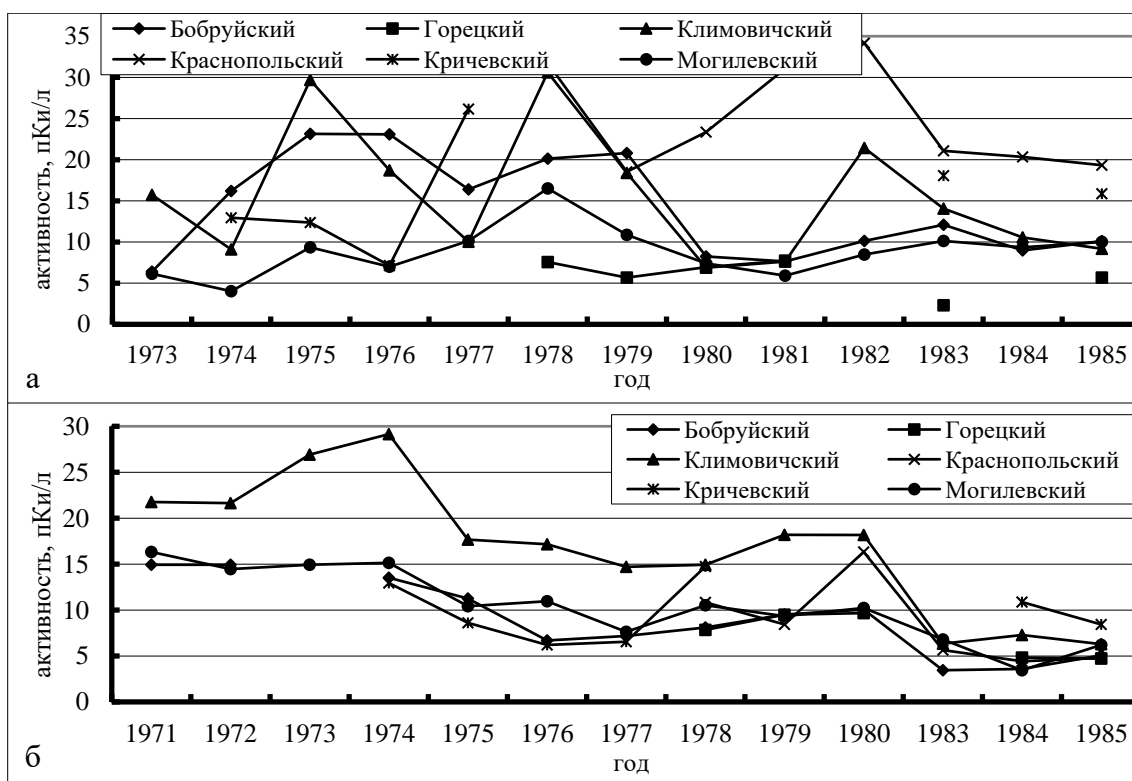


Рисунок 2. Содержание ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в молоке коровьем

Таблица 2 – Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в объектах ветнадзора по районам, 1985 г., пКи/кг (л)

Объект надзора	Бобруйский		Горецкий		Климовичский		Могилевский		Краснопольский	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Свинина	-	-	8,9	1,5	-	-	19,0	2,3	22,1	1,6
Говядина	6,2	1,8	6,2	1,2	5,7	5,0	13,9	2,4	18,8	4,1
Молоко	4,1	4,4	2,8	4,7	7,9	6,4	2,7	5,4	12,7	4,8
Кости КРС	-	1037,5		755,6	-	1711,3	-	646,4	-	1892,
Трава сеяная	5,1	65,0	8,0	34,8	7,3	32,9	9,7	50,1	10,2	99,6

Заключение. Систематический радиационный контроль за уровнями содержания РН в сельскохозяйственной продукции, проводимый на территории Белоруссии, показал, что к 1985 г. их содержание, обусловленное искусственными РН, по сравнению с 1964–1967 гг. уменьшились в 10-20 раз.

Анализ данных о загрязненности ^{137}Cs и ^{90}Sr пищевых продуктов, а также их потребления позволил установить суточные поступления РН населению Белоруссии, обусловленные на 75-80% молоком, хлебом, мясом и картофелем. Основные «поставщики» ^{137}Cs в организм взрослых, проживающих в районах с песчаными почвами, – молоко, мясо и овощи (картофель), а ^{90}Sr , как и в других районах страны, – хлеб и молоко.

Наиболее интенсивный переход ^{137}Cs в траву и молоко отмечается в районах с преобладанием в почвах песчаной фракции. КП в этих районах в 20-50 раз выше, чем в районах с тяжелыми глинистыми почвами.

Содержание ^{137}Cs в организме жителей Полесья в 10-50 раз превышало среднесоюзные значения (максимальная концентрация достигала 5,92 кБк).

Сведения, характеризующие радиационную обстановку на территории Могилевской области, обусловленную глобальными выпадениями продуктов ядерных взрывов, не объясняют полностью причин повышенного содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в продуктах пи-

тания, производимых в Краснопольском районе. Этот вопрос требует дальнейшего, более разностороннего и детального изучения.

Литература

1. Тернов, В.И. Гигиеническая оценка уровней накопления цезия-137 в организме жителей Белорусской ССР / В.И. Тернов, М.А. Виноградов, Н.В. Гурская, А.Г. Кондратьева // *Здравоохранение Белоруссии*. – 1983. – № 4. – С. 47–48.
2. Новикова, Н.Я. Особенности поведения цезия-137 в системе почва-пищевые продукты на территории белорусского Полесья: автореф. дис. ... канд. биол. наук (03.00.01 - радиобиология). – М. : ИБФ МЗ СССР, 1978. – 17 с.
3. Книжников, В.А. Содержание стронция-90 и цезия-137 в основных видах пищевых продуктов / В.А. Книжников [и др.] // *Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека*. – М. : Атомиздат, 1980. – С. 40–48.
4. Мирончик, А.Ф. Влияние аварии на Чернобыльской АЭС на содержание ^{90}Sr и $^{134+137}\text{Cs}$ в объектах ветнадзора / А.Ф. Мирончик, Ю.С. Овчинников // *Тез. докл. III Всесоюз. научн. конф. по сельхозрадиологии*. – Обнинск, 1990. – Т. 2. – С. 182.
5. Мирончик, А.Ф. Характеристика радиоактивного загрязнения территории Могилевской области в результате аварии на Чернобыльской АЭС / А.Ф. Мирончик, С.В. Круглов // *Труды Могилевского врачебного общества Белоруссии*. – Могилев, 1993. – С. 179–180.
6. Выживем после Чернобыля! : сб. справочных материалов для населения Могилевской области / П.А. Кондратов, А.В. Загорский, А.Ф. Мирончик [и др.] // Могилев : обл. тип., 1992. – 183 с.

ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ДЕЗАКТИВАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Р.А. Ненашев, Ю.Д. Марченко

*ГПНИУ «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»,
Хойники, Беларусь, rm@tut.by*

Введение. Получение достоверных сведений об интенсивности вторичного перераспределения радионуклидов в ландшафтах является актуальным при проведении дезактивационных мероприятий. Исследования такого рода, проведенные после чернобыльской катастрофы, показали, что после снятия верхнего 15 см слоя грунта и последующей вспашки ряда экспериментальных участков в г. Припять через 12 лет на них наблюдались признаки вторичного загрязнения. При этом вертикальное распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr было подобно распределению на незатронутом контрольном участке, хотя и с более выраженным заглублением. По результатам этих исследований авторами сделан вывод о том, что удаление богатого органикой слоя почвы приводит к снижению ее сорбционных свойств и повышению коэффициентов перехода радионуклидов в растительность в среднем в 1,1-2 раза для ^{137}Cs и 1,3-2,8 раза для ^{90}Sr [1].

Материалы и методы. Исследование эффективности различных методов снижения радиоактивного загрязнения плодородного слоя почвы и растительного покрова проводилось на экспериментальной площадке площадью 200 м², расположенной в зоне отчуждения в 10 км от Чернобыльской АЭС в окрестностях б.н.п. Масаны. Плотность радиоактивного загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr данной территории достигает 8 МБк/м² и 2,5

МБк/м² соответственно. В 1999 году на площадке было применено три способа дезактивации: тройное перекапывание почвы – участок №1, простое перекапывание (вспашка) – участок №2, снятие верхнего слоя почвы – участок №3. Тройная перекопка заключалась в последовательной перекопке слоев почвы 0-15 см, 15-30 см, 30-45 см, при которой менялась очередность почвенных слоев. Верхний, наиболее загрязненный, слой размещался на глубине 30 см, нижний, наименее загрязненный, занял промежуточное значение, а средний слой выносился наверх. На участке №2 проведена одинарная перекопка верхнего 20 см слоя почвы. С участка №3 целиком удалялся верхний 30-см почвенный слой. Почва экспериментальной площадки дерново-подзолистая супесчаная слабоподзоленная пахотная, подстилаемая с глубины 35 см песком рыхлым мелкозернистым оглеенным. Растительный покров представлен злаковым разнотравьем с доминированием пырея ползучего. В качестве контроля использовались данные по содержанию радионуклидов в почве и растительном покрове участка со сходными почвенно-растительными условиями, расположенного на территории с высоким радиоактивным загрязнением.

Результаты исследований и их обсуждение. В таблице 1 представлены сведения о содержании радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в почве и растительном покрове непосредственно после проведения дезактивационных работ и в настоящее время. В целом, различные способы дезактивации способствовали значительному первоначальному снижению радиоактивного загрязнения как верхнего 20-см слоя почвы, так и растительного покрова.

Таблица 1 – Содержание ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr в почве и растительном покрове после непосредственно проведения дезактивации и в настоящий период

Способ дезактивации	Плотность радиоактивного загрязнения 20-см слоя почвы, МБк/м ²				Содержание радионуклида в растительном покрове, кБк/кг			
	1999 год		2015 год		1999 год		2015 год	
	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Участок 1: Тройная вспашка с оборотом верхнего пласта	0,38	0,12	0,77	0,37	0,44	1,40	0,05	0,34
Участок 2: Простая вспашка	2,98	1,61	3,03	1,24	0,17	5,45	0,02	1,20
Участок 3: Снятие верхнего слоя грунта	0,02	0,013	0,05	0,024	0,14	0,25	0,02	0,04
Контроль	6,04	3,15	4,06	1,82	2,11	6,61	1,79	10,97

Как видно из приведенных в таблицах данных, предпринятые 16 лет назад меры по дезактивации обладают надежным последствием и сохраняют с годами эффект устойчивого снижения радиоактивного загрязнения растительного покрова.

В 2015 году загрязнение растительности ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr на участке, где проводилась вспашка с оборотом пласта, было в 80 и 9 раз ниже по сравнению с контролем. На участке, где применялась тройная вспашка, кратность снижения содержания ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr относительно контроля составляет 40 и 32 раз соответственно. Наиболее существенное снижение содержания ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в растениях обеспечивается после снятия верхнего слоя почвы (в 119 и 278 раз соответственно).

Следует отметить, что при существующих уровнях радиоактивного загрязнения прилегающей территории, по нашим расчетам, годовое поступление радионуклидов на дезактивированные площадки с воздушными массами составляет для ¹³⁷Cs всего лишь 0,4-4 кБк/м², а для ⁹⁰Sr 0,08-0,8 кБк/м² и не может быть значимым источником вторичного загрязнения. Проведенное в 2015 году исследование вертикального распределения

радионуклидов по почвенному профилю на участках с простой и тройной перекопкой показало, что запас ^{137}Cs равномерно распределен в слое 0-20 см. Однако в настоящее время имеется тенденция к вторичному увеличению концентрации ^{90}Sr в верхних горизонтах по сравнению с нижележащими слоями. В частности распределение ^{90}Sr имеет два пика накопления: около 30% его концентрируется в слое 0-4 см и 52% в слое 12-20 см. В то же время в средних слоях содержание этого радионуклида составляет всего лишь 18%.

Следует отметить, что вертикальное распределение как ^{137}Cs , так и ^{90}Sr в почвенном слое 0-20 см сразу же после проведения дезактивационных работ (1999 г.) было равномерным.

Таким образом, установлено, что первоначальное равномерное распределение ^{90}Sr в почвенном профиле после указанных приемов дезактивации со временем существенно трансформировалось и привело к вторичному загрязнению верхних слоев почвы. Причиной этого может быть вынос ^{90}Sr на поверхность почвы растениями при сезонном отмирании их надземной части. В варианте опыта, где снимался верхний слой грунта, вертикальное распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr по почвенному профилю соответствует контрольному и уменьшается с глубиной согласно экспоненциальному закону с сосредоточением основного запаса радионуклидов в верхнем 5-см слое почвы.

В таблице 2 приведены величины коэффициентов перехода (КП) ^{137}Cs и ^{90}Sr в злаковый травостой из почвы непосредственно после проведения дезактивационных мероприятий и в настоящий период. Выявлено, что переход ^{137}Cs из почвы в злаковое разнотравье в большинстве случаев ниже, чем на контрольном участке. В отношении ^{90}Sr также следует отметить, что дезактивационные мероприятия способствуют заметному снижению величин КП. Однако в силу своих биологических особенностей растения накапливают ^{90}Sr намного активнее, чем ^{137}Cs , на что указывают высокие величины КП.

В целом наблюдается общая тенденция снижения величин КП ^{137}Cs в зависимости от времени с момента проведения дезактивационных работ, что, вероятно, обусловлено изменением соотношения подвижных и фиксированных форм ^{137}Cs в почве. При этом наибольшее снижение величины КП ^{137}Cs в растительный покров наблюдается после полного снятия верхнего загрязненного слоя грунта.

Переход ^{90}Sr в растения через 16 лет после дезактивации заметно снизился на участках с простой и тройной вспашкой, но на контрольном участке КП ^{90}Sr значительно увеличился. Данная тенденция может быть обусловлена особенностями радиоактивного загрязнения ближней зоны аварии на ЧАЭС, а именно наличием в почвах топливных частиц. Их постепенное разрушение привело к значительному увеличению биологически доступных форм ^{90}Sr , что характерно для современного этапа последствий аварии на ЧАЭС [2].

Таблица 2 – Коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в растительный покров в зависимости от способа дезактивации, (Бк/кг)/(кБк/м²)

Способ дезактивации	1999 год		2015 год	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Участок 1: Тройная вспашка с оборотом верхнего пласта	1,15	11,52	0,06	0,93
Участок 2: Простая вспашка	0,06	3,38	0,01	0,97
Участок 3: Снятие верхнего слоя грунта	5,64	18,78	0,29	7,85
Контроль	0,35	2,10	0,44	6,02

Заключение. Сравнительный анализ различных методов дезактивации почвенного покрова показал, что самым действенным методом, снижающим загрязнение почвы и злакового травостоя, является снятие верхнего слоя грунта. Проведенные исследования вертикального распределения ^{137}Cs , ^{90}Sr в почве после проведения дезактивационных мероприятий выявили, что имеются явные различия в характере распределения этих радионуклидов в зависимости от их физико-химических свойств и биологической значимости. В данный момент времени на опытных участках наблюдается общая тенденция перемещения некоторого количества ^{90}Sr в верхние слои почвы в результате выноса его растениями на поверхность почвы. Сопоставление величин КП радионуклидов из почвы в травостой, полученных сразу же после проведения дезактивационных работ, с современными данными показывает, что произошло значительное уменьшение перехода ^{137}Cs из почвы в травостой с течением времени. В отношении ^{90}Sr следует отметить, что его подвижность в почве и доступность для растений со временем может даже увеличиваться, так как этот радионуклид довольно слабо фиксируется почвенно-поглощающим комплексом и в процессе разрушения топливных частиц происходит высвобождение его мобильных форм. В целом, проведенные 16 лет назад дезактивационные работы в настоящее время сохраняют в необходимой мере свою эффективность по снижению радиоактивного загрязнения почвы и растительного покрова.

Литература

1. Иванов, Ю.А. Анализ факторов, определяющих долговременную динамику миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове / Ю.А. Иванов // Проблемы чернобыльской зоны отчуждения. Научно-технический сборник, № 9. – МЧС Украины. – Чернобыль. – 2009. – С. 23–39.

2. Кашпаров, В.А. Кинетика растворения чернобыльских топливных частиц. Растворение топливных частиц в естественных условиях в почве / В.А. Кашпаров, С.И. Зварич, В.П. Процак [и др.] // Радиохимия. – 2000. – Т. 42. – № 6. – С. 542–549.

РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ РЕГИОНАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В РАЗЛИЧНЫЕ ПЕРИОДЫ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Н.И. Санжарова, А.В. Панов, О.А. Шубина, Н.Н. Исамов

*Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
Обнинск, Россия, natsan2004@mail.ru*

Введение. Особенности аварийной ситуации на Чернобыльской АЭС привели к масштабному загрязнению сельскохозяйственных земель. Была предложена зональная система ведения агропромышленного производства, которая предусматривает проведение комплекса мероприятий по ограничению перехода радионуклидов в продукцию и разработку структуры размещения отдельных отраслей производства в зависимости от уровня радиоактивного загрязнения. Улучшение радиационной обстановки на загрязненных территориях ставит задачу поэтапного возвращения пострадавших территорий к условиям нормальной жизнедеятельности, включая восстановление сельскохозяйственного производства.

Результаты исследований и их обсуждение. На территории Российской Федерации в результате аварии на ЧАЭС в зону загрязнения попало более 2,3 млн. га сельскохозяйственных земель. Доля земель с плотностью загрязнения от 37 до 185 кБк·м⁻²

составляла 79,2%; от 185 до 555 – 15,8%; 555-1480 кБк·м⁻² – 4,3% [2]. Наиболее высокие уровни загрязнения зарегистрированы в Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областях, при этом в Брянской области 17,1 тыс. га угодий с плотностью выпадений ¹³⁷Cs свыше 1480 кБк·м⁻² были временно выведены из землепользования, в том числе сенокосов и пастбищ – 9,8 тыс. га, а пахотных земель – 7,3 тыс. га. Загрязнение земель ⁹⁰Sr было незначительным и не потребовало применения защитных мероприятий.

Через 30 лет после аварии на ЧАЭС радиационная обстановка существенно улучшилась. В 4-х наиболее загрязненных ¹³⁷Cs областях Российской Федерации в результате радиоактивного распада площади отнесенных к зонам загрязнения земель сельскохозяйственного назначения сократились на 32-47%. Основная часть угодий имеет плотность загрязнения ниже 185 кБк·м⁻² – 62,2% в Брянской области; 94,6% – в Калужской; 99% – в Орловской и 95,1% в Тульской области (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика площадей сельскохозяйственных земель, загрязненных ¹³⁷Cs, по зонам радиоактивного загрязнения, га

Область	Год	Плотность загрязнения почв ¹³⁷ Cs, кБк·м ⁻²				Всего
		37-185	185-555	555-1480	>1480	
Брянская	1987	401 400	186 600	97 600	17106	702 706
	2007	260 400	125 400	30 900	5 450	422 150
	2015	235 200	110 600	27 900	4 600	378 300
Калужская	1987	111 700	33 100	700	-	145 500
	2007	107 531	12 599	3	-	120 133
	2015	93 733	5 397	-	-	99 130
Орловская	1987	652 086	16 668	-	-	668 754
	2007	414 660	7 362	-	-	422 022
	2015	413 620	3 989	-	-	417 579
Тульская	1987	653 000	125 700	-	-	778 700
	2007	502 100	55 000	-	-	557 100
	2015	488 050	24 910	-	-	512 960

* По данным Брянского, Калужского, Тульского, Плавского, Орловского и Верховского центров химизации и сельскохозяйственной радиологии МСХ РФ.

В первый период после аварии радиоактивные выпадения оказались настолько высоки, что доля продукции с превышением нормативов в Орловской области составляла до 40% (Болховский район) и Тульской – до 15% (Плавский район). В Калужской области (Жиздринский, Хвастовичский и Ульяновский районы) превышение нормативов по содержанию ¹³⁷Cs отмечалось в зерне и картофеле до 1988 года. В наиболее загрязненных районах Брянской области (Гордеевский, Новозыбковский, Красногорский, Клинцовский и Климовский) до 80% произведенного зерна, молока и кормов не отвечало нормативам. К 1990 г. уровни загрязнения зерна и молока снизилось в 20-30 раз, а сена в 5-6 раз [1].

В связи с тем, что на территории Орловской и Тульской областей с 1988 года не было зарегистрировано превышение нормативов содержания ¹³⁷Cs в продукции, сельскохозяйственное производство ведется по стандартным технологиям (668,75 и 778,7 тыс. га соответственно). В Калужской области площадь земель с плотностью загрязнения по ¹³⁷Cs свыше 185 кБк·м⁻², где не может быть гарантированно обеспечено производство нормативной продукции к 2106 г. сократилась на 28,4 тыс. га. По данным радиационного контроля, только в единичных пробах кормов для животноводства регистрируется превышение содержания ¹³⁷Cs. В Брянской области площадь сельскохозяйственных земель с плотностью загрязнения свыше 185 кБк·м⁻² снизилась в 2,1 раза и составляет 143,1 тыс. га (в 1987 г. – 301,3 тыс. га). Таким образом, 158,1 тыс. га в

настоящее время выведены из зон радиоактивного загрязнения, а сельскохозяйственное производство на них ведется по традиционным технологиям.

Однако в наиболее загрязненных районах Брянской до настоящего времени не удалось обеспечить производство сельскохозяйственной продукции, соответствующей нормативам, в полном объеме. В 23 коллективных хозяйствах без проведения реабилитационных мероприятий невозможно получение продукции кормопроизводства и животноводства, соответствующей нормативам. В 11 хозяйствах превышение нормативов СанПиН [3, 4] будет носить долговременный характер, то есть может отмечаться до 2025–2030 гг. Основную проблему представляет загрязнение кормов, содержание ^{137}Cs в которых может превышать ветеринарные допустимые уровни в 1,9–3,7 раза. Доля кормов с превышением нормативов варьирует от 9 до 39%. Высокое содержание ^{137}Cs в кормах определяет превышение гигиенических нормативов в продукции животноводства – молоко и молочная продукция в 4–12% проб, мясо и мясная продукция – в 5–8% проб. Следует отметить устойчивую тенденцию снижения доли загрязненной продукции и стабилизацию радиационной ситуации в АПК.

Самостоятельную проблему представляет возвращение в хозяйственное использование сельскохозяйственных земель с плотностью загрязнения свыше $1480 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$, площадь которых уменьшилась и составляет в настоящее время 4,6 тыс. га, т.е. по критерию плотности загрязнения ^{137}Cs 12,5 тыс. га может быть возвращено в хозяйственное использование. Около 25% земель, временно выведенных из землепользования, представлено отдельными участками, расположенными в границах действующих сельскохозяйственных предприятий, где проживает население. Плотность загрязнения участков ^{137}Cs варьирует от 200 до $600 \text{ кБк}\cdot\text{м}^{-2}$. В 2011–2015 гг. проведены реабилитационные работы на площади около 5,2 тыс. га, которые обеспечили производство продукции (многолетние травы, зернобобовые, озимая пшеница, озимая рожь), соответствующей гигиеническим или ветеринарным требованиям. В настоящее время земли возвращены в хозяйственный оборот.

Возвращение выведенных из оборота земель, находящихся в границах зоны отчуждения, является более сложной проблемой. Ключевым условием является возможность возврата населения и обеспечение безопасности работников. Основным критерием, определяющим возможность возвращения территорий к нормальной жизнедеятельности, включая возвращение населения, является не превышение дозового предела $1 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}$. Прогноз показывает, что для большей части отчужденных территорий этот показатель может быть достигнут не ранее 2025–2035 гг. В связи с особенностями формирования зоны отчуждения возвращение этих земель должно проводиться поэтапно с учетом радиационной обстановки и экономических условий.

Необходимо отметить роль проведенных реабилитационных мероприятий, применение которых явилось основным фактором, обеспечившим снижение накопления ^{137}Cs в производимой продукции на протяжении всего периода после аварии. В период с 1986 по 1988 гг. мероприятия в агропромышленном производстве проводились в постоянно увеличивающихся масштабах, а с 1988 по 1992 гг. они осуществлялись в оптимальных размерах (рисунок 1). Именно это позволило обеспечить существенное снижение объемов производства продукции с уровнями загрязнения выше ВДУ: по молоку от 86% в 1986 г. до 1,7% в 1994 г.; по мясу от 15,2% до 0,06%; по зерну от 78% до менее 0,01%.

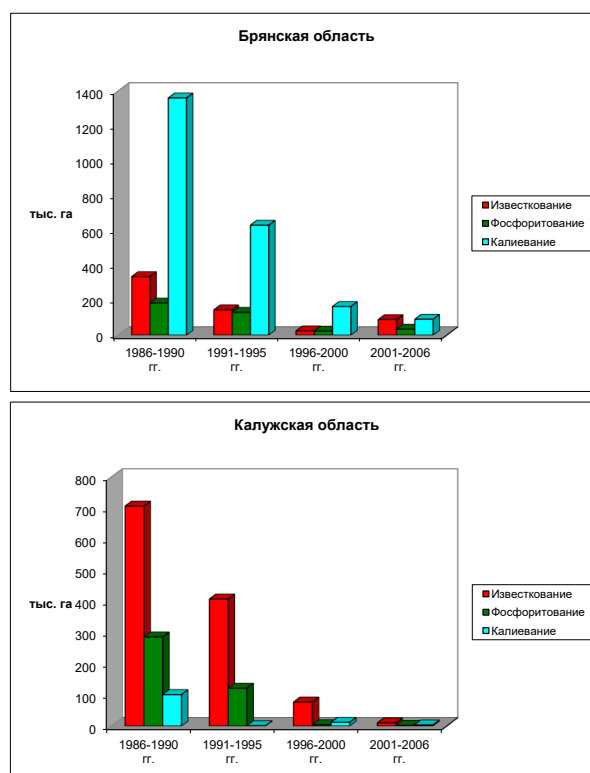


Рисунок 1. Объемы и виды проведенных реабилитационных мероприятий на территории Брянской и Калужской областей

Начиная с 1993 г., объемы применения средств химизации и агроメリоративных мероприятий снижаются. В последние годы внесение минеральных удобрений (в основном калийных), извести и фосфоритной муки как защитных мероприятий проводилось практически только в юго-западных районах Брянской области. В рамках выполнения ФЦП «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года» в 2010–2015 гг. проведены реабилитационные работы на площади 23,1 тыс. га. В рамках ФЦП «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006–2010 годы» в 2006–2015 гг. проведены культуртехнические работы на площади 94 тыс. га и агрохимические мероприятия на площади 43.3 тыс. га.

В течение 2011–2015 гг. в юго-западных районах Брянской области ежегодно применялись ферроцинсодержащие препараты, что позволило значительно снизить содержание ^{137}Cs в продукции животноводства. Анализ динамики концентрации радионуклида в молоке после применения ферроцинсодержащих препаратов свидетельствует об их высокой эффективности. Кратность снижения концентрации ^{137}Cs в молоке на 15-30-е сутки составила 2,3-5,2 раза, а в мясе 3,0-4,8 раза.

Таблица 2 – Объемы применения ферроцинсодержащих препаратов в Брянской области

Препарат	1993–1997	1998–2002	2003–2007	2008–2012	2013–2015
Бифеж (кг)	52715	53187	14212	-	-
Ферроцин (кг)	14455	3603	5773	6830	3180
Болюсы (шт.)	19050	22890	0	-	-

На снижение концентрации ^{137}Cs в пищевых продуктах после аварии на Чернобыльской АЭС значительно влияют как естественные биохимические процессы, так и защитные мероприятия. В районах с интенсивным применением сельскохозяйственных

контрмер снижение концентрации ^{137}Cs в пищевой продукции произошло значительно быстрее, чем в районах с ограниченным применением защитных мероприятий.

Заключение. Вопросы планирования реабилитационных мероприятий, в частности, определение приоритетов в реализации контрмер стали очень важными после аварии на ЧАЭС, поскольку решение задач оптимизации реабилитационных стратегий потребовало учета широкого спектра факторов. Опыт, накопленный после аварии на ЧАЭС, подтвердил, что при реабилитации необходимо учитывать не только радиологические и экономические факторы, но и восприятие применяемых мероприятий населением, администраций городских и поселковых советов, неправительственными организациями и т.п.

Анализ показывает, что в большинстве субъектов Российской Федерации, подвергшихся загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, улучшение радиационной обстановки позволяет осуществить перевод данных территорий к условиям нормальной жизнедеятельности, т.е. проживанию населения и ведению хозяйственной деятельности без ограничений по радиологическому фактору [5]. Нерешенными в полном объеме остаются вопросы обеспечения радиационной безопасности населения и производства продукции в юго-западных районах Брянской области, где на локальных территориях с высокими уровнями загрязнения необходимо сохранение социально приемлемых реабилитационных мероприятий или временных ограничений на использование местных природных ресурсов (дары леса, дичь и т.п.).

В Российской Федерации накоплен определенный опыт вывода территорий из зон радиоактивного загрязнения, включая реабилитацию и возвращение в хозяйственный оборот сельскохозяйственных земель. Для территорий с высокими уровнями радиоактивного загрязнения сохраняется необходимость применения реабилитационных мероприятий, а также мер радиационной защиты населения и работников. Улучшение радиационной обстановки определяет снижение потребности и масштабов проведения этих мероприятий.

Литература

1. Алексахин, Р.М., Санжарова, Н.И. Российский национальный доклад «25 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986-2011» / Под ред. С.К. Шойгу и Л.А. Большова // М., 2011. – С. 38–45.
2. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича // Москва-Минск: Фонд «Инфосфера». – НИИ-Природа, 2009. – 140 с.
3. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01.
4. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.2650-10 (Дополнения и изменения № 18 к СанПиН 2.3.2.1078-01).
5. Рекомендации по поэтапному возврату территорий, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, к условиям нормальной жизнедеятельности (по радиологическому фактору). Рабочие Материалы. – МАГАТЭ, Вена. – 2016. – 52 с.

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ АЗОТНЫХ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ВНЕСЕНИЯ НАВОЗА КРС, НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs ЗЕЛЕННОЙ МАССОЙ КУКУРУЗЫ, ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

Н.В. Сидорейко, Ю.В. Пуятин

*РУП «Институт почвоведения и агрохимии», Минск, Беларусь,
sidoreiko_natalia@mail.ru*

Введение. В последние годы в республике динамично развивается животноводство и увеличивается потребность в высококачественных кормах. Наиболее остро эта проблема стоит в южных районах Беларуси, где, из-за участившихся экстремальных погодных условий (засуха, заморозки), а также высокой плотности загрязнения почв радионуклидами, посевы многолетних бобовых и злаковых трав сокращаются. Кукуруза – важная кормовая культура, которая относится скорее не к засушливым, а к рационально потребляющим влагу растениям. Обладая высоким потенциалом урожайности, с одной стороны, она способна обеспечить получение больших объемов энергетически насыщенного корма. С другой, кукуруза относится к кормовым культурам, которая в одинаковых условиях меньше других накапливает радионуклиды, что позволяет восполнить кормовую базу этих районов [1–4].

Цель исследований – установить оптимальные дозы внесения калийных и азотных удобрений на фоне применения дифференцированных уровней подстилочного навоза КРС с целью их эффективного использования и обеспечения минимального накопления ^{137}Cs зеленой массой кукурузы.

Материалы и методы. Исследования проводились в условиях стационарного полевого опыта, заложенного в КСУП Э/б «Стреличево» Хойникского района Гомельской области. Почва экспериментального участка – дерново-подзолистая супесчаная, подстилаемая с глубины 0,6–0,7 м моренным суглинком. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта: гумус (0,4н $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) – $1,90 \pm 0,43\%$, pH – $6,01 \pm 0,35$, P_2O_5 и K_2O (0,2н HCl), $273,8 \pm 46,6$ и $220,9 \pm 54,7$ мг/кг почвы соответственно, содержание обменных форм кальция и магния (1н HCl), $731,0 \pm 125,4$ и $241 \pm 33,0$ мг/кг почвы соответственно. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs – $219,2 \pm 27,0$ кБк/м², ^{90}Sr – $16,6 \pm 2,8$ кБк/м².

Общая площадь под опытом – 0,3 га, общий размер делянки – 18 м², размер учетной делянки – 10 м², размещение делянок рендомизированное, повторность опыта – четырехкратная. Схема полевого опыта включала варианты с возрастающими дозами калийных $\text{K}_{0-60-120-180}$ и азотных $\text{N}_{0-90-120-150}$ удобрений на фоне применения фосфорных P_{60} и дифференцированных уровней подстилочного навоза КРС – 0 т/га, 40 т/га и 80 т/га. Навоз вносился под кукурузу с осени под зяблевую вспашку, минеральные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) – под предпосевную культивацию. Подкормка азотными удобрениями (карбамид) выполнена в фазу 3–5 листа.

В опыте возделывался гибрид кукурузы «Дельфин» (ФАО 190). Норма высева – 110 тыс. зерен/га. Агротехника возделывания кукурузы общепринятая для данной зоны. Обработка посевов проведена почвенным гербицидом «Примэкстра голд» 3,5 л/га. Химическая прополка посевов кукурузы проведена гербицидом «Балерина» 0,3 л/га в фазу 3–5 листа.

Полевые исследования, лабораторные анализы почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми действующими методиками и ГО-

СТами: рН_{KCl} – на рН-метре ЛПЧ-0,1 (ГОСТ 26483-85); гумус по Тюрину (0,4н К₂Cr₂O₇) в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84); обменные кальций и магний (1н KCl) – методом ЦИНАО (ГОСТ 26487-85); подвижный фосфор и калий – по Кирсанову (0,2н HCl) (ГОСТ 26207-84). Удельная активность ¹³⁷Cs в почвенных и растительных образцах была определена в соответствии с МВИ. МН 1181-2011 на γ-спектрометре МКС-1315. Плотность загрязнения почв радионуклидами (кБк/м²) рассчитывалась на основании данных удельной активности почвы по «Методике крупномасштабного агрохимического и радиологического обследования почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь». Для статистической обработки экспериментального материала были использованы дисперсионный и корреляционный методы. Расчеты проводились с использованием стандартного программного обеспечения (Microsoft Excel 7.0) и StatSoft Inc. (2001) STATISTICA Program.

Результаты исследований и их обсуждение. В результате проведенных исследований, наибольший переход ¹³⁷Cs в зеленую массу кукурузы отмечался в варианте без внесения минеральных и органических удобрений (чистый контроль). Внесение возрастающих доз калия К₆₀₋₁₂₀₋₁₈₀ на фоне N₁₂₀P₆₀ без внесения органических удобрений обеспечило снижение перехода радионуклида ¹³⁷Cs в зеленую массу кукурузы в 1,7; 1,9 и 2,1 раз соответственно (рисунок 1).

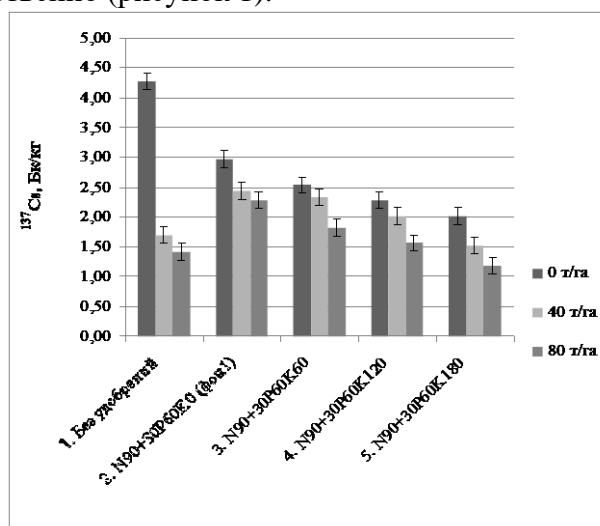


Рисунок 1. Влияние возрастающих доз калийных удобрений на удельную активность ¹³⁷Cs в зеленой массе кукурузы (влажность 75%), Бк/кг

Одностороннее внесение навоза КРС 40 и 80 т/га снижало поступление ¹³⁷Cs в растения кукурузы в 2,5 и 3,0 раза соответственно. Наибольшая эффективность удобрений наблюдалась при совместном внесении органических и калийных удобрений, что позволило уменьшить удельную активность зеленой массы кукурузы по ¹³⁷Cs на 42,9-75,2%. Так, совместное внесение возрастающих доз калия К₆₀₋₁₂₀₋₁₈₀ и 40 т/га навоза на фоне N₁₂₀P₆₀ способствовало уменьшению накопления радионуклида ¹³⁷Cs в зеленой массе кукурузы в 1,8; 2,1 и 2,8 раз соответственно. Внесение 80 т/га навоза с К₆₀₋₁₂₀₋₁₈₀ на фоне N₁₂₀P₆₀ обеспечило дальнейшее снижение удельной активности радиоцезия в 2,3; 2,7 и 3,6 раз или на 57,4%; 63,4 и 72,3% соответственно.

Противоположная зависимость наблюдалась при внесении возрастающих доз азота N₉₀₋₁₂₀₋₁₅₀ на фоне P₆₀K₁₂₀. Удельная активность зеленой массы кукурузы по ¹³⁷Cs увеличением доз азотных удобрений росла на всех фонах внесения органических удобрений (рисунок 2).

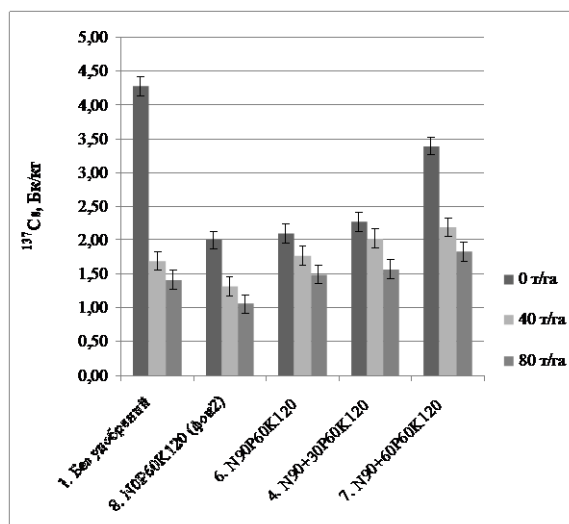


Рисунок 2. Влияние возрастающих доз азотных удобрений на удельную активность ¹³⁷Cs в зеленой массе кукурузы (влажность 75%), Бк/кг

Согласно литературным данным, усиление поглощения ¹³⁷Cs при внесении азотных удобрений объясняется увеличением количества подвижного радионуклида в почве под влиянием гидратированных ионов аммония, имеющих с радиоцезием сходный по величине ионный радиус, и способных вытеснить его из мест сорбции в почвенный раствор, увеличивая при этом его доступность для корневого усвоения растениями. Однако, азот играет ведущую роль в формировании высокой продуктивности кукурузы, поэтому внесение азотных удобрений также способствует и значительному росту урожайности кукурузы и последующему биологическому «разбавлению» концентрации цезия в растительной массе [4–8].

Таким образом, результаты исследования показали, что с увеличением дозы азотных удобрений N₉₀₋₁₂₀₋₁₅₀ на фоне P₆₀K₁₂₀ без внесения органических удобрений наблюдается рост удельной активности ¹³⁷Cs, но находится ниже значения удельной активности зеленой массы кукурузы в варианте без внесения минеральных удобрений и навоза КРС. Совместное внесение N₉₀₋₁₂₀₋₁₅₀ и навоза КРС способствовало снижению накопления радиоцезия в зеленой массе кукурузы на 58,6%; 52,8 и 48,9%, соответственно; 80 т/га с N₉₀₋₁₂₀₋₁₅₀ – на 65,0-57,1%.

Литература

1. Надточаев, Н.Ф. Выращивание кукурузы на силос и зерно / Н.Ф. Надточаев, С.С. Барсуков // Минск: Ураджай. – 1994. – 80 с.
2. Кукуруза на силос / Д. Шпаар [и др.]. – Москва, 1996. – 93 с.
3. Рекомендации по возделыванию кукурузы на дерново-подзолистых супесчаных почвах в условиях радиоактивного загрязнения / И.М. Богдевич [и др.]; / под общ. ред. И.М. Богдевича: Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск. – 2009. – 44 с.
4. Жданович, В.П. Влияние калия в сочетании с другими элементами на снижение накопления радионуклидов продукцией кукурузы / В.П. Жданович // Современные проблемы радиобиологии: материалы Междунар. науч. конф., Гомель, 14-15 окт. 2010 г. / Ин-т радиобиологии Нац. акад. наук Беларуси; ред.кол.: А.Д. Наумов [и др.]. – Минск, 2010. – С. 49–50.
5. Применение органических удобрений на загрязненных радионуклидами почвах (Рекомендации) / И.М. Богдевич [и др.]; / под общ. ред. С.Ф. Тимофеев: Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2004. – 24 с.

6. Жданович, В.П. Эффективность удобрений под кукурузу на загрязненной радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr дерново-подзолистой супесчаной почве / В.П. Жданович, И.М. Богдевич, А.Г. Подоляк // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 2 (39). – С. 214–221.

7. Ионас, В.А. Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на накопление радионуклидов в продукции растениеводства / В.А. Ионас // Резервы повышения плодородия почв, эффективности удобрений и средств защиты растений: сб. науч. тр. / БГСХА. – Горки, 2000. – С. 36–40.

8. Бондарь, Ю.И. Влияние агрохимических свойств почвы на закрепление радионуклидов в почвенном комплексе / Ю.И. Бондарь, Л.С. Ивашкевич, В.Н. Калинин // 20 лет после Чернобыльской катастрофы: сб. науч. тр. / РНИУП «Институт радиологии». – Гомель, 2006. – С. 74–81.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Н.А. Сотникова

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и
агроэкологии», Обнинск, Россия, biology07@rambler.ru*

Введение. Проблемы проживания населения и ведения хозяйственной деятельности в зоне воздействия радиационной аварии относятся к числу наиболее сложных, так как затрагивают комплекс радиологических, социальных и экономических вопросов [1]. За прошедший после аварии на Чернобыльской АЭС период радиационная обстановка на сельскохозяйственных угодьях существенно улучшилась. Однако оценка современной радиологической ситуации показала, что до настоящего времени в юго-западных районах Брянской области сохраняется проблема превышения радиологических нормативов содержания ^{137}Cs в части производимой сельскохозяйственной продукции [2, 3]. В последние годы на сельскохозяйственных угодьях этих районов агро-мелиоранты, из-за высоких цен, применяются в ограниченных объемах, которые не обеспечивают достаточный уровень почвенного плодородия и снижения содержания ^{137}Cs в продукции [4]. Значительные объемы и разнообразие проводимых реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве, снижение радиологической эффективности в отдаленный период после аварии на ЧАЭС, сопровождающееся увеличением затрат на их внедрение, потребовали разработки методов, позволяющих оптимизировать их использование.

Материалы и методы. Методология радиологической и экономической оценки эффективности реабилитационных мероприятий представляет собой систему комплексного анализа и сравнения следующих критериев:

- радиологические (кратность снижения удельной активности ^{137}Cs в продукции, доля продукции с превышением норматива);
- радиологические (предотвращенная коллективная доза облучения населения);
- нормативные (СанПиН 2.3.2.2650-10, ТР ТС 021/2011 или ВП 13.5.13/06-01);
- экономические и хозяйственные (урожайность, прибавка урожая, дополнительный доход, затраты на производство продукции, затраты, связанные с технологией, прирост прибыли от реализации продукции, рентабельность дополнительных затрат);
- радиолого-экономические (стоимость предотвращенной коллективной дозы).

На первом этапе работы, был осуществлен сбор и обобщение существующей информации о стандартных и реабилитационных технологиях получения сельскохозяйственной продукции, отвечающей установленным санитарно-гигиеническим нормативам, на радиоактивно загрязненных сельских территориях, а также разработана база данных (БД) (в виде файлов *MS Excel* и *MS Access*) на основе полученного научного материала. На данный момент БД насчитывает более 11 тыс. записей. Комплекс анализируемых агрохимических приемов включает: известкование почв (CaCO_3) в дозе 3 т/га (кроме овощей); азотных (N_{60-336}), фосфорных (P_{60-135}) и калийных (K_{60-360}) удобрений в различных соотношениях; применение органических удобрений (навоза) в дозах от 40 до 120 т/га; сочетанное применение минеральных удобрений совместно с известкованием и внесением органики; применение новых комплексных удобрений при производстве сена (Борофоска, Супродит М).

На втором этапе, отобранные в широком диапазоне дозы агроメリорантов и их характеристики были интегрированы в компьютерную систему поддержки принятия решений (СППР) «Оценка эколого-экономической эффективности реабилитационных технологий в хозяйствах, расположенных на радиоактивно загрязненных территориях (ОЭРТ-Р)» (*MS Excel*), разработанную для практического использования в сельхозпредприятиях при производстве продукции, удовлетворяющей нормативным требованиям. С помощью разработанной СППР проведен анализ радиологической и экономической эффективности, и даны рекомендации по производству продукции растениеводства, кормопроизводства и животноводства в наиболее загрязненных ^{137}Cs 5 тестовых хозяйствах юго-западных районов Брянской области.

Результаты исследований и их обсуждение. Преобладающим типом почв в исследуемых хозяйствах являются дерново-подзолистые с низким уровнем плодородия, неравномерной обеспеченностью калием и фосфором. С учетом характеристик почвенного покрова и коэффициентов перехода радионуклидов были рассчитаны плотности загрязнения сельскохозяйственных угодий, при которых возможно производство продукции растениеводства, соответствующей санитарно-гигиеническим требованиям, без применения агрохимических мероприятий и потенциальная удельная активность ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции.

Производство овощных культур и картофеля, а также зерна озимой ржи и ячменя, без применения реабилитационных мероприятий возможно при высоких плотностях загрязнения ^{137}Cs всех типов почв. Возделывание этих культур в тестовых хозяйствах Брянской области можно проводить по принятым для данной зоны технологиям, а урожай использовать без ограничений. Практически на всех пахотных угодьях юго-западных районов Брянской области проведение реабилитационных мероприятий при выращивании зерновых культур не требуется, однако получение продовольственного зерна овса, соответствующего нормативным требованиям, ограничено на дерново-подзолистых почвах с уровнем обеспеченности калием менее 80 мг/кг (427 га супесчаных почв, 735 га суглинистых, 1794 га песчаных). На данных участках может производиться фуражное зерно и солома в соответствии с требованиями ветеринарных правил ВП 13.5.13/06-01.

Различные уровни загрязнения сенокосов и пастбищ, их почвенные характеристики, объемы и виды проведенных ранее реабилитационных мероприятий обеспечивают высокую вариабельность данных по загрязнению кормов. На большей части кормовых угодий тестовых хозяйствах Брянской области без применения системы реабилитационных мероприятий не может быть гарантировано получение сена и зеленой массы трав, соответствующих требованиям ВП 13.5.13/06-01. При выполнении прогнозных оценок использовался консервативный подход. В таблице 1 представлена потенциальная удельная активность ^{137}Cs в продукции кормопроизводства (на примере СХПК «Комсомолец»).

Таблица 1 – Потенциальная удельная активность ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции СХПК «Комсомолец» Новозыбковского района Брянской области в зависимости от уровня обеспеченности почвы обменным калием, Бк/кг (цветом отмечено превышение нормативных требований)

Культура	Содержание обменного калия, мг/кг почвы			
	Менее 80	81-140	141-200	Свыше 200
Дерново-подзолистая супесчаная				
З.м. (многолетние злаковые травы)	448	323	156	125
Кукуруза на силос	135	135	83	63
Сено (многолетние злаковые травы)	2086	1460	709	573
Дерново-подзолистая суглинистая				
З.м. (многолетние злаковые травы)	323	250	104	83
Кукуруза на силос	104	104	62	41
Сено (многолетние злаковые травы)	1460	1147	490	417
Дерново-подзолистая песчаная				
З.м. (многолетние злаковые травы)	677	573	219	208
Кукуруза на силос	135	73	73	52
Сено (многолетние злаковые травы)	3129	2711	1011	980

Данные по содержанию обменного калия в почвах исследуемого хозяйства позволили сформировать рекомендации по ведению кормопроизводства в СХПК «Комсомолец» (таблица 2). Представленные в рекомендациях агрохимические приемы отличаются высоким уровнем рентабельности дополнительных затрат на их применение – от 20 до 80%. Величина рентабельности зависит от индивидуальных хозяйственных показателей каждого сельскохозяйственного участка и является корректным экономическим критерием сравнения эффективности реабилитационных мероприятий.

Организация кормовой базы на радиоактивно загрязненных территориях определяет переход ^{137}Cs в продукцию животноводства. При выпасе коров на лугопастбищных угодьях с песчаным и супесчаным почвенным покровом, по консервативным оценкам с использованием максимальных коэффициентов перехода, содержание ^{137}Cs в получаемых молоке и мясе будет превышать нормативные требования в 2 и 4 раза. Включение в рацион питания КРС ФСП снизит удельную активность ^{137}Cs в продукции животноводства до уровней, предусмотренных действующими стандартами, при значениях рентабельности дополнительных затрат 60-90%.

Таблица 2 – Рекомендации по применению агрохимических приемов получения сельскохозяйственной продукции, соответствующей нормативным требованиям на различных типах почв

Культура	Содержание обменного калия, мг/кг почвы			
	Менее 80	81-140	141-200	Свыше 200
Дерново-подзолистая супесчаная				
З.м. (многолетние злаковые травы)	-	$\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90+}$ навоз 40 т/га	CaCO_3 3 т/га	$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$
Кукуруза на силос	$\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	-	-	-
Сено (многолетние злаковые травы)	$\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{240}$	$\text{N}_{60}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$	$\text{N}_{60}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$	$\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90+}$ CaCO_3 3 т/га
Дерново-подзолистая суглинистая				
З.м. (многолетние злаковые травы)	$\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90+}$ навоз 40 т/га	$\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$	$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	-
Кукуруза на силос	$\text{N}_{120}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	$\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	-	-

Культура	Содержание обменного калия, мг/кг почвы			
	Менее 80	81-140	141-200	Свыше 200
Сено (многолетние злаковые травы)	-	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + CaCO ₃ 3 т/га	-

Заключение. Таким образом, была разработана методология оптимизации применения реабилитационных мероприятий при ведении сельскохозяйственного производства на радиоактивно загрязненных территориях, основанная на многокритериальном анализе радиоэкологических, радиологических и экономических показателей эффективности, учитывающая нормативные требования к продукции, уровень загрязнения ¹³⁷Cs сельскохозяйственных угодий, свойств почв и особенностей производства. Создана база данных по стандартным и реабилитационным технологиям ведения растениеводства и кормопроизводства на радиоактивно загрязненных территориях, содержащая более 11 тыс. записей. Создана СППР по обоснованию технологий ведения растениеводства, кормопроизводства и животноводства на загрязненных ¹³⁷Cs территориях, учитывающая специфику сельскохозяйственных предприятий, с возможностью детализации оценки эффективности на уровне отдельного поля (участка) по характеристикам почвенного покрова и уровням загрязнения ¹³⁷Cs. С использованием разработанной СППР даны рекомендации по организации ведения растениеводства, кормопроизводства и животноводства в загрязненных ¹³⁷Cs хозяйствах Брянской области, учитывающие кратности снижения ¹³⁷Cs в сельскохозяйственной продукции и рентабельность дополнительных затрат при внедрении реабилитационных технологий.

Литература

1. Алексахин, Р.М. Реабилитационные мероприятия в агропромышленном комплексе как основа социально-экономического развития территорий, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС / Р.М. Алексахин, Н.И. Санжарова, А.В. Панов // Вестник РАСХН. – 2009. – № 6. – С. 28–30.
2. Санжарова, Н.И. Изменение радиационной обстановки в сельском хозяйстве после аварии на Чернобыльской АЭС / Н.И. Санжарова // Агрехимический Вестник. – 2010. – № 2. – С. 6–9.
3. Шубина, О.А. Краткий обзор результатов паспортизации сельскохозяйственных предприятий на территориях Брянской области, пострадавших после аварии на ЧАЭС / О.А. Шубина, И.Е. Титов, В.В. Кречетников, Е.И. Карпенко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 11 (42). – Ч. 3. – С. 99–103.
4. Прудников, П.В. Агрехимическое и агроэкологическое состояние почв Брянской области / П.В. Прудников, С.В. Карпеченко, А.А. Новиков [и др.] // Брянск: Изд-во ГУП «Клинцовская городская типография». – 2007. – 608 с.

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА ¹³⁷Cs И ⁹⁰Sr В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ КУЛЬТУРЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАДИОНУКЛИДАМИ

А.Г. Подоляк, С.А. Тагай, Т.В. Ласько, А.Ф. Карпенко

РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь, alexpodolyak@tut.by

Введение. После завершения первого периода полураспада основных чернобыльских радионуклидов – ¹³⁷Cs (T_{1/2}=30 лет) и ⁹⁰Sr (T_{1/2}=28,5 лет) [1], на территории радиоактивного загрязнения возникли вопросы использования в сельскохозяйственном

производстве ранее выведенных из оборота земель, которые в первую очередь характеризуются хорошим генетическим почвенным плодородием. Выявление особенностей биологической доступности радионуклидов на высокозагрязненных залежных землях при их возвращении в сельскохозяйственный оборот имеет прикладное значение для решения задач, связанных с прогнозированием и оценкой изменения доступности радионуклидов с течением времени, а также для выбора способов обработки почвы. Исследования особенностей биологической доступности радиоактивных веществ, которые формализованы через параметры перехода радионуклидов в сельскохозяйственные культуры на почвах отдельного региона, имеют особую значимость для прогноза уровней накопления радионуклидов растительной биомассой, произрастающей в этом регионе. В отдаленный постчернобыльский период такая задача применительно к реабилитации высокозагрязненных залежных земель стала актуальной и востребованной.

Накопление радионуклидов сельскохозяйственными культурами зависит от плотности загрязнения почвы радионуклидами, типа почвы, агрохимических свойств почв, длительности их неиспользования, биологических особенностей возделываемых культур. Поэтому при введении в оборот радиационно загрязненных и длительно не использующихся земель появилась необходимость в проведении исследований по изучению особенностей перехода радионуклидов из почвы в сельскохозяйственные культуры и разработки защитных мероприятий, обеспечивающих снижение уровней их накопления в конечной продукции.

Цель исследований заключалась в оценке параметров миграции радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr из дерново-подзолистой супесчаной почвы в сельскохозяйственные культуры зернотравяного и плодосменного севооборотов на экспериментальном участке в границах Полесского радиационного экологического заповедника.

Материалы и методы. Объектом изучения являлись сельскохозяйственные культуры, возделываемые на дерново-подзолистой супесчаной почве, загрязненной радионуклидами. Для исследований был подобран экспериментальный участок вблизи бывшего населенного пункта Рафалов Брагинского района Гомельской области, расположенного в 42 км от ЧАЭС. На данном опытном участке почва характеризовалась высокой плотностью загрязнения радионуклидами: ^{137}Cs – 993 кБк/м² (26,8 Ки/км²), ^{90}Sr – 91,2 кБк/м² (2,5 Ки/км²). Средние показатели агрохимических характеристик составляли: рН_{КС1} – 5,5; P₂O₅ – 143 мг/кг; K₂O – 217 мг/кг; CaO – 1008 мг/кг; MgO – 96 мг/кг почвы; гумус – 3,1%. Схемы опытов были разработаны на основании ранее проведенных исследований и отраслевых регламентов возделывания сельскохозяйственных культур (таблица 1). Общая площадь опытной делянки – 250 м², повторность – трехкратная. Исследования проводились в двух севооборотах (зернотравяном и плодосменном) с сельскохозяйственными культурами согласно схеме чередования по годам на двух фонах применения известковых удобрений (рекомендуемая доза доломитовой муки – 5 т/га и повышенная – 7,5 т/га) и двух фонах калийных (рекомендуемая доза калийных удобрений – K120 и повышенная – K180). Минеральные удобрения вносились в виде карбамида, суперфосфата аммонизированного, калия хлористого в соответствии со схемами экспериментов.

Таблица 1 – Схема полевых экспериментов

Годы	Культура	Варианты опыта		
		Фон 1 (контроль)	Фон 2 (доломитовая мука 5 т/га)	Фон 3 (доломитовая мука 7,5 т/га)
Плодосменный севооборот				
2012	Озимое тритикале (зерно)	Контроль		
		N90P90K120		
		N90P90K180		

2013	Озимый рапс (семена)	Контроль
		N90P90K120
		N90P90K180
2014	Яровая пшеница (зерно)	Контроль
		N90P90K120
		N90P90K180
Зернотравяной севооборот		
2011–2014	Многолетние бобово-злаковые травосмеси	Контроль
		N30P60K120
		N30P60K180

При возделывании многолетних трав в зернотравяном севообороте использовалась бобово-злаковая травосмесь (таблица 2).

Таблица 2 – Состав и норма высева многолетней бобово-злаковой травосмеси

Тип травостоя	Состав травосмеси	Норма высева, кг/га
Бобово-злаковый среднеспелый	Тимофеевка луговая (<i>Phleum pratense</i> L.)	6,0
	Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i> Huds.)	6,0
	Кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i> L.)	6,0
	Клевер гибридный (<i>Trifolium hybridum</i> L.)	4,0
	Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i> L.)	4,0
	Всего	26,0

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные в опытах значения коэффициентов перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr из почвы в сельскохозяйственные культуры показали, что их величина зависит как от системы применения удобрений, так и от биологических особенностей возделываемых культур. Диапазон значений коэффициентов перехода (Кп) ^{137}Cs и ^{90}Sr для культур плодосменного севооборота может существенным образом различаться, что видно из показателей таблицы 3.

Таблица 3 – Диапазон значений Кп ^{137}Cs и ^{90}Sr (Бк/кг:кБк/м²) для сельскохозяйственных культур плодосменного севооборота (K₂O 141–200 мг/кг почвы, рН 5,1 – 5,5)

Сельскохозяйственная культура	^{137}Cs	^{90}Sr
Зеленая масса озимого тритикале	0,03-0,13	2,8-4,6
Зерно озимого тритикале	0,01-0,03	0,3-0,6
Зеленая масса озимого рапса	0,08-0,16	1,7-4,2
Семена озимого рапса	0,01-0,03	1,9-3,3
Зерно яровой пшеницы	0,01-0,03	0,7-1,4

Применение защитных мероприятий на дерново-подзолистых супесчаных почвах при их вводе в оборот (совместное внесение известковых и минеральных удобрений) способствует снижению поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в возделываемые сельскохозяйственные культуры плодосменного севооборота. Минимальные Кп радионуклидов для сельскохозяйственных культур наблюдались при внесении минеральных удобрений в дозе N90P90K180 на фоне известкования (7,5 т/га). При внесении N90P90K180 происходило снижение показателей Кп ^{137}Cs , по сравнению с контрольным вариантом, для зеленой массы озимых тритикале и рапса – до 4 раз, ^{90}Sr – до 2,5 раз; для зерна (озимое тритикале, яровая пшеница), семян озимого рапса ^{137}Cs – до 3 раз, ^{90}Sr – до 2 раз. Полученные коэффициенты перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для злаковых зерновых культур на дерново-подзолистой супесчаной почве экспериментального участка не превышали показателей, ранее установленных и представленных в «Рекомендациях

по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы» [2] для группы почв с аналогичными агрохимическими характеристиками.

Установлено, что ежегодное внесение калийных удобрений в течение четырех лет под возделываемые культуры в системе севооборота позволяет не только снизить переход ^{137}Cs в растения, но и обеспечивает поддержание калия в почве на стабильном уровне. Без внесения удобрений содержание калия в почве за этот период снижалось на 20-30%.

Изучение параметров перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в сено многолетних бобово-злаковых травосмесей в течение трех лет в зерно-травяном севообороте показало, что в первый год пользования накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr травосмесями происходит интенсивнее, чем в последующие годы. Обеспечение питания бобово-злаковой травосмеси за счет ежегодного внесения минеральных удобрений в дозе N30P90K180 позволило во второй год жизни трав снизить величину параметров перехода ^{137}Cs в 1,3 раза, параметров перехода ^{90}Sr в 1,5 раза по сравнению с первым годом.

Установлено, что показатели Кп ^{137}Cs в звене почва: сено многолетних бобово-злаковых травосмесей, возделываемых на дерново-подзолистой супесчаной почве, значительно ниже: в три и более раз, по сравнению с аналогичными данными из Рекомендаций [2] для группы почв с содержанием обменного калия в диапазоне 141-200 мг/кг почвы. В отношении ^{90}Sr установлено, что в зернотравяном севообороте Кп не превысили аналогичные данные, имеющиеся в Рекомендациях для группы почв с рН 5,1 – 5,5, за исключением варианта без внесения удобрений.

Накопление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в многолетних травах зависело от укоса трав. Параметры перехода радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr для травостоя второго укоса были до 2,5 раз выше, чем для первого укоса. В связи с интенсивным ростом бобовых трав параметры перехода ^{90}Sr во второй год жизни трав были выше, чем в первый год. Это подтверждает выводы о том, что бобовые травы накапливают ^{90}Sr больше, чем злаковые травы. На третий год жизни травостоя частичное выпадение бобовой компоненты влияет, в свою очередь, и на снижение параметров перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для многолетних трав.

Заключение. По результатам многолетних исследований установлено, что параметры перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr для зерновых культур и многолетних бобово-злаковых трав, возделываемых на выведенных из оборота землях, представленных дерново-подзолистыми супесчаными высокоплодородными почвами, сопоставимы с параметрами, установленными ранее для данных культур, возделываемых на аналогичных почвах, которые находятся в сельскохозяйственном обороте.

При вводе данной категории земель в сельскохозяйственный оборот, как лимитирующий фактор использования продукции растениеводства, необходимо учитывать содержание в ней ^{90}Sr . В зерне и сене многолетних трав удельная активность этого радионуклида может превышать допустимые уровни содержания в сельскохозяйственном сырье и кормах, поэтому данную продукцию рекомендуется использовать только на фуражные цели при откорме крупного рогатого скота на мясо или для производства комбикормов при получении молока-сырья на переработку.

Литература

1. Алексахин, Р.М. Радиоактивное загрязнение почв как тип их деградации / Р.М. Алексахин // Почвоведение. – 2009. – № 12– С. 1487–1498.
2. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012-2016 годы. – Минск: Институт радиологии, 2012. – 121 с.

3. Подоляк, А.Г. Рекомендации по использованию возвращаемых в оборот загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель / А.Г. Подоляк [и др.] // РНИУП «Институт радиологии». – Минск, 2015. – 36 с.

ВЛИЯНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs МНОГОЛЕТНИМИ ТРАВАМИ

В.С. Филипенко, Е.Б. Евсеев

*Брестский филиал РНИУП «Институт радиологии», Пинск, Беларусь,
evsey89@mail.ru*

Введение. Исследованиями Брестского филиала РНИУП «Институт радиологии» установлено, что уровни грунтовых вод являются важнейшим фактором, позволяющим регулировать поступление радиоактивных веществ в сельскохозяйственную продукцию. Поэтому одной из наиболее значимых защитных мер в Полесском регионе, в котором преобладают сочетания аллювиальных дерновых и торфяно-болотных почв, подстилаемых песками, является регулирование водного режима. Оперативное управления положением уровней грунтовых вод позволяет существенно снизить содержание радионуклидов в травостое многолетних трав.

Однако, наряду с изучением водного режима почвы и расчетом оптимального в радиологическом и экономическом плане диапазона УГВ, представляют научный интерес вопросы влияния поверхностного затопления и подтопления различной длительности на продуктивность многолетних трав и их способность накапливать радионуклиды.

Материалы и методы. В ходе исследований были использованы материалы государственной инвентаризации мелиоративных систем, результаты полевых исследований на мелиоративных системах различного технического уровня. Методика комплексной радиационной оценки осушенных сельскохозяйственных угодий разработана в Брестском филиале РНИУП «Институт радиологии».

Результаты исследований и их обсуждение. В Лунинецком, Пинском и Столинском районах Брестской области осушено под сельскохозяйственное производство 211095 га. Из них 64428 га (30,5%) загрязнено ^{137}Cs свыше 1 Ки/км² (таблица 1). На загрязненной территории этих районов расположено 59 мелиоративных систем и 15 рекультивированных торфоучастков. Наряду с плотностью радиационного загрязнения земель на накопление радиоактивных изотопов цезия сельскохозяйственными культурами оказывает влияние комплекс других факторов. Свойства почвенного покрова, биологические особенности возделываемых культур, система использования минеральных удобрений и режим увлажнения. Под влиянием этих факторов накопление радионуклидов в продукции сельскохозяйственных угодий с одинаковой плотностью загрязнения может различаться в 100 и более раз. При этом содержание радионуклидов в продукции растениеводства на разных типах почв различается в 1,5-3 раз, отклонения водного режима от оптимальных параметров могут изменить этот показатель в 10-27 раз, а различные виды культур отличаются по накоплению ^{137}Cs до 180 раз при одинаковой плотности загрязнения почв.

Таблица 1– Загрязненность ^{137}Cs осушенных земель Брестской области

	Лунинецкий, га	Пинский, га	Столинский, га	Всего, га
Осушено всего	73603	87760	49732	211095
1-5 Ки/км ²	39104	6958	15268	61330
5-15 Ки/км ²	1413	902	783	3098

Поэтому характеристика радиационного состояния мелиоративных систем должна показать оценку степени радиационной опасности систем и определить, какие системы являются наиболее опасными. Посредством отнесения мелиоративных систем в критические группы можно установить, какие системы по своим техническим параметрам обеспечивают минимальное накопление радионуклидов в продукции.

Осушенные угодья, набравшие максимально возможное количество радиационных факторов, дают продукцию с превышением нормативных уровней по содержанию ^{137}Cs . Системы на таких угодьях и составляют критическую группу, подлежащую первоочередной реабилитации.

Всего в трех изученных районах выявлено 21 критическая система, т.е. примерно десятая часть всех осушительных систем, общей площадью свыше 56 тыс. га. Эти системы и определены для первоочередного проведения мероприятий по реконструкции и восстановлению (таблица 2).

Общими показателями для этих систем являются длительный срок службы (40-50 лет), низкий технический уровень, плохое мелиоративное состояние, низкая продуктивность и повышенная загрязненность продукции радионуклидами. В то же время большая часть (около 75%) осушенных сельскохозяйственных угодий в загрязненных районах может использоваться в сельскохозяйственном производстве без ограничений.

Таблица 2 – Критические мелиоративные системы Брестской области

Лунинецкий район		Столинский район		Пинский район	
Система	Площадь, га	Система	Площадь, га	Система	Площадь, га
Бобрик (летний польдер)	889	Бор-Дубенец	2310	Бобрик (летний польдер)	788
Бродница	228	Ворони	329	Домашицы	1855
Волчанская	17382	Знамя коммунизма и За Родину	3095	Завищанский	840
Зимник	183	Могильно	829	Козицкое	1227
Красная Воля	676	Морочно	5726	Местковичи	3250
Победа	456	Ольманы	1355	Ямно	795
Ракитно (летний польдер)	354				
Смолино	120				
Черebasовская	13381				

Результаты исследований показывают, что содержание ^{137}Cs в травянистых кормах, получаемых на переувлажненных участках критических осушительных систем, превышает, как правило, нормативные уровни как в зоне 5-15, так и в зоне 1-5 Ки/км². В то же время, в травах, выращенных на технически совершенных водооборотных мелиоративных системах, обеспечивающих оптимальный водный режим корнеобитаемого слоя, содержание радионуклидов значительно ниже и не превышает нормативный уровень. Обеспечив оптимальный режим увлажнения путем реконструкции критических в радиационном отношении осушительных систем, можно решить проблему получения чистых кормов на загрязненных сельскохозяйственных угодьях.

В процессе анализа полученных результатов установлена зависимость коэффициента перехода ^{137}Cs в сено многолетних трав от уровня грунтовых вод и определен диапазон УГВ, обеспечивающий минимальное накопление ^{137}Cs .

Полученная зависимость позволяет установить тенденцию изменения активности зеленой массы многолетних злаковых трав от изменения уровней грунтовых вод и установить диапазон УГВ (60-80 см), при котором наблюдается минимальное накопление ^{137}Cs .

Анализ результатов исследований показал, что основная масса корней трав расположена в 20-ти сантиметровом слое почвы. С понижением УГВ происходит перераспределение корневой системы по глубине. При уровне грунтовых вод 0,5-0,7 м в слое 0-0,2 м располагается до 93-85% корней, тогда как при УГВ 0,8-1 м только 77-65%.

При подъеме УГВ к поверхности, что происходит при переувлажнении, а затем и заболачивании почв, наблюдается увеличение перехода ^{137}Cs в травы. С понижением уровней грунтовых вод переход радионуклидов уменьшается.

Следовательно, переувлажнение корнеобитаемого слоя почвы, как на ранее осушенных землях, так и на пойменных лугах, в период весенних половодий и летне-осенних паводков, приводит к увеличению накопления радионуклидов зеленой массой трав.

Затопление травостоев после первого укоса снижало общий урожай. Он находился в пределах 62,5-74,1 ц/га, что несколько ниже по сравнению с опытом при естественном увлажнении. При затоплении создаются анаэробные условия, при которых приостанавливаются физиологические процессы в надземной части растений (фотосинтез, дыхание, рост), нарушается обмен веществ между надземными и подземными органами растений, вместе с тем, резко снижается поглотительная деятельность корневой системы растений, что в какой-то мере подавляет поступление ^{137}Cs в надземную часть из почвенного раствора через корни. После отвода воды с поверхности почвы уровень грунтовых вод падает, и с током воды происходит вертикальная миграция радионуклидов ^{137}Cs из верхнего почвенного слоя в нижележащие. В этот период у растений жизненные функции еще замедлены, и лишь при возобновлении вегетации происходит накопление ^{137}Cs в биомассе травосмесей.

Подтопление травостоев с УГВ 0-9 см на 5 суток также снижало продуктивность созданных травостоев по сравнению с опытом при естественном увлажнении. Она была на уровне 60,9-74,6 ц/га сухого вещества. В целом, содержание ^{137}Cs в сене травосмесей было значительно выше, чем в опытах при естественном увлажнении и затоплении на 30 см и варьировало в пределах от 956 до 1313 Бк/кг (РДУ для сена 1300 Бк/кг). При подтоплении вегетация растений не прекращается, а замедляется, однако концентрация радионуклидов в почвенном растворе увеличивается, следовательно, после отвода воды соответственно увеличивается вынос ^{137}Cs надземной массой растений, произрастающих в условиях избыточного увлажнения.

Материалы исследований, полученные на переувлажненных землях, показывают, что неудовлетворительное состояние мелиоративных систем может привести к высокому переходу радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию. Чтобы этого избежать, необходимо поддерживать оптимальный водно-воздушный режим почв путем регулирования уровней грунтовых вод.

Для создания оптимального водно-воздушного режима почв существуют различные мелиоративные системы. Наряду с осушительными и осушительно-увлажнительными мелиоративными системами в пойме р. Припяти и ее притоков широкое распространение получили польдерные системы, позволяющие независимо от погодных условий создавать и поддерживать на осушенных территориях требуемый водный режим.

Заключение. Оптимизация уровня грунтовых вод позволяет решать проблему Белорусского Полесья, связанную с повышением эффективности использования осушенных земель и с осуществлением комплекса защитных мер по снижению суммарных

доз облучения населения. Прогноз загрязнения растениеводческой продукции с учетом регулирования водного режима позволяет заблаговременно планировать набор культур для возделывания на загрязненных радионуклидами угодьях, определять размещение их по полям севооборота и отдельным участкам с учетом плотности загрязнения почвы, устанавливать различное использование получаемой продукции.

Полученные в экспериментальных исследованиях коэффициенты перехода позволяют оценить уровень загрязнения ^{137}Cs многолетних трав на переувлажненных и осушенных землях, представленных мелкозалежными торфяниками, при различных уровнях грунтовых вод.

Литература

1. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2003-2005 гг. / Под ред. И.М. Богдевича. – Минск. – 2003. – 72 с.

2. Комплексные рекомендации по эффективному использованию загрязненных радионуклидами осушенных земель / Под ред. Н.Н. Цыбулько. – Минск. – 2012. – 60 с.

3. Рекомендации по определению требуемого водного режима для минимизации накопления радионуклидов многолетними травами: Утв. Комчernoбыль / Брестский филиал РНИУП «Институт радиологии»; Под ред. А.С. Судаса. – Пинск. – 2004. – 32 с.

ВЛИЯНИЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs МНОГОЛЕТНИМИ БОБОВО-ЗЛАКОВЫМИ ТРАВАМИ НА ДЕГРАДИРОВАННОЙ ТОРФЯНО-МИНЕРАЛЬНОЙ ПОЧВЕ

Н.Н. Цыбулько¹, А.А. Зайцев², А.В. Шашко³

*¹Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС,
Минск, Беларусь*

²РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь

³Брестский филиал РНИУП «Институт радиологии», Пинск, Беларусь

Введение. Многочисленными исследованиями установлено, что генетические особенности почв оказывают существенное влияние на процессы сорбции радионуклидов и интенсивность перехода их в растения. В зависимости от свойств почв содержание обменной формы радионуклидов варьирует от 9 до 40% для ^{137}Cs и от 64 до 93% для ^{90}Sr [1].

На территории радиоактивного загрязнения в составе пахотных земель значительные площади занимают торфяно-болотные почвы, а также деградированные торфяные почвы, образовавшиеся в результате длительного использования и минерализации органического вещества торфяно-болотных почв. Органогенные почвы отличаются от минеральных более высокими параметрами поступления радионуклидов в растения и являются наиболее критичными для получения сельскохозяйственной продукции с допустимым содержанием радионуклидов.

Высокие показатели миграции радионуклидов в растения на этих почвах обусловлены особенностями их морфологического и генетического строения, водно-физическими и агрохимическими свойствами. Из-за повышенной адсорбционной способности органического вещества и емкости катионного обмена, низкого отрицательного поверхностного заряда этих почв значительное количество веществ, в том числе и радионуклидов, удерживается в доступных для растений формах. Ведущим механизмом взаимодей-

ствия радионуклидов с почвой является ионный обмен, а основную роль играют фульво- и гуминовые кислоты, находящиеся в почвенном растворе [2].

Применение калийных удобрений является основным агрохимическим приемом, снижающим поступление ^{137}Cs в сельскохозяйственные культуры. На почвах разного генезиса под влиянием калия поступление ^{137}Cs в растения может уменьшаться от 2 до 20 раз [3]. Положительная роль его возрастает на фоне оптимальных параметров минерального питания растений [4].

Снижение перехода радионуклидов в растения при внесении калийных удобрений существенно зависят от исходной обеспеченности почвы подвижным калием [5]. Установлено, что уровень содержания подвижного калия в почве, превышение которого не снижает накопление ^{137}Cs в полевых культурах, составляет 240-260 мг/кг почвы. Внесение высоких доз калийных удобрений (180-240 кг/га) на слабообеспеченных почвах (150 мг/кг почвы) снижает в 1,5-2,7 раза содержание ^{137}Cs . На почвах с повышенным и высоким (250-350 мг/кг почвы) содержанием подвижного калия внесение повышенных доз калийных удобрений малоэффективно [6].

Цель настоящей работы – изучить влияние возрастающих доз калийных удобрений на поступление ^{137}Cs в многолетние бобово-злаковые травы на деградированной торфяно-минеральной почве.

Материалы и методы. Исследования проводили в 2012–2014 годах в условиях стационарного полевого опыта на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области. Объектом исследования являлась деградированная торфяно-минеральная почва, подстилаемая с глубины 40-45 см песком, загрязненная ^{137}Cs с плотностью 161-189 кБк/м² (4,4-5,1 Ки/км²). Агрохимические показатели почвы (Ап): органическое вещество – 50-55%; общий азот – 1,1-1,5%; рН в КСl – 5,3-5,7; подвижные формы (в 0,2 М НСl) Р₂О₅ – 700-790 и К₂О – 620-800 мг/кг почвы.

Возделывали бобово-злаковую травосмесь, включающую тимофеевку луговую, овсяницу луговую, кострец безостый и лядвенец рогатый. Посев беспокровный. Технология возделывания соответствовала принятому отраслевому регламенту.

Схема опыта с применением удобрений под бобово-злаковые травы включала следующие варианты: 1. Контроль (без удобрений); 2. Р₉₀К₁₂₀; 3. Р₉₀К₁₈₀; 4. Р₉₀К₂₄₀. Фосфорные удобрения в полной дозе 90 кг/га действующего вещества вносили в ранневесенний период под первый укос трав. Калийные удобрения в варианте 2 в полной дозе 120 кг/га применяли под первый укос. В вариантах 3 и 4 калийные удобрения в дозах соответственно 180 и 240 кг/га вносили дробно. В варианте 3 К₁₂₀ под первый укос и К₆₀ под второй укос, в варианте 4 К₁₈₀ под первый укос и К₆₀ под второй укос.

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Общая площадь делянки 20 м², учетная площадь – 12 м². Повторность вариантов в опыте четырехкратная.

Агрохимические показатели почв определяли по следующим методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212-91 [7]; рН_(КСl) – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483-85 [8]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207-91 [9].

Определение удельной активности ^{137}Cs (Бк/кг) в почвенных пробах выполняли на γ - β -спектрометре МКС-АТ1315, в растительных образцах (сено) – на γ -спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard». Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs рассчитывали по методике [11]. Для количественной оценки поступления ^{137}Cs из почвы в растения рассчитывали коэффициент перехода (K_n) – отношение удельной активности радионуклида в растениях к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/кг : кБк/м²).

Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [12] с использованием стандартного компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0, Statistic 7.0*).

Результаты исследований и их обсуждение. Содержание ^{137}Cs в многолетних бобово-злаковых травах зависело от метеорологических условий вегетационных периодов, укосов и уровней применения калийных удобрений. Различия в накоплении радионуклида в сене между годами исследований на контроле (без применения удобрений) достигали в 3,6 раз, между укосами они составляли 1,7-8,6 раза в зависимости от года.

По годам исследований удельная активность ^{137}Cs в сене первого укоса на контрольном варианте колебалась от 29,8 до 40,5 Бк/кг. Применение в начале весеннего отрастания трав фосфорных и калийных удобрений в дозах соответственно 90 и 120 кг/га (варианты 2 и 3) снижало содержание ^{137}Cs в сене на 6,7-17,2 Бк/кг или на 20-42% в зависимости от года. Повышение дозы ранневесеннего внесения калия до 180 кг/га (вариант 4) также достоверно уменьшало удельную активность ^{137}Cs в сене (таблица 1).

Таблица 1 – Удельная активность ^{137}Cs в сене многолетних бобово-злаковых трав

Варианты опыта	2012 год		2013 год		2014 год	
	1-й укос	2-й укос	1-й укос	2-й укос	1-й укос	2-й укос
1. Контроль	40,5±12,4	71,4±21,4	36,4±10,7	123,5±37,5	29,8±8,9	256,5±76,9
2. P ₉₀ K ₁₂₀	23,3±10,1	42,6±12,8	29,1±8,5	87,3±26,1	23,1±6,9	167,3±46,2
3. P ₉₀ K ₁₈₀	23,1±9,8	37,6±11,5	29,9±8,7	63,4±19,0	22,8±6,2	99,8±29,9
4. P ₉₀ K ₂₄₀	12,7±5,5	27,0±8,0	17,2±5,5	59,5±17,8	17,6±5,2	60,6±18,2
НСР ₀₅						

Во все 3 года исследований травы второго укоса отличались более высоким накоплением ^{137}Cs по сравнению с первым укосом. Удельная активность его в сене на контроле колебалась по годам от 71,4 до 256,5 Бк/кг.

Применение в начале возобновления весенней вегетации трав P₉₀K₁₂₀ способствовало существенному снижению содержания радионуклида и в сене второго укоса трав. Внесение под второй укос 60 кг/га калийных удобрений на фонах P₉₀K₁₂₀ и P₉₀K₁₈₀ (варианты 3 и 4) обеспечило достоверное уменьшение удельной активности ^{137}Cs в сене по отношению к варианту 2, где в ранневесенний период применяли P₉₀K₁₂₀.

Следует отметить, что даже в годы с максимальными значениями удельной активности ^{137}Cs в сене, они не превышали 10-12% от норматива на сено при скармливании для производства цельного молока (1300 Бк/кг). В среднем за годы исследований на контроле содержание ^{137}Cs в сене первого укоса составило 35,6 Бк/кг, в сене второго укоса – 150,5 Бк/кг (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние фосфорных и калийных удобрений на содержание и коэффициенты перехода ^{137}Cs в сено (в среднем за 2012–2014 годы)

Варианты опыта	Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг	Относительное содержание ^{137}Cs , в % к РДУ	Значения коэффициентов перехода, Бк/кг: кБк/м ²	Значение Кп к контролю, %
Первый укос				
1. Контроль	35,6	3	0,22	-
2. P ₉₀ K ₁₂₀	25,2	2	0,17	77
3. P ₉₀ K ₁₈₀	25,3	2	0,17	77
4. P ₉₀ K ₂₄₀	15,8	1,5	0,10	46
Второй укос				
1. Контроль	150,5	12	0,95	-
2. P ₉₀ K ₁₂₀	99,1	8	0,63	66
3. P ₉₀ K ₁₈₀	66,9	5	0,43	45
4. P ₉₀ K ₂₄₀	49,0	4	0,32	34

Параметры перехода ^{137}Cs в сено многолетних бобово-злаковых трав изменялись по годам в зависимости от укоса и уровней применения минеральных удобрений в широких пределах – от 0,06 до 0,24 Бк/кг : кБк/м² для 1-го укоса и от 0,12 до 1,57 Бк/кг : кБк/м² для 2-го укоса.

В варианте без применения фосфорных и калийных удобрений коэффициенты перехода ^{137}Cs варьировали по годам в сене первого укоса от 0,21 до 0,24, в сене второго укоса – от 0,47 до 1,57 Бк/кг : кБк/м², а в среднем составили соответственно 0,22 и 0,95 Бк/кг : кБк/м². Фосфорные и калийные удобрения в дозах Р₉₀К₁₂₀ привели к уменьшению К_п на 23% в сене первого укоса и на 34% – в сене второго укоса.

Применение калийных удобрений в дозе 180 кг/га на фоне Р₉₀ обеспечило снижение К_п ^{137}Cs по отношению к контролю на 55% в сене второго укоса. При внесении Р₉₀К₂₄₀ также наблюдалось снижение коэффициента перехода радионуклида в растения, который составил в среднем для первого укоса 0,10, а для второго укоса – 0,32 Бк/кг : кБк/м².

Ведение сельскохозяйственного производства, согласно законодательству Республики Беларусь, разрешено на землях с плотностью загрязнения почв ^{137}Cs до 1480 кБк/м² (до 40 Ки/км²), ^{90}Sr – до 111 кБк/м² (до 3,0 Ки/км²). С целью оптимизации размещения сельскохозяйственных культур на загрязненных радионуклидами землях проводится оценка их радиологической пригодности на основе определения допустимой плотности загрязнения почвы ^{137}Cs или ^{90}Sr [13].

На основании полученных параметров перехода ^{137}Cs в сено многолетних бобово-злаковых трав, при разных дозах фосфорных и калийных удобрений как агрохимической защитной меры, определены допустимые плотности загрязнения почв (*ДПп*) для их возделывания с целью получения различных видов конечной продукции животноводства, отвечающей республиканским допустимым уровням (*РДУ*) и допустимым уровням, принятым в рамках Таможенного союза (*ДУ ТС*). Расчеты проводились по формуле:

$$ДПп = \frac{ДУ}{Кп * 37}, \quad (1)$$

где *ДПп* – допустимая плотность загрязнения почвы радионуклидом, Ки/км²;

ДУ – республиканский допустимый уровень или допустимый уровень в рамках Таможенного союза содержания радионуклида в продукции, Бк/кг, л;

Кп – коэффициент перехода радионуклида из почвы в растениеводческую продукцию, Бк/кг : кБк/м²;

37 – коэффициент пересчета нКи/кг в Бк/кг.

При прогнозе допустимой плотности загрязнения почв учитывалась определенная степень консервативности (прочности прогноза), предусматривающая изменения коэффициентов перехода радионуклидов в растениеводческую продукцию, связанные с особенностями гидротермических условий вегетационных периодов, колебания которых оцениваются в ±30%. В наших оценках допустимая плотность загрязнения почв ^{137}Cs , где возможно производство продукции изучаемых культур в пределах РДУ или ДУ ТС, принималась на уровне 70% от расчетной величины.

В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями (РДУ), для получения нормативно чистого цельного молока (< 100 Бк/л) и мяса (< 500 Бк/л) допустимый уровень ^{137}Cs в сене составляет 1300 Бк/кг, для получения нормативно чистого молока-сырья при переработке на масло – 1850 Бк/кг. Техническим регламентом (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции» в рамках Таможенного союза установлен более «жесткий» по сравнению с РДУ-99 норматив на содержание ^{137}Cs в мясе, который составляет 200 Бк/кг. Поэтому предельно допустимое содержание радио-

нуклида в сене для заключительной стадии откорма животных не должно превышать 500 Бк/кг.

Установлено, что на деградированной торфяно-минеральной почве с содержанием подвижных форм фосфора и калия соответственно 700-790 и 620-800 мг/кг почвы с применением минеральных удобрений многолетние бобово-злаковые травы можно возделывать без ограничений по плотности загрязнения ^{137}Cs для производства сена при использовании его для получения цельного молока, молока-сырья для переработки на масло и мяса в пределах республиканских допустимых уровней по содержанию радионуклида (таблица 3).

Таблица 3 – Допустимые плотности загрязнения почвы ^{137}Cs (Ки/км²) при возделывании многолетних трав на сено для получения разных видов конечной продукции животноводства

Варианты	Получение сена первого укоса			Получение сена второго укоса		
	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ТР ТС 500 Бк/кг	РДУ 1300 Бк/кг	РДУ 1850 Бк/кг	ТР ТС 500 Бк/кг
1. Контроль	40	40	29	38	40	14
2. P ₉₀ K ₁₂₀	40	40	40	40	40	24
3. P ₉₀ K ₁₈₀	40	40	40	40	40	29
4. P ₉₀ K ₂₄₀	40	40	40	40	40	34

Ограничения существуют в отношении размещения многолетних бобово-злаковых трав на деградированных торфяно-минеральных почвах при возделывании их на сено для скармливания на заключительной стадии откорма животных при производстве мяса с содержанием ^{137}Cs до 200 Бк/кг, определенным Техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС 021/2011) «О безопасности пищевой продукции». Так, при внесении под травы фосфорных и калийных удобрений в дозах P₉₀K₁₂₀ возделывать их возможно при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs до 24 Ки/км², а при дозах P₉₀K₂₄₀ – до 34 Ки/км².

Заключение. В зависимости от метеорологических условий вегетационного периода различия в накоплении ^{137}Cs многолетними бобово-злаковыми травами достигали 3,6 раза, между укосами они составили 1,7-8,6 раза в зависимости от года.

Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах P₉₀K₁₂₀ обеспечило снижение перехода ^{137}Cs в травы первого и второго укосов на 29-34%. Внесение под второй укос K₆₀ на фоне P₉₀K₁₂₀ также снижало переход ^{137}Cs в растения, а при применении под первый укос P₉₀K₁₈₀ и под второй укос K₆₀ достоверно уменьшало коэффициент перехода ^{137}Cs по отношению к варианту P₉₀K₁₈₀ только в травы первого укоса.

На деградированной торфяно-минеральной почве при применении под многолетние бобово-злаковые травы P₉₀K₁₂₀ можно возделывать их без ограничений по плотности загрязнения почв ^{137}Cs для производства сена при использовании его для получения цельного молока, молока-сырья для переработки на масло и мяса в пределах республиканских допустимых уровней по содержанию радионуклида. Ограничено плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs 24 Ки/км² при внесении фосфорных и калийных удобрений в дозах P₉₀K₁₂₀ и плотностью загрязнения 34 Ки/км² при внесении P₉₀K₂₄₀ размещение трав для производства сена и использования его на корм при производстве мяса с содержанием ^{137}Cs до 200 Бк/кг.

Литература

1. Сысоева, А.А. Экспериментальное исследование и моделирование процессов, определяющих подвижность ^{90}Sr и ^{137}Cs в системе почва–растение: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А.А. Сысоева // Обнинск: ВНИИСХРАЭ. – 2004. – 29 с.

2. Соколик, Г.А. Действие фульво- и гуминовых кислот на механизмы накопления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr растительными клетками / Г.А. Соколик // Радиоэкология торфяных почв: материалы Междунар. конф. // Санкт-Петербургский гос. аграр. ун-т. С-Пб. – 1994. – С. 23–24.

3. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад // Под ред. В.Е. Шевчука, В.Л. Гурачевского // Минск: Комитет по проблемам преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь. – 2006. – 112 с.

4. Алексахин, Р.М. Поведение ^{137}Cs в системе почва–растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае / Р.М. Алексахин, И.Т. Моисеев, Ф.А. Тихомиров // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 127–138.

5. Путятин, Ю.В. Влияние кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы и доз калийных удобрений на переход ^{137}Cs и ^{90}Sr в яровую пшеницу / Ю.В. Путятин, Т.М. Серая, О.М. Петрикевич // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. тр. Мн.: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2004. – Вып. 33. – С. 163–169.

6. Богдевич, И.М. Урожай и поступление радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственные культуры в зависимости от доз калийных удобрений / И.М. Богдевич // Почвенные исследования и применение удобрений: межвед. тематич. сб. Мн., Ин-т почвоведения и агрохимии, 2003. – Вып. 27. – С. 158–168.

7. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 1993.07.01. Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.

8. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. Введ. 07.01.86. Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.

9. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. Введ. 07.01.93. Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.

10. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107-84. Введ. 07.01.85. Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.

11. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания / И.М. Богдевич [и др.]; под ред. И.М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 48 с.

12. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). / Б.А. Доспехов // М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

13. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012-2016 годы. Мн., 2012. – 121 с.

КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ КОРМОВЫХ УГОДИЙ

В.Ф. Шаповалов, Е.В. Смольский

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Россия, sev_84@mail.ru

Введение. Авария на Чернобыльской АЭС привела к резкому увеличению содержания в природной среде искусственных радионуклидов, в том числе основного дозообразующего ^{137}Cs [1]. В настоящее время в Брянской области РФ площадь почв сельскохозяйственных угодий с плотностью загрязнения ^{137}Cs свыше 37 кБк/м² состав-

ляет 422,4 тыс. га, в том числе сенокосов и пастбищ – 150,7 тыс. га [2]. Производство продуктов питания с допустимой и более низкой концентрацией радионуклидов имеет приоритетное значение, поскольку в отдаленный период после аварии в формировании доз облучения преобладает составляющая внутреннего облучения за счет потребления загрязненной радионуклидами пищи [3].

Естественные кормовые угодья являются основным источником кормов для крупного рогатого скота подворья, а именно в них производится молоко с превышением допустимого содержания ^{137}Cs . Динамика снижения количества продукции с радиоактивным сверхнормативным загрязнением продолжает оставаться впечатляющей [4].

Материалы и методы. Эксперимент проводили в стационарном опыте в Новозыбковском районе Брянской области РФ в 2000–2014 гг. Почва опытного участка – аллювиальная дерново-оглеенная песчаная. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в результате чернобыльской катастрофы в период 2000–2008 года составила 1221–1554 кБк/м², в период 2009–2014 года – 559–867 кБк/м².

Агротехнические мероприятия предусматривали коренное улучшение посредством вспашки обычным плугом (ПН-3-35) с последующим посевом мятликовой травосмеси (типичной для данного региона). В качестве удобрений применяли: аммиачную селитру, суперфосфат простой гранулированный, хлористый калий.

Учет урожайности многолетних мятликовых трав проводили методом сплошной поделяночной уборки и отбора пробного снопа. Число проводимых укосов – два укоса в год (I укос 01.06.–10.06.; II укос 25.08.–01.09.).

Удельную активность ^{137}Cs в исследуемых растительных образцах определяли на комплексе универсальном спектрометрическом УКС «Гамма Плюс» (Россия), аппаратная ошибка измерений не превышала 30%.

Схема опыта представлена в таблице 1, повторность вариантов опыта трехкратная. Полученные данные подвергали дисперсионному и корреляционному анализу с использованием компьютерного программного обеспечения Excel 7.0 и Statistic 7.0.

Удельную активность молока и мяса рассчитывали через произведение суточного поступления корма (зеленая масса 50 кг), удельной активности корма и равновесного коэффициента перехода радионуклида в продукцию животноводства. [5].

Результаты исследований и их обсуждения. В условиях проводимого эксперимента урожайность зеленой массы сеяной мятликовой травосмеси при коренном улучшении без применения удобрений в зависимости от времени использования варьировала и составила для первого укоса от 5,8 до 6,5 т/га, второго – от 2,5 до 2,8 т/га. В промежутки времени с 2000 по 2014 гг. использовали две схемы внесения удобрений, которые отличались, как количеством внесения основных питательных веществ, так и соотношением между ними. Так, увеличение внесения фосфорно-калийных удобрений под первый укос в дозах от $\text{P}_{90}\text{K}_{60}$ до $\text{P}_{120}\text{K}_{90}$ вело к достоверному увеличению урожайности в 1,8 раза по сравнению с контролем, при этом достоверной разницы в урожайности от исследуемых доз не обнаружили. Аналогичную ситуацию обнаружили при возрастающем внесении удобрений в дозах от $\text{P}_{60}\text{K}_{45}$ до $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$. Внесение только возрастающих доз калийных удобрений под второй укос от K_{60} до K_{90} также приводило к достоверному увеличению урожайности в 3,0 раза по сравнению с контролем, снижение доз калийных удобрений от K_{60} до K_{45} статистически значимо не увеличивало урожайность.

Внесение калия K_{60} по фону азотно-фосфорных удобрений $\text{N}_{60}\text{P}_{90}$ достоверно увеличивало урожайность в 5,3 раза по сравнению с контролем и в 3 раза по сравнению с фосфорно-калийными удобрениями. Дальнейшее увеличение доз калийных удобрений до K_{120} вело к достоверному снижению урожайности. Применение возрастающих доз калия от K_{90} до K_{180} по фону азотно-фосфорных удобрений $\text{N}_{90}\text{P}_{120}$ приводило к до-

стоверному увеличению урожайности по сравнению с контролем и фосфорно-калийными удобрениями.

Внесение возрастающих доз калия от K₄₅ до K₇₅ по фону азотно-фосфорных удобрений N₄₅P₆₀ приводило к достоверному увеличению урожайности по сравнению с контролем в 3,6 раза и фосфорно-калийными удобрениями в 1,8 раза. При этом возрастающие дозы калийных удобрений статистически значимо не увеличивали урожайность. Аналогичную ситуацию выявили при возрастающих дозах калия от K₆₀ до K₉₀ по фону азотно-фосфорных удобрений N₆₀P₆₀.

Применение возрастающих доз калия от K₆₀ до K₉₀ по фону азотных удобрений N₆₀ приводило к достоверному увеличению урожайности по сравнению с контролем и калийными удобрениями. При этом возрастающие дозы калийных удобрений статистически значимо не увеличивали урожайность. Аналогичную ситуацию выявили при возрастающих дозах калия от K₉₀ до K₁₂₀ по фону азотных удобрений N₉₀, от K₄₅ до K₇₅ по фону азотных удобрений N₄₅, от K₆₀ до K₉₀ по фону азотных удобрений N₉₀.

При радиоактивном загрязнении территории важнейшим показателем качества получаемых кормов является их удельная активность. Введение ветеринарно-санитарных требований определяет необходимость проведения мероприятий в кормопроизводстве для получения зеленой массы трав с максимальным допустимым уровнем загрязнения ¹³⁷Cs кормов, который составляет 100 Бк/кг [6].

Таблица 1 – Радиоэкология применения минеральных удобрений при коренном улучшении естественных кормовых угодий

Вариант	Среднее за 2000–2008 год					Вариант	Среднее за 2009–2014 год						
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
<i>Первый укос</i>													
Контроль	5,8	942	471	1884	1999	Контроль	6,5	887	444	1774	1882		
P ₉₀ K ₆₀	10,3	92	46	184	195	P ₆₀ K ₄₅	13,3	126	63	252	267		
P ₁₂₀ K ₉₀	11,1	31	16	62	66	P ₆₀ K ₆₀	14,3	84	42	168	178		
N ₆₀ P ₉₀	K ₆₀	30,9	326	163	652	692	N ₄₅ P ₆₀	K ₄₅	23,6	273	137	546	579
	K ₉₀	24,6	87	44	174	185		K ₆₀	24,9	146	73	292	310
	K ₁₂₀	23,5	50	25	100	106		K ₇₅	27,9	96	48	192	204
N ₉₀ P ₁₂₀	K ₉₀	33,7	103	52	206	219	N ₆₀ P ₆₀	K ₆₀	28,1	121	61	242	257
	K ₁₃₅	29,1	37	19	74	78		K ₇₅	30,0	82	41	164	174
	K ₁₈₀	30,0	17	9	34	36		K ₉₀	31,7	58	29	116	123
HCP ₀₅	3,9	65	-	-	-	HCP ₀₅	6,2	108	-	-	-		
<i>Второй укос</i>													
Контроль	2,8	960	480	1920	2037	Контроль	2,5	807	404	1614	1712		
K ₆₀	8,3	108	54	216	229	K ₄₅	5,6	106	53	212	225		
K ₉₀	9,3	34	17	68	72	K ₆₀	6,5	89	45	178	189		
N ₆₀	K ₆₀	16,0	390	195	780	827	N ₄₅	K ₄₅	11,2	271	136	542	575
	K ₉₀	16,7	106	53	212	225		K ₆₀	11,8	164	82	328	348
	K ₁₂₀	17,5	58	29	116	123		K ₇₅	12,8	103	52	206	219
N ₉₀	K ₉₀	18,7	125	63	250	265	N ₆₀	K ₆₀	14,3	126	63	252	267
	K ₁₃₅	17,0	41	21	82	87		K ₇₅	15,0	83	42	166	176
	K ₁₈₀	16,8	19	10	38	40		K ₉₀	15,7	57	29	114	121
HCP ₀₅	2,4	66	-	-	-	HCP ₀₅	4,7	136	-	-	-		

Примечание: 1– урожайность, т/га; 2 – удельная активность корма, Бк/кг; 3 – удельная активность молока, Бк/кг; 4 – удельная активность мяса, Бк/кг; 5 – доза внутреннего облучения, мЗв/год.

При коренном улучшении без применения удобрений удельная активность зеленой массы травосмеси в зависимости от времени использования превышала допустимый уровень для первого укоса в 8,9-9,4 раза, второго – в 8,1-9,6 раза.

Внесение фосфорно-калийных удобрений под первый укос в дозах от $P_{90}K_{60}$ до $P_{120}K_{90}$ достоверно снижает превышение допустимого уровня. Однако при возрастающем внесении удобрений в дозах от $P_{60}K_{45}$ до $P_{60}K_{60}$ (данные исследований за 2009–2014 гг.) выявили достоверное снижение удельной активности корма, но только доза $P_{60}K_{60}$ позволяет получать корм, отвечающий требованиям норматива. Внесение только возрастающих доз калийных удобрений под второй укос от K_{60} до K_{90} и от K_{45} до K_{60} также достоверно снижает превышение допустимого уровня, но только доза K_{90} в исследованиях 2000–2008 гг. и K_{60} в исследованиях 2009–2014 гг. позволяет получать корм, отвечающий требованиям норматива.

Применение азотных удобрений как в составе фосфорно-калийных удобрений, так и калийных увеличивает удельную активность зеленой массы трав. Внесение возрастающих доз калийных удобрений позволяет снизить превышение допустимого уровня удельной активности корма. Так, использование калия в дозе K_{90} по фону $N_{60}P_{90}$, K_{135} по фону $N_{90}P_{120}$, K_{75} по фону $N_{45}P_{60}$ и $N_{60}P_{60}$, K_{120} по фону N_{60} , K_{135} по фону N_{90} , K_{75} по фону N_{60} позволяет гарантированно получать зеленый корм, отвечающий ветеринарно-санитарным требованиям.

Рассматривая переход ^{137}Cs из зеленой массы в продукцию животноводства, выявили, что для получения мяса, соответствующего требованиям СанПиН 2.3.2.1078-01 (160 Бк/кг) [7], необходимо применять калийные удобрения в дозе не менее K_{90} , фосфорно-калийные удобрения в дозе не менее $P_{120}K_{90}$, азотно-калийные удобрения в дозе не менее $N_{60}K_{90}$, полное минеральное удобрение в дозах не менее $N_{60}P_{90}K_{120}$, $N_{90}P_{120}K_{135}$ и $N_{60}P_{60}K_{90}$. При кормлении молочного скота для получения молока соответствующего качества (100 Бк/кг) рекомендуется на пастбищах применять минеральные удобрения в исследуемых дозах за исключением $N_{60}P_{90}K_{60}$, $N_{45}P_{90}K_{45}$, $N_{60}K_{60}$, $N_{45}K_{45}$.

Согласно нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009), суммарная доза внешнего и внутреннего (за счет поступления радионуклидов в организм) облучения населения не должна превышать 1000 мЗв/год [8]. В ситуациях, когда уровни облучения превышают допустимые, очень важно дать оценку структуры дозовой нагрузки, т.е. оценить вклад в общую нагрузку отдельных составляющих. В работе оценивали вклад молока и мяса при пастбищном выращивании скота. Также оценивали влияние минеральных удобрений на ограничение поступления ^{137}Cs по цепи почва–корм–продукция животноводства–человек. Доза внутреннего облучения от молока и мяса не превысит 1 мЗв/год только при использовании на корм скоту зеленой массы многолетних трав с использованием минеральных удобрений.

Заключение. Минеральные удобрения являются основным источником повышения продуктивности рассматриваемых агрофитоценозов – с увеличением внесения удобрений растет урожайность. При этом гарантированное получение кормов, соответствующих ветеринарно-санитарным требованиям, обеспечивалось увеличением доли калия в соотношении к азоту. Миграция ^{137}Cs из почвы в корма и далее по пищевой цепи ограничивается внесением минеральных удобрений.

Литература

1. Санжарова, Н.И. Изменение радиационной обстановки в сельском хозяйстве после аварии на Чернобыльской АЭС / Н.И. Санжарова // Агрехимический вестник. – 2010. – № 2. – С. 6–9.
2. Харкевич, Л.П. Реабилитации радиоактивно загрязненных сенокосов и пастбищ: монография / Л.П. Харкевич, И.Н. Белоус, Ю.А. Анишина. Брянск, 2011. – 211 с.
3. Аверин, В.С. Роль защитных мероприятий для снижения доз облучения населения и получения нормативно чистой сельскохозяйственной продукции / В.С. Аверин, А.Г. Подоляк // Белорусское сельское хозяйство. – 2010. – № 4 (96). – С. 18–22.

4. Белоус, Н.М. Социально-экономическое развитие районов Брянской области пострадавшей от чернобыльской катастрофы / Н.М. Белоус // Вестник Брянской ГСХА. – 2013. – № 4. – С. 41–48.

5. Фокин, А.Д. Сельскохозяйственная радиология / А.Д. Фокин, А.А. Лурье, С.П. Трошин. СПб.: Лань, 2011. – 416 с.

6. Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs . Ветеринарные правила и нормы. ВП 13.5.13/06-01 // Ветеринар. Патология. 2002. – № 4. – С. 44–45.

7. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: Минздрав РФ, 2002. – 164 с.

8. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СанПиН 2.6.1.2523-09 // Российская газета. Специальный выпуск. – 2009. – № 171/1 (приложение).

УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЯМИ ГРУНТОВЫХ ВОД – ЭФФЕКТИВНЫЙ ПРИЕМ СНИЖЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОРМОВ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ НА МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ ПОЛЕСЬЯ

Э.Н. Шкутов, Л.Н. Лученок

РУП «Институт мелиорации», Минск, Беларусь, 2778018@mail.ru

Введение. В настоящее время актуальным является вопрос возврата в сельскохозяйственный оборот мелиорированных земель в зонах отселения и отчуждения, на которых плотности загрязнения в результате естественных процессов распада радиоактивных элементов снизились до значений, приемлемых для ведения сельхозпроизводства. Однако на этих землях уровни загрязнения радионуклидами все еще таковы, что для получения нормативно чистой продукции необходимо использовать специальные мероприятия. В связи с длительным отчуждением этих земель мелиоративные системы, как правило, в настоящее время неработоспособны. Поэтому при возврате этих площадей в сельскохозяйственное использование встает вопрос о целесообразности дорогостоящего восстановления их работоспособности. Бесспорным аргументом в пользу необходимости инвестирования в восстановление мелиоративной сети и сооружений является более высокая продуктивность качественно осушенных площадей, а в некоторых случаях (например, на польдерных системах) и сама возможность ведения механизированного производства.

Также важным, а может и решающим доводом является высокая эффективность мелиорации как мероприятия по снижению загрязненности кормов. Результаты исследований влияния положения уровней грунтовых вод (УГВ) на величину выноса радионуклидов кормовыми культурами приведены в данной работе.

Материалы методы. Результаты и зависимости были получены в ходе полевых (на мелиоративных объектах Гомельской, Брестской, Могилевской и Минской областей) и лабораторных исследований, проводившихся РУП «Институт мелиорации» с 1987 по 2012 гг.

Результаты исследований и их обсуждение. Проведенные исследования позволяют сделать однозначное заключение о том, что глубина залегания УГВ является важнейшим сильнодействующим средством, определяющим поступление радионуклидов в сельскохозяйственную продукцию на мелиорированных землях.

В опытах с имитацией влияния различной глубины заправки загрязненного слоя, проведенных в почвенных колоннах, на разной глубине (0-20 см; 20-40 см; 40-60 см) были размещены слои (толщиной 20 см) загрязненного грунта. В течение вегетационного периода в колоннах поддерживались разные варианты УГВ. Установлено, что поступление ^{137}Cs в растениеводческую продукцию зависит от комплекса факторов: глубины залегания загрязненного горизонта и УГВ (рисунок 1-1).

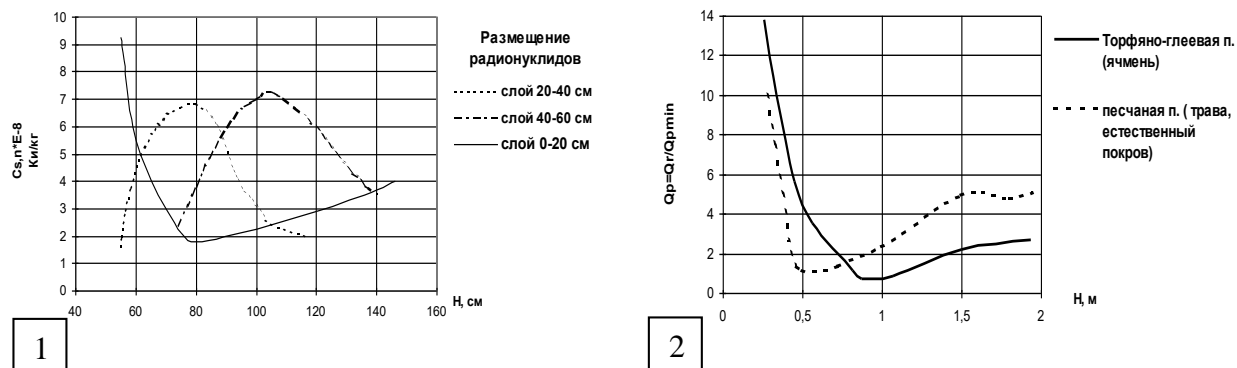


Рисунок 1. Поглощение ^{137}Cs растениями ячменя (1) и зависимость поглощения ^{137}Cs ячменем и травами (относительная величина) от УГВ из слоя 0-20 см (2)
 Q_p – коэффициент превышения выноса радионуклидов над минимальным

При размещении загрязненной почвы в верхнем слое и высоких УГВ растения вынуждены использовать для питания этот загрязненный слой, по мере расширения чистой зоны питания снижается поступление ^{137}Cs в растения. Наиболее чистая продукция получена при УГВ равном 80 см. Затем наступает некоторый рост удельной активности продукции за счет переосушения всего питательного слоя, растение снова использует для питания увлажняемый дождями загрязненный верхний слой. При размещении загрязненной ^{137}Cs почвы на глубине 20-40 см вначале, при высоких УГВ (50 см), удельная активность надземной массы мала, поскольку подтопленная корневая система вынуждена поглощать питательные вещества из верхнего, чистого слоя. Затем, по мере увеличения глубины УГВ, оптимизируется водный режим в загрязненном слое, и растение интенсивно поглощает питательные вещества и радионуклиды из него. Удельная активность ^{137}Cs в ячмене возрастает и достигает максимума при УГВ = 80 см. Затем, с ростом глубины УГВ, происходит снижение загрязненности, поскольку зона оптимального увлажнения перемещается ниже радиоактивного слоя и минимизируется при заглублении УГВ на 110 см (на 80 см ниже слоя с радионуклидами). Третий вариант, с размещением грязного слоя на глубине 40-60 см, повторяет вышеописанную динамику изменения удельной активности ^{137}Cs ячменя с поправкой на глубину размещения загрязненного слоя. Аналогичные результаты получены в полевых условиях (рисунок 1-2).

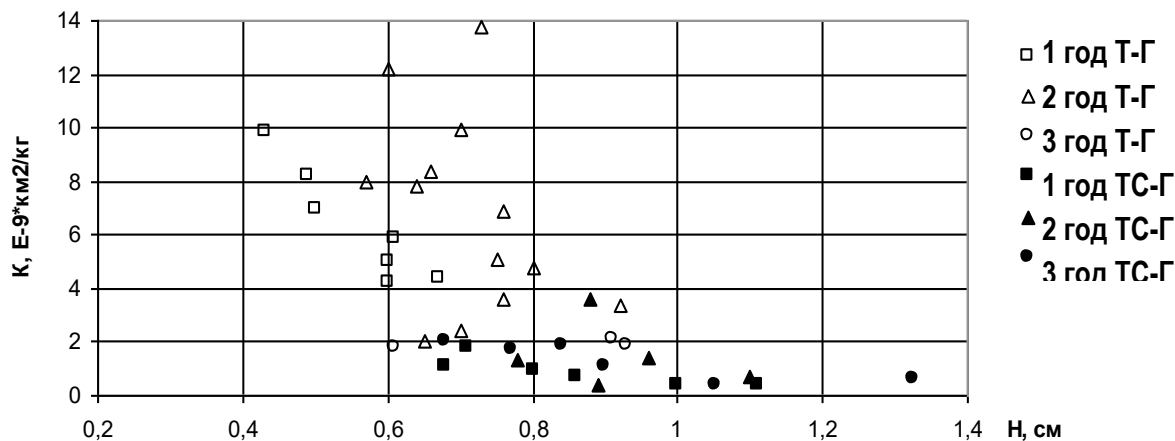
Аналогичные результаты получены и в опытах по влиянию содержания ОВ и УГВ на урожайность и удельную активность ^{137}Cs в зерне ярового ячменя и тритикале (таблица 1). При благоприятных почвенно-гидрологических условиях формируется более высокая урожайность зерна, однако даже при низких уровнях плотности загрязнения почвы отмечено увеличение удельной активности при снижении УГВ.

Проведенные на имитационных моделях численные эксперименты показали, что мероприятия по регулированию УГВ довольно эффективны в снижении удельной активности растениеводческой продукции.

Таблица 1 – Урожайность и удельная активность ^{137}Cs в зерне ярового тритикале и ячменя на реперных площадках в зависимости от высотных отметок

Координата реперного участка	Высотные отметки, м (номер)	Тип почвы	Урожайность, ц/га	Удельная активность ^{137}Cs в зерне, Бк/кг
<i>Яровой ячмень (н.п. Барсуково, эл. участки 617 и 618, 128-135 кБк/м² по ^{137}Cs)</i>				
N52°20,490' E27°07,632'	0 (УГВ 105-125 см)	дегроторфозем минеральный остаточно-торфяный (ОВ-20-5%)	59,6	1,9±0,4
	-0,085 (УГВ 105-125 см)		52,1	2,4±1,0
	+0,17 (УГВ 115-155 см)		34,0	2,4±0,8
	+0,31 (УГВ 135-165 см)		27,8	<2,2
<i>Яровое тритикале (№ эл. участок 891, 140-163 кБк/м² по ^{137}Cs)</i>				
N52°23,783' E27°09,064'	0 (УГВ 75-105 см)	дегроторфозем торфяно-минеральный (40-20,1% ОВ)	51,4	2,9±0,6
	+0,15 (УГВ 85-115 см)		51,3	4,5±1,0
	+0,26 (УГВ 100-125 см)	дегроторфозем минеральный остаточно-торфяный (ОВ-20-5%)	42,8	4,6±1,0
	+0,35 (УГВ 105-135 см)		35,6	2,9±1,0
	+0,40 (УГВ 115-145 см)		39,1	2,7±0,8

Например, на Черebasовской системе подъем УГВ всего на 20-30 см выше рекомендуемого диапазона приведет к увеличению средней загрязненности продукции в четыре раза. Отклонение на эту же величину в сторону понижения УГВ – в 1,85 раза. Эти результаты подтверждаются и полевыми данными (рисунок 2).



Т-Г – почва торфяно-глеевая; ТС-Г – почва торфянисто-глеевая

Рисунок 2. Зависимость относительного накопления радионуклидов в многолетних травах в зависимости от УГВ и типа почвы (Полесская опытная станция мелиоративного земледелия и луговодства, Черebasовская система)

В связи с тем, что загрязненные радионуклидами осушенные территории Белорусского Полесья обычно представляют собой почвенные комплексы, включающие, как торфяные (различных стадий трансформации), так и песчаные почвы, а также с учетом опыта эксплуатации опытных и производственных участков на таких землях, можно рекомендовать поддерживать УГВ на глубине 0,9÷1,2 м от средней отметки по-

ля, как наиболее безопасное, простое решение. В течение вегетационного периода УГВ должны плавно снижаться. Допускаются периодические подъемы УГВ до $0,3 \div 0,5$ м от поверхности при монокультуре многолетних трав. На польдерных системах, позволяющих проводить поверхностные затопления, допускается подъем УГВ в зимний и летне-осенний периоды только при сильном иссушении поверхностного слоя (при условии расположения радионуклидов в пахотном горизонте или ниже).

Исходя из полевых опытов, можно дать некоторые общие рекомендации, которые в большинстве случаев помогут уменьшить поступление радионуклидов в растениеводческую продукцию. Так, среднесезонные диапазоны УГВ (при увлажнении и осушении), при которых обеспечивается наименьшее накопление радионуклидов в кормовых культурах [1], могут быть следующими: на пахотных угодьях: ранневесенний период – $0,6 \div 0,9$ м; июнь – $0,8 \div 1,1$ м; начало июля – $1,0 \div 1,4$ м. На кормовых угодьях: ранневесенний период – $0,6 \div 0,9$ м; остальное время – $0,9 \div 1,0$ м. При этом меньшие из приведенных значений относятся к режиму осушения, большие – к увлажнению.

Заключение. Полученные данные показали, насколько важно управление УГВ и учет глубины размещения в почвенном профиле радионуклидов.

Гидромелиорация является самым действенным и долговременным фактором кардинального снижения удельной активности продукции на переувлажненных сельскохозяйственных угодьях, загрязненных выбросами ЧАЭС. Качественное управление уровнем режимом на загрязненных радионуклидами мелиоративных объектах является необходимым условием ведения на них хозяйственной деятельности.

Применение любых защитных мероприятий без учета водного режима может приводить к непредсказуемым результатам, вплоть до усиления поступления загрязнений в растениеводческую продукцию. Все зависит от сочетания факторов: расположения корневой системы и размещения слоя, из которого производится основной забор влаги и элементов минерального питания в погодных условиях рассматриваемого года.

Литература

1. Временное руководство по проектированию, строительству и эксплуатации мелиоративных систем на загрязненных радионуклидами землях. Минск: БелНИИМил, Белгипроводхоз, 1996. – С. 98

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬ, ВРЕМЕННО ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

О.А. Шубина, И.Е. Титов, В.В. Кречетников, Р.А. Микаилова

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ), Обнинск, Россия, olgashu76@gmail.com

Введение. В первый период после аварии на Чернобыльской АЭС, в результате реализации зонального принципа организации и ведения агропромышленного производства на загрязненных территориях, сельскохозяйственные угодья с высокими уровнями загрязнения (свыше 1480 кБк/м²) были выведены из землепользования. Такие территории в Украине и Республике Беларусь выделены в 30-км зоны ЧАЭС, а в Российской Федерации представлены территориями отдельных хозяйств или локальных участков различной площади в Брянской области. Всего было выведено из землеполь-

зования на территории Брянской области 17,1 тыс. га сельскохозяйственных угодий, в том числе сенокосов и пастбищ – 9,8 тыс. га, а пахотных земель – 7,3 тыс. га [1].

Сельскохозяйственные угодья в Брянской области выводились из землепользования поэтапно, начиная с 1987 года. Основные площади выведены из оборота по решению Брянского облисполкома № 414 от 18.09.1990 года, по поручению Совета Министров РСФСР от 8 августа 1990 г. № 17962-3. Решение базировалось на результатах крупномасштабного радиологического картографирования загрязненных территорий, выполненного Брянским Центром «Агрехимрадиология».

Всего в зону отчуждения вошли сельскохозяйственные угодья 23 хозяйств Гордеевского, Злынковского, Клинцовского, Красногорского и Новозыбковского районов Брянской области. Выведенные из оборота земли сельскохозяйственного назначения переведены в государственный запас.

Материалы и методы. В 2007 г. проведено детальное радиологическое и агрохимическое обследование выведенных из оборота земель. Для выполнения работ за основу были взяты картосхемы 1991 г. внутрихозяйственного землеустройства масштаба 1:10000. На основании проведенного обследования создана информационная база данных по радиоэкологическим, агрономическим, культуртехническим и хозяйственным характеристикам временно выведенных земель. База данных содержит более 6 тысяч записей.

В 2014–2015 годах в рамках работ по обеспечению реализации Программы совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на период до 2016 года было проведено радиологическое обследование дополнительно 2076 га отчужденных сельскохозяйственных земель. На основании информации, полученной в результате измерений проб почв, отобранных на временно выведенных из оборота сельскохозяйственных угодьях, был создан и заполнен «Электронный реестр земель, выведенных из землепользования в результате аварии на ЧАЭС».

Результаты исследований и их обсуждение. Сельскохозяйственные угодья, временно выведенные из землепользования в юго-западных районах Брянской области, характеризуются неоднородностью по плотности загрязнения, разнообразием почвенного покрова, варьированием агрохимических характеристик почв. Особенностью формирования зоны отчуждения в Брянской области является ее территориальная раздробленность.

Почвенный покров сельскохозяйственных угодий, выведенных из землепользования, в основном представлен дерново-подзолистыми, дерново-глеевыми, болотными перегнойно-торфяными и пойменными аллювиально-слоистыми почвами. Почвы характеризуются низким содержанием гумуса (0,5-2,5%) и питательных веществ (содержание подвижного фосфора 3,8-20 и калия 3,5-12,4 мг/100 г почвы), кислой реакции почвенного раствора (рН 4,2-5), невысокой степенью насыщенности основаниями (31-69%). Отмеченные свойства обуславливают относительно низкую фиксацию ¹³⁷Cs, что приводит к его высокой подвижности в почве и в системе почва-растение [2].

Отчуждение сельскохозяйственных угодий привело к проявлению следующих последствий: снижение почвенного плодородия (увеличение кислотности почв, уменьшение запаса питательных элементов и т.п.); закустаривание полей; изменение продуктивности сенокосов и пастбищ; зарастание сорной растительностью и восстановление естественной растительности на залежах; заболачивание сельскохозяйственных угодий при деформации и повреждении мелиоративных систем; возможность появления очагов размножения возбудителей болезней растений и вредных насекомых. Анализ современного состояния временно выведенных из оборота сельскохозяйственных земель

показал, что пашня составляет 21%, сенокосы и пастбища – 41%, залежь – 32% и лес – 6% (рисунок 1).

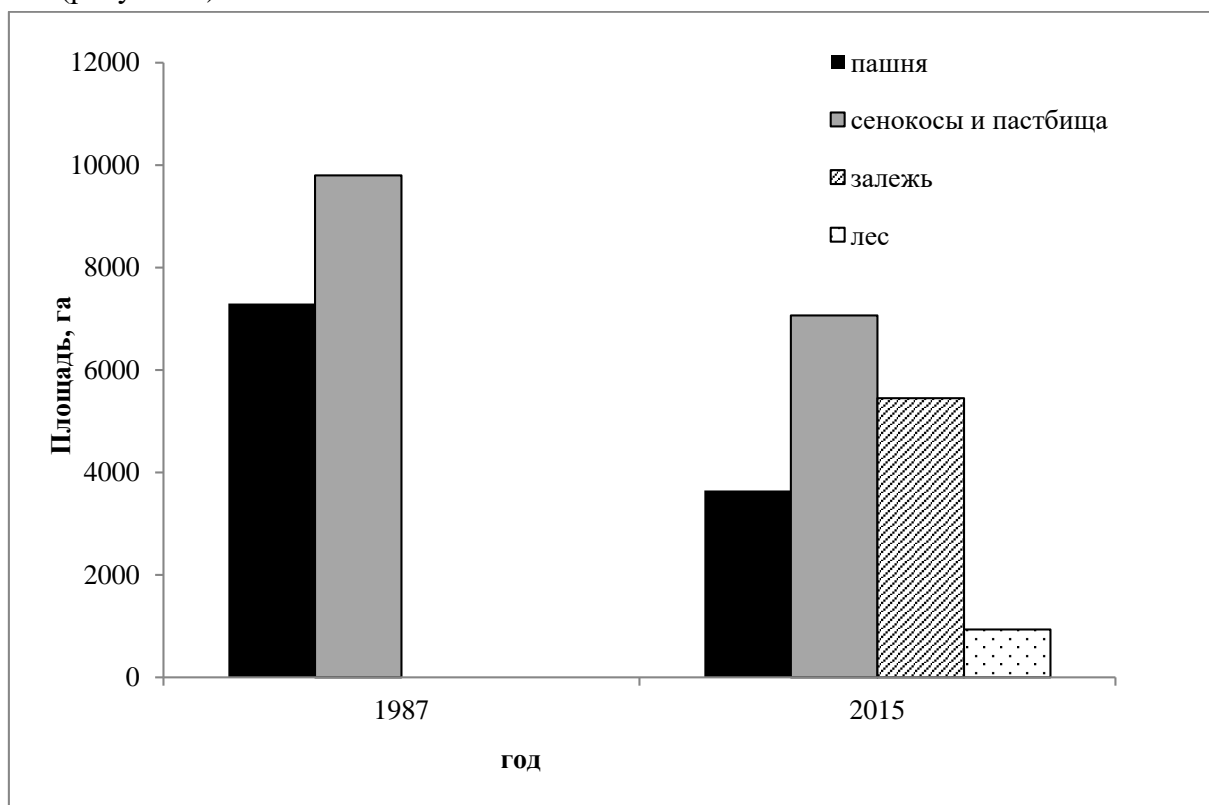


Рисунок 1. Распределение выведенных из оборота земель по типам землепользования

Данные последнего тура радиологического обследования позволили оценить распределение по плотности загрязнения ^{137}Cs земель, выведенных из сельскохозяйственного оборота (таблица 1). На 2015 год площади земель с плотностью загрязнения по ^{137}Cs свыше 1480 кБк/м² сократились и составляют в Гордеевском районе 9%, в Злынковском – 3,4%, в Красногорском – 46,3%, в Новозыбковском – 6,1% от ранее выведенных из оборота земель. Общая площадь сельскохозяйственных угодий с плотностью загрязнения ^{137}Cs свыше 1480 кБк/м² в настоящее время составляет 20,7% от площади выведенных из землепользования земель, то есть 3,5 тыс. га. Остальные земли по радиологическому критерию (плотность загрязнения) могут быть возвращены в хозяйственное использование.

Таблица 1 – Распределение выведенных из оборота земель по плотности загрязнения ^{137}Cs в 2015 году

Район	Площадь обследования, га	Распределение по уровням загрязнения ^{137}Cs , га			
		37-185 кБк/м ²	185-555 кБк/м ²	555-1480 кБк/м ²	>1480 кБк/м ²
Новозыбковский	5859	70	1484	3945	360
Красногорский	6287	0	393	2986	2908
Гордеевский	2731	74	1032	1379	246
Клинцовский	1209	12	409	788	0
Злынковский	1014	27	39	914	34
Всего	17100	183	3357	10012	3548

Прогноз показывает, что общая площадь сельскохозяйственных угодий с плотностью загрязнения ^{137}Cs свыше 1480 кБк/м^2 к 2035 сократится в 7 раз и составит 509 га, а к 2060 году все выведенные из оборота земли будут иметь плотность загрязнения ниже 1480 кБк/м^2 .

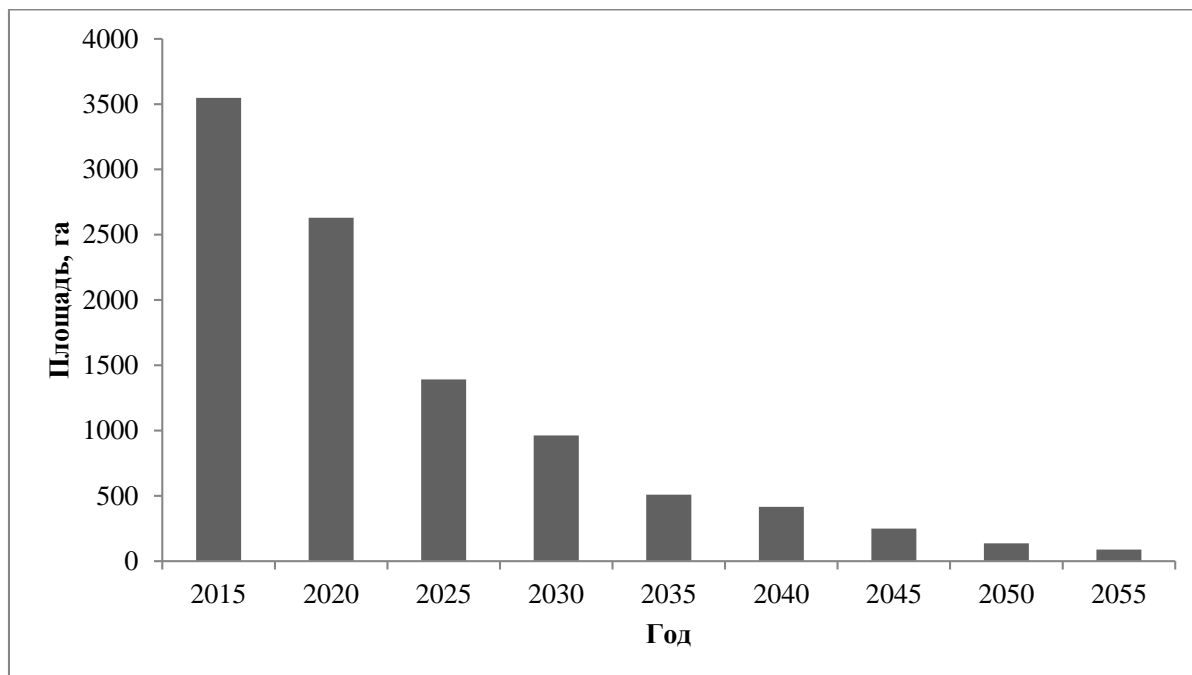


Рисунок 2. Прогноз изменения площадей выведенных из оборота земель с плотностью загрязнения ^{137}Cs свыше 1480 кБк/м^2

Заключение. В настоящее время сложилась ситуация, когда около 80% выведенных из оборота земель могут быть возвращены в хозяйственное использование. Для решения этой проблемы необходимо решить несколько задач: разработать научные основы реабилитации выведенных земель; усовершенствовать методическую базу обследования отчужденных земель для целей их реабилитации и возвращения в оборот; разработать систему контроля радиологической безопасности проведения работ по возвращению выведенных из оборота земель и их дальнейшего хозяйственного использования; подготовить индивидуальные технические проекты реабилитации выведенных их оборота земельных участков; разработать нормативно-правовое обеспечение и процедуру возвращения выведенных из оборота земель в хозяйственное использование.

Хозяйственное использование возвращаемых в землепользование территорий может происходить по различным направлениям: лесопользование – применяется при высокой степени залесения территорий, когда возвращение отчужденных угодий в сельскохозяйственное использование по экономическим и хозяйственным критериям не оправдано; сельскохозяйственное использование – применяется, когда гарантировано производство сельскохозяйственной продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам; другие виды землепользования – размещение предприятий энергетики, промышленности и транспорта и т.п., применяется в случае, когда гарантировано не превышение дозовых нормативов облучения работников. Перспективными направлениями хозяйственного использования отчужденных земель, частично возвращенных в хозяйственную деятельность, являются создание заповедников и заказников, выпас и производство кормов для молодняка скота, коневодство, выращивание саженцев плодовых деревьев, семеноводство, добыча полезных ископаемых и т.д.

Литература

1. Воробьев, Г.Т. Радиоактивное загрязнение почв Брянской области / Г.Т. Воробьев, Д.Е. Гучанов, З.Н. Маркина [и др.] // Брянск: Грани. – 1994. – 177 с.
2. Санжарова, Н.И. Радиологическая оценка земель, временно выведенных из оборота в результате аварии на Чернобыльской АЭС, и научное обеспечение их возвращения в хозяйственное использование / Н.И. Санжарова, О.А. Шубина, П.В. Прудников, А.А. Новиков, И.Е. Титов // Агрэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота: Материалы Всероссийской научной конференции. – Москва, 2008.

ABSTRACTS

INFLUENCE OF INCREASING RATES OF MINERAL FERTILIZERS ON ACCUMULATION OF ^{90}Sr AND ^{137}Cs IN HARVESTS OF VARIOUS AGRICULTURAL CROPS IN AZERBAIJAN AFTER THE ChNPP ACCIDENT

M.A. Abdullayev¹, T.A. Kholina²

¹ *Institute of Radiation Problems of NAS of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan*

² *Baku State University, Baku, Azerbaijan, tatyana_xolina@mail.ru*

Abstract. In the present study we examined the effect of mineral fertilizers (as optimal and high standards) for admission of ^{90}Sr and ^{137}Cs in the harvests of various crops. As a result of field experiments on gray-brown soils of Absheron pilot area of Azerbaijan Research Institute of Agriculture, it was found that due to application of increasing rates of mineral fertilizers ^{90}Sr concentrations were decreased in winter wheat grains by 10.5–8.0 cBq/kg (24.0–41.1 %), winter barley 23.8–67.7 cBq/kg (18.3–47.8 %), peas 65.9–98.4 cBq/kg (36.0–53.8 %) and soybeans 57.5–112.0 cBq/kg (30.6–59.7 %). ^{137}Cs concentrations in winter wheat grains were decreased by 6.1–9.5 cBq/kg (40.1–62.5 %), winter barley 8.3–14.2 cBq/kg (33.2–56.8 %), peas 7.3–12.1 cBq/kg (32.5–53.8 %) and soybeans 6.7–16.6 cBq/kg (22.0–54.1 %). Reducing the concentration of ^{90}Sr and ^{137}Cs in plants under the influence of mineral fertilizers could be the result of "dilution" of radionuclides in increasing phytomass, reducing the availability of radionuclides to the root of assimilation due to reduced mobility of ^{90}Sr and ^{137}Cs , or change in the balance of available forms for plant radionuclides in the soil.

RISK OF PRODUCING RADIOACTIVELY CONTAMINATED AGRICULTURAL PRODUCTS IN THE SOUTHWEST OF BRYANSK REGION

N.M. Belous, S.F. Chesalin, I.N. Belous

FSBEI HE Bryansk SAU, Bryansk region, Russia, bgsha@bgsha.com

Abstract. The risk of receiving some agricultural production not corresponding to the standard for ^{137}Cs contents was analyzed in the southwest of the Bryansk region during the period from 2010 to 2014. In this research, the annual monitoring results of Bryansk interregional veterinary laboratory have been used. In a general view, the risk represented production share with radionuclide concentrations above the standard limits. The analysis of collected data has revealed significant disperse of ^{137}Cs contamination levels in products in the long term period after the ChNPP accident in each of considered areas. The maximum risk of 37.7 % milk exceeding the permissible level was found in the farms of Gordeevsky district, then in decreasing order it was observed in Klinty, Krasnogorsk, Novozybkovsky, Zlynkovsky districts of Bryansk region. When managing private farm holdings on the territories of radioactive contamination, the risk of producing milk above the standard values increases. The maximum risk increase of 46 % was found in Gordeevsky district. Apparently, it was due to a very poor level of knowledge of the local population about the efficiency of protective measures. The maximum risk of producing forage with the exceeding levels of contamination

was also revealed in Gordeevsky district. It should be noted that critical forages included herbage and hay. Despite the recovery actions implemented in radioactively contaminated territories, the situation in southwest Bryansk region still remains critical as to dairy farm and grassland management. It is especially true to the private sector production where 9 to 46 % of the total milk amount exceeds permissible levels of radionuclide concentrations. In this regard, dose burden due to milk consumption in the area increases to 432 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ at the standard of 1 000 $\mu\text{Sv}/\text{y}$. In general, the submitted data proves of the need to maintain rehabilitation measures not only on farm lands, but in settlements as well.

DINAMICS AND EFFICIENCY OF REMEDIAL ACTIONS ON CONTAMINATED LANDS OF BELARUS AFTER CHERNOBYL ACCIDENT

I.M. Bogdevitch. Y.V. Putyatin

*Research Institute for Soil Science and Agrochemistry, Minsk, Belarus,
brissa5@mail.belpak.by*

Abstract. The paper gives an overview of scales and efficiency of remedial actions conducted on contaminated lands of Belarus within 30-year period after the Chernobyl accident. The remedial actions, particularly liming, differential use of K and P fertilizers, radical improvement of grassland in combination with other protective measures and natural sorption and fixation of ^{137}Cs in soils, enabled a 20–22 times transfer reduction of ^{137}Cs , however only 4 times reduction of ^{90}Sr transfer to agricultural products. Fertility of contaminated soils has been improved to guarantee the production of foodstuff within permissible levels of radionuclides. Current and future needs for remediation, including consideration of profitable land use and soil fertility improvement in the course of affected areas rehabilitation are discussed.

DEVELOPING DISTANT CONSULTATION SYSTEM TO BE USED WITH THE RESIDENTS OF CONTAMINATED AREAS

N.Y. Borisevich, E.I. Boskina

"Belarusian Branch of Russian-Belarusian Information Center on the Problems of the Consequences of the Catastrophe at Chernobyl NPP" Branch of the Research Institute of Radiology of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus, info@rbic.by

Abstract. The article gives the results of the distant consultation online-system developed in accordance with the Union State Program of Joint Efforts on Overcoming the Consequences of the Chernobyl Disaster for the period up to 2016. This system enables performing real-time informative web-events on radiological topics.

Implementation of joint informative events where students had a chance to measure radiation background took place in Bryansk region (more than 100 pupils from schools of Novozybkov district) and Gomel region (about 60 pupils from schools of Gomel and Kalinkovichi). The Internet-event was then followed by a conjoint Internet-seminar organized to discuss the results of radiation background measurements between its participants and invited

Russian and Belarusian experts. The Joint Distant Consultation Software was successfully tested and implemented through a real-time video conference network of 47 Belarusian information centers joining in for the online session.

Based on the software bank of radiological knowledge and telecommunication tools, a newly developed consultation technique was tested in the Innovation Centre of the MES Engineering Institute's Lyceum in Gomel which included demonstration of an educational video on Radiation Safety followed by quizzes chosen based on the age group of participants.

OPTIMISATION OF LEACHING RADIONUCLIDES, HEAVY AND RARE METALS FROM SOILS AND WASTE OF MOUNTAIN-TECHNOLOGICAL MANUFACTURES

G.P. Brovka, I.N. Dorozhok

Institute for Nature Management, Minsk, Belarus, brovka_gp@tut.by

Abstract. Technologies of leaching are hang-the-expense technologies demanding the large expenses of chemical reagent, water, thermal and electric energy on the subsequent centrifugation. Therefore, there is a necessity to preliminary reveal and define optimum parameters of leaching by means of mathematical modeling.

Possibility of optimizing the leaching of radionuclides, heavy and rare metals from soils and waste of mountain-technological manufactures by means of solutions is analyzed. It is shown that at the expense of a choice of optimum receptions and parameters it is possible to essentially reduce the quantity of leaching solutions and to increase concentration of taken elements in them.

In particular by optimization it is revealed that at repeated leaching by solution, providing factor of distribution radionuclide in pore solution K_{dp} , quantity of one portion leaching of a solution should correspond to hydromodule W_p , defined as: $W_p = 0.764 K_{dp}$. For multistage leaching the optimum hydromodule is numerically equal to factor of distribution K_{dp} . The quantity of radionuclide in a material after pass of all N steps leaching will be reduced in 2N time. It is established that the most perspective way of extraction is exchange in countercurrents of leaching solution and a processed material. Analytical dependences for calculation of optimum parameters of leaching are received.

CONTAMINATION OF AGRICULTURAL LANDS WITH ^{90}Sr AS A RESULT OF USING ASH AS FERTILIZER

C.N. Bouzdalkin, E.K. Nilova

Research Institute of Radiology, Gomel, Belarus, buzdalkin@tut.by

Abstract. The ash from fuel wood is not recommended to be used for the purposes of fertilization due to existing uncertainty in the estimates of soil contamination with ^{90}Sr .

HOW PEDAGOGUES SEE CONSEQUENCES OF THE CATASTROPHE AT CHERNOBYL NPP AND REHABILITATION OF THE AFFECTED TERRITORIES

E.I. Goranskaya, N.V. Astyukevich

"Belarusian Branch of Russian-Belarusian Information Center on the Problems of the Consequences of the Catastrophe at Chernobyl NPP" Branch of the Research Institute of Radiology of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus, goranskaya@rbic.by, astsiukevich@rbic.by

Abstract. Even thirty years after the catastrophe at the Chernobyl NPP, people of the Republic of Belarus are still concerned about the problems regarding the overcoming of catastrophe consequences. Information work on Chernobyl subject is an essential part of reviving policy and the policy of sustainable development of the affected territories. The work is provided at all levels. Educational institutions (especially of the affected territories) also implement a range of activities on this topic, pedagogues give their students required information on the consequences of the catastrophe at the Chernobyl NPP. This article demonstrates the analysis of the research results. The research itself was directed to define the information level concerning the Chernobyl subject and specific features of radiation danger perception. Pedagogues working at educational institutions of the most affected territories have participated in the research. During the research, it was revealed that the respondents take the current Chernobyl situation properly. Their information level on the Chernobyl subject is satisfactory in a way that facilitates a good information work with children and youth.

INNOVATIVE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL ENTERPRISES IN RADIONUCLIDE-AFFECTED AREAS OF BREST REGION

O.V. Yegorova

Brest Branch of Research Institute of Radiology (RIR-BB), Pinsk, Belarus, olga.83@tut.by

Abstract. The paper briefly describes the structure and development indicators of farm enterprises located in contaminated areas of Brest region, Belarus, and discusses the role of new approaches towards sustainable economic development of the local agricultural production sector via implementation of targeted innovative projects in the affected areas.

SOCIAL, ECONOMIC AND PSYCHOLOGICAL CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL DISASTER IN THE REPUBLIC OF BELARUS

R.G. Ilyazov

Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia, R230@mail.ru

Abstract. The Chernobyl NPP accident, recognized as the largest-scale technogenic radiation disaster of XX century, had resulted in radionuclide contamination of 23 % territo-

ries, caused severe environmental, radiological, biomedical, social, economic and psychological consequences, affected lives and destinies of many millions people becoming a nationwide catastrophe. The aftermath caused the national budget to allocate 22.3 % total expenditures on Chernobyl recovery in 1991 (in 2002 the share was reduced to 6.1 %). Total economic damage to the Republic of Belarus was estimated 235 billion USD.

PHILOSOPHICAL LESSONS OF THE CHERNOBYL DISASTER

R.G. Ilyazov

Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia, R230@mail.ru

Abstract. One of the major lessons of Chernobyl is an extremely dangerous underestimate of the significance of social factors which in reality play a key role in the event of radioactive contamination of territories of any size. Effectiveness of scientific recovery measures in the aftermath of a radiation emergency can be reached only upon condition where there exist reliance and credibility towards the authorities and consistency of information policy.

RADIOECOLOGICAL AND RADIOBIOLOGICAL CONSEQUENCES IN ANIMAL FARMING AFTER THE CHERNOBYL DISASTER AND THEIR OVERCOMING IN THE REPUBLIC OF BELARUS

**R.G. Ilyazov¹, V.S. Averin², A.V. Gulakov², A.A. Tsarenok³, A.G. Gvozdik³,
A.F. Karpenko³, A.V. Naumchik³, L.P. Zakharova³, L.I. Gubanova³,
V.V. Tochilina³, P.N. Tsygvintsev⁴**

¹ *Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia*

² *Gomel State University n.a. Fr. Skoryna, Gomel, Belarus*

³ *Research Institute of Radiology, Gomel, Belarus*

⁴ *Research Institute of Agricultural Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia*

Abstract. The main aspects in dealing with the long term radioecological problems in animal farming were those related in the first place to sanitary and hygiene issues, and the measures developed to combat them were focused on reducing contents of radionuclides in animal products. Ultimately, implementation of protective measures throughout the post-Chernobyl period together with natural decay and soil fixation processes resulted in 8–10 times reduction of ¹³⁷Cs transfer to agricultural products. However, certain problems still exist in the most contaminated areas of Gomel region, where based on the results of regular measurement campaigns there are cases of exceeding levels of ⁹⁰Sr concentrations in milk produced in farm enterprises and private backyards.

USE OF "BELORUSSIT" BRINE FOR FEEDING LIVESTOCK AND POULTRY AND ITS EFFECTS ON LIVELWEIGHT GAIN AND MIGRATION OF RADIONUCLIDES

A.F. Karpenko, A.G. Podolyak

Research Institute of Radiology (RIR), Gomel, Belarus

Abstract. The paper discusses the results of research focused on studying application of "BELORUSSIT" natural brine in the function of mineral additive for livestock animals and poultry with a potential ability to improve liveweight gains and reduce transfer factors of radionuclides.

¹³⁷Cs AND ⁹⁰Sr TRANSFER FACTORS IN VARIOUS POTATO CULTIVARS

L.I. Kozlova

Research Institute of Radiology, Gomel, Belarus, office@rir.by

Abstract. The article shows differences between transfer factors of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr depending on soil type and potato cultivars. The influence of soil-climatic conditions on yield of potatoes is also discussed.

APPLICABILITY OF ELECTROSTATIC COLLECTION METHOD FOR REMOVAL DAUGHTER DECAY PRODUCTS OF RADON AND THORON FROM INDOOR AIR

D.V. Kolesnikov¹, I.V. Kravchenko²

¹*Secondary school No. 40, Gomel, Belarus, chem@chem.by*

²*Belmedprepataty company, Minsk, Belarus, ivan@chem.by*

Abstract. To measure the concentration of radon electrostatic accumulation is frequently used. In this work, the electrostatic accumulation is first used to purify the air from radon. Currently, the only one way to decrease the concentration of radon in the air would be to use ventilation. The possibility of an alternative method of air cleaning from radon can be used.

For the purposes of research, a filter radiometer has been developed. The device consists of two parts. The first unit is a high-voltage electrostatic filter controlled by the second unit. Accumulation carried on the negative electrode made by activated carbon. The positive electrode is grounded. The second unit of control-measurement made on the basis of gas-discharge sensor SBM-20. The measuring part is based on Atmega8 microcontroller. Data is stored on the SD card.

The experiment was carried out clean-up of radon in the room of 59 m³, wall material is silicate bricks, floor and ceiling of reinforced concrete, with no ventilation. Air temperature +26 °C, 45 % relative humidity. During measuring (8 hours) the experiment was conducted under constant conditions. The electrode was placed in the middle of the room. On the elec-

trode potential was -5000 volts. The experiment consisted of four consecutive measurements on the electrode-trap. Potential -5000 volts was placed in the center of the room, at 1 meter height. 4 separate measurements that followed one after the one with a short break to change the activated carbon electrode (2 hours duration each dimension).

After the first experiment, the number of events decreased 1.61 times, after the second - at 1.42 and after the third – 1.39.

This means that some of the radon from the air spaces eliminated after each measurement, affecting the following. That is, it was possible to reduce the concentration of the daughter decay products (DDP) tripled. However, the initial concentration of radon and DDP itself has not been installed, so the quantitative reduction of the background to state at the moment it is impossible. The authors have planned further researches to clarify the optimal conditions and quantitative value of reduce the background level.

ON THE PROBLEM OF BEEF PRODUCTION AND ITS COMPLIANCE WITH THE CUSTOMS UNION FOOD SAFETY REGULATIONS FOR ^{137}Cs CONCENTRATIONS

E.V. Kopyltsova, E.N. Tsurankov

Research Institute of Radiology (RIR), Gomel, Belarus, kev81@tut.by

Abstract. The objective of research was to make risk assessment and analyze the risks of producing beef and beef products that may potentially be above food safety standards as set in the Customs Union Technical Regulations TR CU 021/2011, according to which the acceptable level of ^{137}Cs concentration in beef, i.e. 200 Bq/kg, is more stiffened when compared to 500 Bq/kg established by the national regulations.

Based on the actual data, predictive estimates of ^{137}Cs contamination levels and risk analysis, there were identified 31 agricultural enterprises in 12 districts of Gomel region where beef compliance problems would be likely to occur in case the TR CU 021/2011 standards were in force. Suggested ways of resolving such compliance problems included the use of advanced feed rations for beef cattle with a more specific choice of forages that form the feeding essentials.

The results of research will be used as a scientific basis for providing food safety and competitive growth of beef production in Gomel region.

DEACTIVATION OF FISH POPULATION OF CLOSED LAKE RESERVOIR

A.V. Kudelsky¹, J.T. Smith², V.I. Pashkevich¹, S.V. Ovsianikova³

¹*Institute for Nature Management of NAS of Belarus, Minsk, Belarus, kudelsky@nature.basnet.by*

²*University of Portsmouth, UK, jim.smith@port.ac.uk*

³*Belarusian State University, Minsk, Belarus, svetlanaosv@mail.ru*

Abstract. The results of the first in the world practice natural radioecological experiment on deactivation of the fish population in closed lake by means of addition of potassium

chloride into the water body have been represented. The closed Svyatoye Lake is situated in the territory with contamination level of ^{137}Cs more than $1\,500\text{ kBq/m}^2$. The area of water surface of Svyatoye Lake is 0.25 km^2 , maximum depth – $(5.2 \pm 0.5)\text{ m}$, volume of water mass – $(717\,950 \pm 125\,000)\text{ m}^3$ taking into account the season variation of water level in the lake. In 1997, directly before experiment with addition of potassium chloride, the mean activity concentration of ^{137}Cs in water body of Svyatoye Lake was approximately 4.0 Bq/l , concentration of potassium $[\text{K}_w^+]$ was about 1.0 mg/l and activity concentration of ^{137}Cs in fish varied from 8.4 to 117 kBq/kg of dry mass. From measurements in the lake, it was estimated that there was approximately 375 GBq of ^{137}Cs in bottom sediments. After addition of potassium chloride into the water body, the concentration of potassium $[\text{K}_w^+]$ in the lake water increased to 10.0 mg/l . As a consequence, in the 26–82 months, there was a decline of activity concentration of ^{137}Cs in fish on 53–82 % in comparison with initial level of radiocaesium including natural radioactive decay and on 32–67 % without natural decontamination by radioactive decay. It was established that in the lake ecosystem with internal source of radiocaesium (the bottom sediments), contamination of fish population was mainly controlled by relation between concentrations of $^{137}\text{Cs}^+$ and K^+ in water body ($A^{137}\text{Cs}_w/[\text{K}_w^+]$).

DIFFERENT SYSTEMS OF AGROCHEMICAL MEASURES INFLUENCE ON THE ACCUMULATION OF ^{137}Cs IN AGRICULTURAL CROPS

V.K. Kuznetsov¹, V.P. Grunskaya², N.V. Andreeva¹

¹ *Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia, rirae70@gmail.com*

² *The Tula Agricultural Institute, Plavsk, Russia*

Abstract. The effects of different systems of agrochemical measures on the accumulation of ^{137}Cs in agricultural crops were studied. The reduction of ^{137}Cs accumulation in the yield of agricultural crops is determined by agrochemical activities. The intensive use of agrochemical measures in the period from 1992 to 2010, lowers the transition of ^{137}Cs into plants 3.1 times. The cultivation of crops without fertilizers increases the ^{137}Cs transfer to crops from leached chernozem 1.2 times.

RATIONAL USE OF MEADOWS ON CONTAMINATED PEAT SOILS

T.V. Lasko

Research Institute of Radiology, Gomel, Belarus, office@rir.by

Abstract. The article presents the results of stationary field research held in the period from 2011 to 2014. Optimum variants of cultivation were selected based on the following factors: the yield level, components of herbage mixed with other perennial grasses, the level of radionuclide uptake. The study established that the highest yields with the lowest ^{137}Cs and ^{90}Sr uptake were observed in non-nitrogenous conditions with $\text{P}_{60}\text{K}_{180}$ applied as background fertilization. It is also worth mentioning that nitrogen fertilizers should be applied during the first years of plant life and must not exceed 30 kg/ha .

UPTAKE OF ^{137}Cs AND ^{90}Sr BY PERENNIAL CEREAL GRASSES DEPENDING ON GRANULOMETRIC COMPOSITION OF SOD-PODZOLIC SOILS

Z. Lozovaya

Research Institute of Radiology, Gomel, Belarus, office@rir.by

Abstract. The first time in mineral soils of Gomel region, differentiated by variety, the peculiarities of distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr on soil fractions of different dispersity. The influence of grain size, namely the content of clay in the degree of desorption of radionuclides in soil-to-plant food chain.

OPTIMIZATION OF SPRING WHEAT MINERAL NUTRITION ON ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED PEAT SOILS POLLUTED WITH ^{137}Cs

L.N. Luchanok

Institute for Land Reclamation, Minsk, Belarus, l_luchenok@mail.ru

Abstract. The laws of ^{137}Cs intake in the spring wheat grains in soil-to-plant system were established. Soil of study was antropogenically transformed peat with organic matter content of 55–60 %. Prediction model of specific activity ^{137}Cs in grain has an appearance: $a_{137\text{Cs}} = 62.431 \cdot \text{CN:K}^2 - 36.1 \cdot \text{CN:K} + 7.3761$, where: $a_{137\text{Cs}}$ – specific activity, Bq kg^{-1} ; CN:K – relationship content of nitrogen to potassium (sum of mobile forms in soil and fertilizer, mg kg^{-1} of soil). The minimum ^{137}Cs content in grain is provided at the total content of nitrogen within 125–200 kg ha^{-1} , potassium – 550–700 kg ha^{-1} and N:K ratio – 0.25–0.35, crop yield – 4.4–4.5 t ha^{-1} .

RISK ASSESSMENT FOR COMPLIANCE OF BEEF PRODUCED IN MOGILYOV REGION OF BELARUS WITH THE ACCEPTABLE LEVELS OF ^{137}Cs UNDER TECHNICAL REGULATIONS OF THE CUSTOMS UNION

O.A. Miarzlova¹, E.V. Kopyltsova², T.N. Ageeva¹

¹*Mogilyov Branch of the Research Institute of Radiology (RIR-MB), Mogilyov, Belarus,
o-merzlova@yandex.ru*

²*Research Institute of Radiology (RIR), Gomel, Belarus*

Abstract. Export of meat and meat products derived from beef cattle and produced in the areas of radioactive contamination is subject to mandatory compliance with food safety requirements established by the Technical Regulations of the Customs Union (TR CU 021/2011). According to these regulations, the acceptable level of cesium-137 in beef is 2.5 times more rigorous than the level set by the national standards. For this objective, based on the results of agrochemical and radiological examination of soils and taking into account the typical beef cattle rations, the forecast was made to estimate ^{137}Cs concentrations in feeds,

feed rations and end products in the area. Risk assessment was focused on estimating beef production in various farm enterprises above the set level for acceptable ^{137}Cs concentrations in meat and meat products, based on which a special risk list was compiled to include 15 agricultural enterprises where such risks were revealed. According to the results, the risk of beef production above 200 Bq/kg in those farming areas was estimated to be in the range of 55–99 % and considered as “high”. This proves the importance of developing specific measures of risk reduction to be implemented in these distinguished farm enterprises.

EFFICIENCY OF RADIATION PROTECTION MEASURES OF POPULATION IN MOGILEV REGION

O.A. Miarzlova, T.V. Malinouskaya

*Mogilyov Branch of the Research Institute of Radiology (RIR-MB), Mogilyov, Belarus,
o-merzlova@yandex.ru*

Abstract. Radiation protection and targeted application of protective measures is the basic direction of the State Post-Chernobyl Recovery Program. The article gives the analysis of radiation protection measures implemented in 2011–2015 in Mogilev region and estimates their efficiency. The main achievement in this direction is sustainable production of agricultural products with a minimum content of radionuclides.

CONTENTS IN SOIL AND ACCUMULATION IN PRODUCTION OF ^{90}Sr AND ^{137}Cs FROM GLOBAL FALLOUTS IN THE TERRITORY OF BELARUS

A.F. Mirontchik

Mogilev State University of Food Technology, Mogilev, Belarus

Abstract. The information on accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr by the basic agricultural products in territory of reference facilities of the Mogilev region in the period before failure on the Chernobyl's atomic power station is given. The available data are submitted in comparison with results of supervision behind the contents ^{137}Cs and ^{90}Sr in articles of food received in territory of the Gomel and Brest regions (of Byelorussian Polesie).

THE AFTEREFFECT OF DEACTIVATION MEASURES ON REDUCING SOIL AND VEGETATION RADIOACTIVE CONTAMINATION

R.A. Nenashev, Y.D. Marchenko

Polesye State Radiation Ecological Reserve, Khoyniki, Belarus, rm@tut.by

Abstract. The paper focuses on evaluating the aftereffect of three agrotechnical methods applied to reduce mineral soil and gramineous grass stand radioactive contamination.

Studies were carried out at an experimental ground located on the territory of high radioactive contamination density, 10 km from the Chernobyl NPP. The following deactivation measures were implemented in this ground in 1999: triple soil digging, simple (single) digging, 30 cm soil layer removal. It has been established that the deactivation measures implemented 16 years before retain the necessary level of efficiency in decreasing soil radioactive pollution and ^{137}Cs and ^{90}Sr transition into plants. In 2015 vegetation contamination with ^{137}Cs and ^{90}Sr at the ground, where simple digging had been applied, was by 80 and 9 times lower compared to control figures. At the ground where triple digging had been applied ^{137}Cs and ^{90}Sr concentration reduction order against the control amounted to 40 and 32 times respectively. The most significant reduction of ^{137}Cs and ^{90}Sr concentrations in plants was achieved by upper soil layer removal (by 119 and 278 times respectively). With the existing radioactive contamination levels on the adjacent territories, yearly radionuclides transition onto the deactivated grounds via air masses amounts to only 0,4–4 kBq/m² for ^{137}Cs , and 0.08–0.8 kBq/m² for ^{90}Sr , therefore it cannot be considered a significant secondary pollution source. Following the 2015 study aimed at tracing ^{137}Cs and ^{90}Sr vertical distribution in soil at the grounds after single and triple digging, showed that ^{90}Sr concentration in the upper 5 cm layer increases as a result of plants carry-over. Yet ^{137}Cs distribution remains more or less even. Coefficient dynamics analyses of ^{137}Cs and ^{90}Sr transition from soil into grass stand shows that a considerable decrease of radionuclides transition from soil into grass stand took place at the experimental grounds with the course of time. However ^{90}Sr mobility in soil and its accessibility for plants in the reference area increases with time.

RADIOLOGICAL CONSEQUENCES FOR AGRICULTURE IN THE RUSSIAN FEDERATION CONTAMINATED REGIONS IN DIFFERENT PERIODS AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT

N. Sanzharova, A. Panov, O. Shubina, N. Isamov

*Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia,
natsan2004@mail.ru*

Abstract. Dynamics of radiation situation in agriculture on the Russian Federation areas affected by the Chernobyl accident is presented. A set of challenging problems on rehabilitation of territories was determined. During all period of after the accident, the use of countermeasures was the main factor that reduced the accumulation of ^{137}Cs in agricultural products. The improvement of a radiation situation and the implementation of rehabilitation measures to ensure the production of products conforming to the hygienic standards. The need for the use of rehabilitation measures saved only on the part of the territory with high contamination levels in the Bryansk region. The main objective at long-term period after the accident is stage wise return of affected areas to normal activity without any radiological criteria restrictions. The Russian Federation has positive experience of transition of areas contaminated by reason of the Chernobyl accident to normal activity.

INFLUENCE OF INCREASING RATES OF NITROGEN AND POTASSIUM FERTILIZERS APPLIED ON DIFFERENT LEVELS OF CATTLE MANURE APPLICATION ON ^{137}Cs ACCUMULATION WITH GREEN MASS CORN CULTIVATED ON SOD-PODZOLIC LOAMY SAND SOIL

N.V. Sidoreiko, Yu.V. Putyatin

*Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry, Minsk, Belarus,
sidoreiko_natalia@mail.ru*

Abstract. The influence of increasing rates of nitrogen and potassium fertilizers applied on different levels of cattle manure application on ^{137}Cs accumulation with the green mass corn was studied. A field experiment was carried out at the experimental farm «Strelichevo» (Khoyniki area, Gomel region, Belarus). The monitoring soil was sod-podzolic loamy sand soil contaminated with ^{137}Cs after the Chernobyl accident. The density of ^{137}Cs contamination of the field plots was $219.2 \pm 27.0 \text{ kBq m}^{-2}$. The scheme of the field experiment included variants of increasing rates of nitrogen ($\text{N}_{0-90-120-150}$) and potassium ($\text{K}_{0-60-120-180}$) fertilizers and differentiated levels of cattle manure (0, 40 and 80 t ha^{-1}). The results of experiment showed that use of increasing rates of potassium fertilizer ($\text{K}_{60-120-180}$) decrease the specific activity of ^{137}Cs up to 1,7; 1,9; 2,1 times. The use of complex application of increasing doses of potassium fertilizer and the cattle manure decrease the specific activity of ^{137}Cs by 42.9–75.2 % compared with the plot without application of mineral fertilizers and cattle manure.

OPTIMIZATION OF REHABILITATION MEASURES APPLICATION ON THE RADIOACTIVELY CONTAMINATED AGRICULTURAL TERRITORIES

N.A. Sotnikova

Russian Institute of Radiology and Agroecology, Obninsk, Russia, biology07@rambler.ru

Abstract. The methodology of optimization of agricultural production on radioactively contaminated territories in the remote period after the Chernobyl accident, including radioecological, radiological and economic criteria for evaluating the effectiveness of rehabilitation measures is presented. A database of standard and rehabilitation technologies for crop and fodder production on radioactively contaminated territories was developed. A decision support system on substantiation and integrated assessment of efficiency of methods of crop and fodder production and livestock on areas contaminated with ^{137}Cs in consideration of particularity of agricultural enterprises was designed. Results of the analysis of the current radioecological situation and assessment of the necessity of rehabilitation measures implementation in agricultural production on the test farms of Bryansk region are presented. The substantiation of a complex of effective agrochemical methods allowing to decrease the content of ^{137}Cs in agricultural products produced in the most radioactively contaminated agricultural lands of South-Western districts of Bryansk region on different soil types and in a wide range of contamination densities to levels specified by regulatory requirements is given.

^{137}Cs AND ^{90}Sr TRANSFER FROM LOAMY SAND SOD-PODZOLIC SOILS WITH HIGH DENSITIES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION TO FARM CROPS

A.G. Podolyak, S.A. Tagai, T.V. Lasko, A.F. Karpenko

Research Institute of Radiology (RIR), Gomel, Belarus, office@rir.by

Abstract. The article examines the results of experiments implemented on the lands that had been kept excluded from farm management due to high densities of radioactive contamination, with the objective to study parameters of ^{137}Cs and ^{90}Sr migration from loamy sand sod-podzolic soil to crops of combined grain-grass and regular crop-shift rotations. It clearly demonstrates the significance of the chosen research tasks in the context of long-term post-Chernobyl recovery of highly contaminated fallow lands. Introducing this category of lands back to farm operation for the purposes of crop production would require an important limiting factor of ^{90}Sr concentration levels to be taken into account.

INFLUENCE OF SOIL WATER REGIMES ON ACCUMULATION OF ^{137}Cs IN PERENNIAL GRASSES

V.S. Philipenko, E.B. Yevseev

Brest Branch of Research Institute of Radiology, Pinsk, Belarus, evsey89@mail.ru

Abstract. Total ameliorated area in Luninets, Pinsk and Stolin districts of Brest region make up 211 095 hectares. 30.5 % of these lands (64 428 hectares) have been affected by ^{137}Cs contamination above 1 Ci/km². 59 reclamation systems and 15 plots of recultivated peat land are located within these districts' boundaries. Alongside with studying water regimes of soils and determining the most favourable range of groundwater levels, both from radiological and economic points of view, academic interest was focused also on the issues related to the effects of surface flooding and water logging of various time lengths.

INFLUENCE OF POTASSIUM FERTILIZERS ON ACCUMULATION OF ^{137}Cs IN PERENNIAL GRASS-LEGUME MIXTURES ON DEGRADED MINERAL PEAT SOILS

N.N. Tsybulka¹, A.A. Zaitsev², A.V. Shashko³

¹Department for Mitigation of the Consequences of the Catastrophe at Chernobyl NPP, Minsk, Belarus

²Research Institute of Radiology (RIR), Gomel, Belarus

³Brest Branch of Research Institute of Radiology (RIR-BB), Pinsk, Belarus

Abstract. Depending on weather conditions throughout the crop season, the levels of ^{137}Cs accumulation in perennial grass-legume mixtures varied by 3.6, and by 1.7–8.6 if between cutting and based on a particular year of the experiment. Application of phosphorus and

potash fertilizers in the rate of P₉₀K₁₂₀ provided 29–34 % reduction of ¹³⁷Cs transfer to grasses of the first and second cutting. Adding K₆₀ to P₉₀K₁₂₀ during the second cutting also resulted in reduced values of ¹³⁷Cs transfer factors to plants, whereas reliable decrease in ¹³⁷Cs transfer factors with P₉₀K₁₈₀ rate applied in the first cutting and K₆₀ added in the second one was observed only in relation to grasses of the first cutting. Application of P₉₀K₁₂₀ on degraded mineral peat soils makes them completely suitable for growing perennial grass-legume plants for forage, securing that ¹³⁷Cs concentrations in subsequent whole and raw milk, butter and meat products will completely correspond to the national standards. Growing grasses for forage and subsequent meat production securing ¹³⁷Cs concentrations below 200 Bq/kg should be limited based on ¹³⁷Cs soil contamination densities: 24 Ci/km² with phosphorus and potash fertilizers applied in the rate of P₉₀K₁₂₀, and 34 Ci/km² with application of P₉₀K₂₄₀.

USE OF POTASH FERTILIZERS FOR REHABILITATION OF RADIOACTIVELY POLLUTED FORAGE GRASSLANDS

V.F. Shapovalov, E.V. Smolsky

FSBEI HE Bryansk SAU, Bryansk region, Russia, sev_84@mail.ru

Abstract. In the conditions of the southwest Bryansk region during the period from 2000 to 2014 was studied efficiency of radical improvement of natural fodder grounds at various level of mineral food and a ratio of potash fertilizer for receiving production of a forage production corresponding to the standard for specific activity. Experiment took place in two stages: the first stage proceeded from 2000 to 2008, the second – from 2009 to 2014. Density of pollution of the soil ¹³⁷Cs as a result of the Chernobyl accident was 1221–1554 kBq/m² during 2000–2008, 559–867 kBq/m² during 2009–2014. In periods from 2000 to 2014 were used two schemes of introduction of fertilizer which differed in the number of introduction of the main nutrients and a ratio between them. The minimum productivity of green material with the greatest specific activity of forage was received in an option of radical improvement without use of mineral fertilizers. The maximum productivity of 30,9 t/hectare during the first period of research was received at introduction of full mineral fertilizer in a dose of N₆₀P₉₀K₆₀, changes towards increase in doses of batteries and their ratios didn't bring in a significant increase of a harvest. At the same time nitrogen fertilizers have increased specific activity of forage which at such dose and a ratio didn't correspond to the standard. Therefore for receiving high yields of green material of the long-term herbs not exceeding the admissible level of specific activity of forage in a zone with a density of pollution of 1221–1554 kBq/m² we recommend to apply full mineral fertilizers in a nitrogen ratio to potassium as 1:1.5. During the second period of researches we suggest to apply to obtaining high productivity of green material of appropriate quality of forages full mineral fertilizers in N₄₅P₆₀K₇₅ dose. The main factor limiting transition ¹³⁷Cs from soil to plants and further on along the food chain is the use of potash fertilizers allowing to reduce specific activities of ¹³⁷Cs in production of animal husbandry and an internal radiation doses of population.

MANAGEMENT OF GROUND WATER LEVELS – EFFECTIVE METHOD OF DECREASE IN RADIOACTIVE POLLUTION OF FORAGES GROWN ON MELIORATIVE SYSTEMS OF POLESYE

E.N. Shkuta, L.N. Luchanok

Institute for Land Reclamation, Minsk, Belarus, 2778018@mail.ru

Abstract. Experimental data on association of sizes of carrying out of radionuclides by crops with levels of ground waters are given in meliorative systems of Polesie are presented.

THE CURRENT STATE OF TERRITORIES TEMPORARILY EXCLUDED FROM LAND USE AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT

O.A. Shubina, I.E. Titov, V.V. Krechetnikov, R.A. Mikailova

*Russian Research Institute of Radiology and Agroecology,
Obninsk, Russian Federation*

Abstract. In the first period after the Chernobyl accident 17.1 thousand ha of agricultural lands with contamination density of ^{137}Cs over 1 480 kBq/m² were excluded from land use because of implementation of zonal principle of organization and management of agricultural production on contaminated areas.

At a recovery stage after the Chernobyl accident one of the main task is rehabilitation and returning of agricultural lands in the south-western districts of Bryansk region, which were temporarily excluded from land use, to economic turnover. In order to make decisions on carrying out of rehabilitation measures it is necessary to assess the current radiological situation in these areas. Such information is the basis for the decision to change the status of these lands and to return them to the economic turnover.

The results of the latest radioecological survey showed that at the beginning of 2015 the area of land with contamination density of ^{137}Cs over 1 480 kBq/m² decreased: in Gordeyevsky district it comes up to 9 %, in Zlynkovsky district – 3.4 %, in Krasnogorsky district – 46.3 %, in Novozybkovsky district – 6.1 % in comparison with the lands previously excluded from land use. The total area of agricultural land with ^{137}Cs contamination density of over 1 480 kBq/m² currently amounts up to 20.7 % of the area of excluded lands, i.e. 3.5 thousand ha. At the present time the situation is that about 80 % of lands temporarily excluded from land use can be returned to practical use in terms of radiological criteria.

**СЕКЦИЯ 3.
ПРОБЛЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ
И ЛИКВИДАЦИИ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В
ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ
ПРЕОДОЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ
КАТАСТРОФЫ НА
ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СПАСАТЕЛЕЙ ПРИ ТУШЕНИИ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

С.Н. Бобрышева, Ю.Н. Рубцов

ГУО «Гомельский инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Гомель, yuri_rubtsov@mail.ru

Количество чрезвычайных ситуаций техногенного, экологического и природного характера ежегодно стремительно возрастает. Для каждой из них характерны свои причины возникновения и особенности, свой характер развития, воздействия на человека, его здоровье и среду обитания.

Особое место занимают чрезвычайные ситуации, связанные с загрязнением окружающей среды радионуклидами и поражением людей, в частности, органов дыхания. В результате чернобыльской катастрофы сложилась сложная радиационно-экологическая обстановка: четвертая часть территории нашей страны была загрязнена, каждый пятый житель оказался в этой зоне. Масштабы медико-биологических, экологических, социально-экономических последствий огромны. Дозовые нагрузки населения были обусловлены как внешним, так и внутренним облучением, которое могло быть сведено к минимуму при выполнении определенных мер защиты, предусмотренных для подобных чрезвычайных ситуаций.

При возникновении пожара на загрязненной территории естественные радионуклиды, находящиеся в почве, листве, траве, торфе и древесине в связанном состоянии, высвобождаются в виде летучих соединений, оседают на аэрозольных частицах, которые образуются во время пожара, и легко попадают через дыхательные пути в организм человека. Личный состав ОПЧС при тушении пожаров может получить избыточную дозу как внешнего, так и внутреннего облучения. К сожалению, это не учитывается в НПА, которое определяет действия подразделений МЧС. В связи с этим первоочередной задачей является изучение степени перехода радионуклидов из почвы и растений в аэрозольное состояние, а также определение ожидаемых доз внешнего и внутреннего облучения в зависимости от содержания и изотопного состава излучающих радионуклидов. Экспериментально установлено, что при пожаре концентрация радионуклидов в дымовых газах меняется при удалении от источника пожара. Эксперимент проводился в населенных пунктах, подвергшихся радиационному загрязнению: Хойницкий район – н.п. Уласы, Погонное, Чамков, Жердное; Брагинский район – н.п. Залесье. Исследовалось локальное изменение уровня реагирования при удалении от источника горения. Эксперимент был поставлен по следующей схеме. Природный горючий материал, собранный на исследуемой местности, поджигали, создавая горючую нагрузку 50-100 кг/м². Исследовали зависимость концентрации радиоактивных изотопов в воздухе на высоте 150 см над поверхностью земли от расстояния до источника горения. Выбранная высота соответствует положению органов зрения и дыхания среднестатистического человека (принимается средний рост – 170 см). Концентрация радиоактивных изотопов в воздухе оценивалась при помощи геологического дозиметрического прибора СРП-68-01 (сцинтилляционный радиометр переносной). Расстояние между контрольными точками – 1 м, на каждую точку было выполнено не менее 10 измерений с интервалом в 5 мин. Коэффициент экспериментальных результатов составлял 15-25% при степени достоверности 0,95. В н.п. Чамков измерения провести не удалось, так как уровень реагирования превышал максимальный для выбранного оборудования. По результатам измерений, в остальных населенных пунктах установлено, что характер распределения концентрации радионуклидов в плоскости, параллельной по-

верхности земли, на высоте 150 см над поверхностью носит общий характер, определяется силой и направлением ветра и не зависит от начального уровня.

На рисунке 1 приведена полученная зависимость концентрации от расстояния до источника горения. По оси ОХ отложено расстояние L до источника. За положительное направление оси принято направление ветра. Начало координат совмещено с источником горения. По оси ОУ отложен относительный уровень реагирования $K = N/N_0$. За единицу K принято значение над источником.

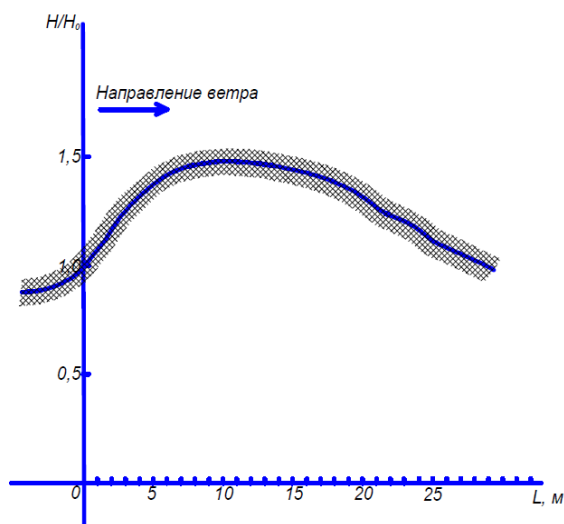


Рисунок 1. Зависимость относительного уровня реагирования ($K = N/N_0$) от расстояния до пожара (L)

Как видно из рисунка, максимум концентрации в зависимости от скорости ветра приходится на расстояние 5-15 м с подветренной стороны от источника горения и достигает 150% от уровня над источником. При этом с наветренной стороны отмечено некоторое понижение уровня (порядка 0,9 от уровня над источником). Подобное распределение объясняется особенностями конвективного массопереноса продуктов горения. С наветренной от источника горения стороны создается область пониженного давления, что приводит к снижению концентрации молекул газа и аэрозольных частиц и, как следствие, радиоактивных изотопов. Снижение концентрации радионуклидов с подветренной стороны на расстоянии более 15 м, возможно, обусловлено тем, что более тяжелые аэрозольные частицы оседают вместе с адсорбированными на них радиоактивными изотопами. Практический аспект полученных результатов состоит в возможности оценки наиболее благоприятного положения спасателя во время тушения по критерию снижения уровня внешнего и внутреннего облучения. В настоящее время применяется классическая схема тушения пожара методом «фронтальной атаки» (рисунок 2). При этом спасатель, работающий со стволом, располагается с подветренной стороны от источника возгорания именно на расстоянии 5-15 м (в зависимости от скорости ветра). Таким образом, получаемая им доза облучения увеличивается в 1,5 раза.

63 0 5 10 15 20 0,5 1,0 1,5 Направление ветра 25 L, м N/N_0 . Флажком обозначен источник возгорания, стрелками – направление распространения пожара. Большая стрелка указывает место развертывания основных сил подразделения и направление атаки.

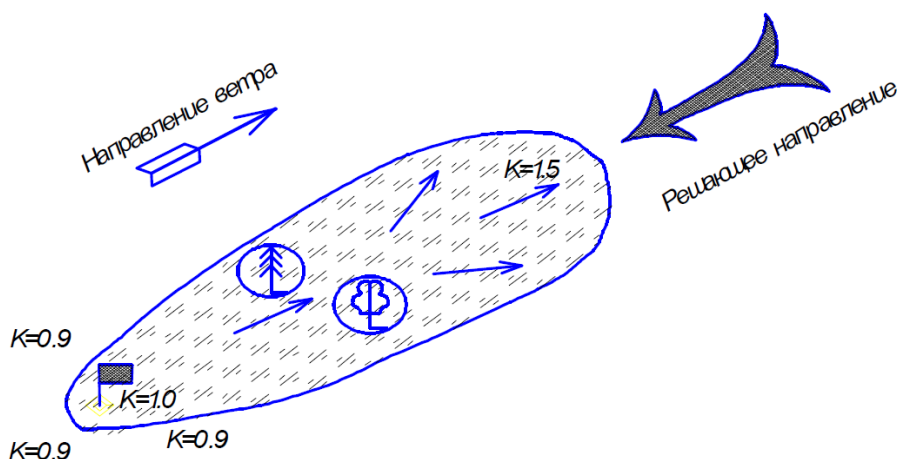


Рисунок 2. Схема распространения пожара

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что для снижения вероятности радиационного поражения личного состава при тушении пожаров в экосистемах на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, необходима разработка специальных тактических мероприятий и выработка рекомендаций по оснащению личного состава специальными средствами индивидуальной защиты. В частности, для уменьшения доз внутреннего и внешнего облучения личного состава ОПЧС не рекомендуется использовать метод «фронтальной атаки». В данном случае удовлетворительная результативность пожаротушения может быть достигнута применением метода «фланговой атаки», односторонней (при наличии естественных либо искусственных пожарных разрывов) либо двусторонней. Для разработки адекватных мер по реабилитации необходима организация периодического обследования личного состава ОПЧС, принимающего участие в тушении торфяных и лесных пожаров на загрязненных радионуклидами территориях, и контрольной группы жителей названных территорий на содержание в организме чистых гамма- и бета-распадчиков для изучения сравнительной динамики накопления инкорпорированных радионуклидов в организмах работников подразделений МЧС и контрольной группы жителей.

Исследования, выполненные РНИУП «Институт радиологии» в рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011–2015 годы, позволили получить обширный экспериментальный материал по видам радиоактивных аэрозолей, их плотности в почвенных слоях, оценить их подвижность под действием высоких температур. Известны разработки ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», технологии и программные средства для анализа рисков атмосферного переноса радионуклидов с дымом лесных пожаров. На основании этих исследований будет получена адекватная оценка степени радиационного воздействия на организм и выработаны контрмеры, направленные на снижение радиационного поражения сотрудников МЧС, занятых на тушении пожаров в экологических системах.

Несмотря на значительный объем выполненных работ в ходе реализации приведенных проектов и экспериментальных данных, полученных в населенных пунктах, подвергшихся радиационному загрязнению, неисследованными остались процессы атмосферного переноса радионуклидов при пожарах на торфяниках, и не определен ряд значений физико-химических параметров радиоактивных аэрозолей, необходимых для корректной оценки ожидаемых доз облучения в соответствии с национальной нормативно правовой базой. К их числу относятся тип (класс) растворимости и эффективный диаметр радиоактивных аэрозолей (дисперсный состав или распределение активности частиц по их размерам), образующихся в результате горения торфяников, а при лесных

и луговых пожарах – подстилки или слоя «войлока» из травы и других горючих материалов.

Полученные результаты еще раз подтвердили остроту проблемы безопасности подразделений МЧС, участвующих в ликвидации лесных, торфяных пожаров, пожаров травы.

Эти обстоятельства до сих пор не учитываются документами, регламентирующими действия подразделений МЧС при тушении пожаров в зонах с радиоактивным заражением: не определены допустимые уровни внутреннего и внешнего облучения, при которых возможно эффективное выполнение предназначенных функций, индивидуальные средства защиты, не существует рекомендаций по снижению риска радиационного поражения спасателей при выполнении ими своего профессионального долга, отсутствуют указания по дезактивации техники, средств индивидуальной защиты.

Результаты исследований будут способствовать созданию новой нормативной и материальной базы, которая обеспечит сохранение здоровья пожарных-спасателей при выполнении ими своего профессионального долга.

Литература

1. Гончаров, А.Н. Методические рекомендации по организации и технологиям ликвидации ЧС с наличием опасных химических и радиоактивных веществ // Минск: МЧС, 2014. – 151 с.

2. Голдаммер Й., Кашпаров В., Зибцев С., Робинсон С. Передовой опыт и рекомендации по борьбе с природными пожарами на территориях с радионуклидным загрязнением // Глобальный центр мониторинга пожаров, Украинский НИИ сельскохозяйственной радиологии, Национальный Университет биоресурсов и природопользования Украины, Региональный восточноевропейский центр пирологического мониторинга, «Зеленый крест Швейцарии». – Фрайбург – Базыль – Киев, 2014. – 48 с.

ОГНЕЗАЩИТНО-ОГNETУШАЩИЙ СОСТАВ КОМПЛЕКСНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЛЕСНЫМИ И ТОРФЯНЫМИ ПОЖАРАМИ

В.В. Богданова, О.И. Кобец

Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем» (НИИ ФХП БГУ), Минск, Республика Беларусь, bogdanova@bsu.by

После катастрофы на ЧАЭС более 1,7 млн. га территории Республики Беларусь оказались загрязненными радионуклидами, в основном цезия-137 и стронция-90, с уровнем радиоактивности более 1 Ки/км² [1]. Выпавшие в лесах радионуклиды, по данным [2], распределены следующим образом: в древостое сосредоточено около 4%, в подстилочном слое – от 20 до 85%, остальное – в минеральном слое почвы. Лесные пожары на загрязненных радионуклидами территориях особенно опасны вследствие выноса ветровыми потоками мелкодисперсных радиоактивных продуктов горения.

Ранее нами разработаны специализированные огнезащитный (Метафосил) и огнетушащий (Тофасил) составы для предупреждения и тушения соответственно лесных и торфяных пожаров [3, 4]. Наряду с высокой огнезадерживающей эффективностью эти средства снижают образование твердых мелкодисперсных продуктов сгорания лесных горючих материалов (ЛГМ), являющихся основными переносчиками радионуклидов [5]. Как показала практика применения специализированных составов, назрела необхо-

димось создания средства тушения комплексного действия, способного эффективно предотвращать и тушить разные по своей химической природе горючие материалы, такие, как древесина и торф. Одновременно при разработке нового огнезамедлительного средства (Комплексил) необходимо было обеспечить улучшенные или сопоставимые с базовыми средствами тушения и огнезащиты свойства: смачивающую, карбонизирующую способность и атмосферостойкость.

Цель данной работы состояла в проведении сопоставительных исследований огнезащитно-огнетушащей эффективности и физико-химических свойств нового средства, получившего название Комплексил, с Метафосилом и Тофасилом. Комплексил, как и составы сравнения, представляет собой синтетическую суспензию аммонийных фосфатов в растворном компоненте с уменьшенным содержанием фосфора, что в целом позволило снизить его стоимость.

Для огнезащиты и тушения использовали огнезадерживающие средства одной концентрации и привеса (7%). Огнезащитные свойства по отношению к древесине определяли по ГОСТ 16363, огнетушащие по отношению к торфу – по потере массы после огневого воздействия. Смачивающую способность находили по количеству поглощенного состава в пересчете на один грамм сухого вещества торфа (в %/г). О карбонизирующей способности судили по данным комплексного термического анализа (ДСК, ТГ) исходных и огнезащищенных образцов горючих природных материалов. Химический состав Комплексила, специализированных средств (Метафосил, Тофасил), сопоставительные данные по эффективности исследуемых огнезадерживающих средств, воды и растворов ПАВ по отношению к древесине и торфу представлены в таблице 1.

Из данных таблицы следует, что Комплексил обладает более высокими огнезащитными свойствами по отношению к древесине по сравнению с базовыми составами: потеря массы после огневых испытаний огнезащищенным комплексным составом образцов снижается в 2-2,3 раза, а температура отходящих газов (T_r) – на 100-110 °С. Для воды и раствора ПАВ те же параметры после испытаний несопоставимо хуже: Δm выше в 9,3 раза, а T_r – на 470 °С. Установлено также, что Комплексил и базовые ОС по сравнению с водой лучше смачивают торф (их смачивающая способность выше в 1,5-2 раза), в 7-11 раз эффективнее снижают потерю его массы после огневых испытаний. Характерно, что Комплексил, обладает лучшей смачивающей способностью и сопоставимой огнетушащей эффективностью с Тофасилом. Полученные данные свидетельствуют, что Комплексил действительно имеет сопоставимую со специализированными составами эффективность.

Таблица 1 – Химический состав, огнезащитная и огнетушащая эффективность на древесине и торфе огнезадерживающих составов, воды и раствора ПАВ

ОС	Молярные соотношения основных компонентов ОС $Al_2O_3:ZnO:CaO:MgO:HCl:NH_3:P_2O_5:SiO_2$	Огнезащитная эффективность на древесине			Огнетушащая эффективность на торфе	
		Δm , %	Температура отходящих газов, T_r , °С	Группа огнезащитной эффективности	Δm , %	Смачивающая способность, %/г
Метафосил	0,25:0,75:0:0:0:5,9:3,1:0,43	8,6	267	1	5,7	9,6
Тофасил	0,25:0,75:0:0:0:13,2:3,31:0,43	10,0	254	2	5,1	15,7
Комплексил	0:0:0,33:0,33:1,47:6,93:1,9:0	4,2	157	1	2,9	15
Вода	–	39,1	627	–	46,6	7,6
2% р-р ПАВ	–	39,1	627	–	46,6	11,5

Примечание. Относительная влажность исходного торфа – 48,6%, зольность – 11,24%; время тления исходного торфа во время огневых испытаний – 510 с, огнезащищенные образцы не тлеют.

Калориметрические и термогравиметрические исследования (ДСК и ТГ) исходных и огнезащищенных образцов древесины и торфа (200-600 °С) выявили высокую карбонизирующую способность Комплексила по отношению к древесине и торфу, сопоставимую с базовыми ОС. Так, по сравнению с исходными образцами древесины (опилками) на кривых ДСК огнезащищенных опилок, наблюдается значительное снижение интенсивности двух основных экзотермических пиков, смещение максимума первого экзо-пика в сторону более низких температур на 67-80 °С и одновременное уменьшение (на кривых ТГ) почти в 1,5 раза общей потери массы. Как известно [6], данные факты свидетельствуют о протекающих процессах дегидратации компонентов огнезащищенной древесины с образованием более термостойкого карбонизованного теплоизолирующего слоя на поверхности огнезащищенного материала и, следовательно, о хорошей карбонизирующей способности антипиренов по отношению к целлюлозосодержащим материалам.

При термоллизе торфа, огнезащищенного Комплексилом или базовыми составами, по сравнению с исходным торфом наблюдается снижение интенсивности тепло- и газовыделения, что на кривых ДСК характеризуется уменьшением амплитуды первого и второго экзоэффектов ДСК, смещением второго пика тепловыделения в сторону более высоких температур (до 53-100 °С), а также сокращением общей потери массы на кривых ТГ. Следовательно, при термоллизе огнезащищенных образцов опилок и торфа происходит уменьшение тепло-массообмена, снижение скорости их терморазложения как на стадии начала интенсивной газификации (250-350 °С), так и на стадии глубокой термодеструкции (450-550 °С).

В условиях экспериментальной базы НПЦ ГОУ МЧС проведены испытания огнетушащей эффективности Комплексила при тушении очагов пожара класса А, а также полигонные испытания его огнезащитной и огнетушащей эффективности в лесном массиве и в очаге горения торфа [7, 8]. При тушении очагов пожара ранга 2А показана высокая надежность применения ОС комплексного действия, сравнимая с Метафосилом, причем, спустя положенные по методике 10 мин. после тушения, в обоих случаях отсутствовало повторное воспламенение горючего материала.

Натурными испытаниями Комплексила в лесном массиве в качестве профилактического огнезащитного средства длительного действия установлено, что огнезащитные свойства состава на лесном горючем материале при пожарной опасности в сосняке мшистом по условиям погоды, соответствующей 3 классу, при плотности вылива 1,5-1,8 л/м² сохраняются не менее 30 суток при количестве выпавших осадков за этот период до 34 мм. При этом на 30-е сутки испытаний атмосферостойких свойств состава комплексного действия глубина распространения фронта огня по огнезащищенной полосе лесного горючего материала (6 м) составила 0,92 м, то есть по условиям методики испытаний не превысила одной четвертой части ее ширины. Полученные данные по огнезащитным свойствам и атмосферостойкости для Комплексила и Метафосила почти одинаковы.

При применении Комплексила для локализации и тушения очага торфяного пожара показано, что при плотности вылива его 8% рабочего раствора до 40 л/м² горение и тление торфа прекращается. Благодаря высокой смачивающей способности состава влажность торфа в очаге пожара после его подачи по сравнению с исходным торфом увеличилась в 2-3 раза и составила: 58,4; 67,3 и 75,0% на глубине соответственно 0-10, 11-20 и 21-30 см. При этом через сутки повторного возгорания торфяной залежи не наблюдалось, тогда как после тушения водой аналогичного торфяного очага процесс горения и тления торфа возобновился.

Необходимо отметить, что технология получения огнезащитно-огнетушащей суспензии не оказывает вредного воздействия на окружающую среду, поскольку сточные воды, твердые и жидкие отходы, выбросы в атмосферу вредных веществ в производстве Комплексила отсутствуют. Санитарно-токсикологическими исследованиями

установлено, что Комплексил относится к веществам IV класса опасности (малоопасные вещества).

Таким образом, лабораторными и полигонными огневыми испытаниями показано, что Комплексил по огнезащитной, огнетушащей эффективности, карбонизирующей способности и надежности при борьбе с лесными и торфяными пожарами сопоставим с Метафосилом и Тофасилом, являясь при этом более дешевым. В отличие от огнетушащего состава российского производства ОС-5, состав Комплексил не только более экономичен, но и обладает значительно более высокой атмосферостойкостью при более низкой (в 1,3 раза) концентрации рабочего раствора. Огнезащитные свойства Комплексила в лесорастительной среде сохраняются в течение как минимум 30 суток при выпадении природных осадков в количестве до 34 мм, тогда как ОС-5 эффективен только до первого дождя.

Литература

1. Молодых, В.Г. Радиологические последствия лесных пожаров // Препринт ИРП. – Минск, ИРП АНБ, 1993. – 17 с.
2. Люцко, А.М. Фон Чернобыля // Минск: Бел. сов. энцикл., 1990. – 64 с.
3. Состав для профилактики, локализации лесных пожаров и/или борьбы с ними: пат. 2149 Респ. Беларусь, МПК А 62 D 1/00, С 09 К 21/02 / Л.В. Кобец, В.В. Богданова, Н.М. Кобзева, В.М. Зезюкин, Н.А. Тычино, В.В. Усеня; заявитель НИИ ПФП БГУ; Гомельский хим. завод. – № 950285; заявл. 08.06.95; опубл. 30.06.98.
4. Огнетушащий химический состав для борьбы с торфяными пожарами: пат. 6460 Респ. Беларусь, МПК А 62 D 1/00, А 62 С 3/02 / В.В. Богданова, О.И. Кобец, В.В. Усеня, Г.Ф. Ласута; заявитель НИИ ФХП БГУ – № а 20001029; заявл. 20.11.2000; опубл. 30.09.2004.
5. Богданова, В.В. Сорбционная и каркасообразующая способность химических составов для предотвращения и тушения лесных и торфяных пожаров в зонах радиоактивного загрязнения / В.В. Богданова [и др.] // Предупреждение, ликвидация и последствия пожаров на радиоактивно-загрязненных землях: сб. науч. тр. ИЛ НАНБ – Гомель, 2002. – Вып. 54. – С. 86–89.
6. Леонович, А.А. Теория и практика изготовления огнезащищенных ДСП // Л., 1989. – 175 с.
7. Методика определения огнезащитных и огнетушащих свойств химических составов для борьбы с лесными пожарами / Утвержд. нач. НПЦ ПБ ГОУ МЧС Республики Беларусь 15.09.2000. – Гомель, 2000. – 10 с.
8. Методика оценки огнетушащих свойств химических составов для борьбы с торфяными пожарами / Утвержд. нач. НПЦ ПБ ГОУ МЧС Республики Беларусь 12.07.2001. – Гомель, 2001. – 6 с.

РЕЭВАКУАЦИЯ В ЗОНЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Д.Н. Говоров, А.И. Кузьмин

ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», Химки, Российская Федерация, govorov-dn@yandex.ru

После трагических событий, случившихся в апреле 1986 г. на Чернобыльской АЭС, прошло уже 30 лет. Но уроки этой самой масштабной радиационной аварии остаются актуальными и на сегодняшний день.

Тогда, 26 апреля, выброшенные из разрушенного реактора в атмосферу продукты деления ядерного топлива были разнесены воздушными потоками на значительные территории, обусловив их радиоактивное загрязнение не только вблизи АЭС в границах современных Украины, России и Белоруссии, но и за сотни и даже тысячи километров от места аварии. Загрязнению подверглись территории многих стран.

Наиболее обширные территории были загрязнены в Украине (41,75 тыс. км²), Белоруссии (46,6 тыс. км²), европейской части России (57,1 тыс. км²). А также территории еще 17 европейских стран общей площадью 207,5 тыс. квадратных километров (загрязнение цезием-137 с уровнями выше 1 Ки/км²) [4].

Сразу же после катастрофы погиб 31 человек, а 600 тыс. ликвидаторов, принимавших участие в тушении пожаров и расчистке, получили высокие дозы радиации. Радиоактивному облучению подверглись почти 8,4 млн. жителей современных Белоруссии, Украины и России. Это больше населения Австрии. Сельскохозяйственные угодья площадью почти 52 тыс. км² пострадали от цезия-137 и стронция-90 с периодом полураспада в 30 и 28 лет соответственно. Почти 404 тыс. человек были переселены. Однако миллионы по-прежнему живут в условиях, когда сохраняющееся остаточное воздействие чревато массой опасных последствий [6].

Все последующие годы специалистами различных стран постоянно рассматривались способы повышения уровня безопасности и без того самого безопасного вида энергетики, а общественность поднимала вопрос о целесообразности использования атомной энергии, оценивая баланс возможных последствий и экономической выгоды. И, казалось бы, компромисс был уже достигнут, а угроза повторения подобной чернобыльской радиационной аварии не рассматривалась как нечто реально возможное. Но наступил март 2011 г. – и снова катастрофа на АЭС, теперь уже в Японии.

И снова загрязнение больших площадей цезием-137, утечка радиоактивной воды в Мировой океан, масштабная эвакуация населения. По данным, представленным в докладе Генерального директора МАГАТЭ, из зоны аварии было отселено около 160 тыс. человек [7], в других источниках указываются цифры 170-220 тыс. человек.

Учитывая, что в приведенных выше примерах загрязнению подверглись территории, являвшиеся на протяжении сотен лет местом проживания людей, территории с достаточно высокой плотностью населения, по мере снижения уровня опасности возникает вопрос о возвращении населения в эти места.

В Японии на сегодняшний день, т.е. спустя 5 лет со дня аварии, вопрос о полном возвращении этих людей в места их прежнего постоянного проживания не ставится. Во-первых, невозможно еще конкретно оценить все последствия этой аварии, особенно в опасной зоне. А во-вторых, согласно одобренному правительством плану, полная ликвидация последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» займет приблизительно 30–40 лет. Соответственно, вопрос реэвакуации вплотную будет зависеть от дальнейшего развития событий, эффективности реализации плана ликвидации последствий аварии и изучения обстановки в зонах эвакуации.

В отличие от Японии, Чернобыль уже имеет в своем распоряжении тридцатилетнюю историю, на протяжении которой ему уделялось пристальное внимание ученых, специалистов-ядерщиков и многих других, включая писателей-фантастов и просто фантазеров и мечтателей. Надо отметить, что целенаправленный и централизованный процесс реэвакуации населения в зону отчуждения не проводится ни в Украине, ни в Белоруссии.

Российская Федерация не имеет на данный момент территорий, относящихся к зонам отчуждения, притом, что радиационному загрязнению цезием-137 подверглись 19 субъектов, наиболее загрязненными из которых являются Брянская (11,8 тыс. км² за-

грязненных территорий), Калужская (4,9 тыс. км²), Тульская (11,6 тыс. км²) и Орловская (8,9 тыс. км²) области [4].

Первые попытки проведения постепенной реэвакуации населения в места постоянного проживания в зоне Чернобыльской АЭС были предприняты в том же 1986 г. Такая задача была поставлена уже в июне. Данные дозиметрической разведки свидетельствовали о незначительной радиационной опасности для группы сел юго-восточной зоны. Основываясь на этом и не приняв во внимание внутреннее облучение людей за счет местных пищевых продуктов, был подготовлен проект решения ЦК КПСС о начале возврата населения в родные места. Благодаря усилиям ученых и специалистов радиационной безопасности, эта поспешная реэвакуация была отменена [5].

Тем не менее, в этом же году после снижения радиационного фона в зоне Чернобыльской АЭС в результате естественного распада радиоактивных элементов и проведения дезактивации территории, дорог и строений, было реэвакуировано население в 14 наиболее благополучных, с точки зрения радиационной обстановки, населенных пунктов, из которых 12 находятся на территории Белоруссии и два – на территории Украины. В 1987 и 1988 гг. и в последующие годы реэвакуация населения не проводилась.

Помимо официального возвращения эвакуированных на тот момент имело место самостоятельное возвращение жителей к местам своего постоянного проживания. Но это явление нельзя назвать массовым. В период 1987–1990 гг. «самоселов» насчитывалось около 1200 человек, проживали они в г. Чернобыле и еще в порядка 17 селах зоны отчуждения. Преимущественно это были люди старше 60 лет, из чего можно сделать вывод, что эта категория населения скоро исчезнет за счет естественной смертности.

На сегодняшний день порядок реэвакуации в зону отчуждения в России, Беларуси и Украине закреплен законодательно. Сравнительный анализ нормативных актов в данной области показывает, что они практически идентичны:

Российская Федерация: «Возобновление постоянного проживания населения в населенных пунктах и районах зон отчуждения и отселения, в том числе реэвакуация населения, возможно только на добровольной основе после снижения в этих населенных пунктах и районах радиоактивного воздействия на людей до уровней, не требующих каких-либо ограничений их жизнедеятельности, и создания в этих населенных пунктах и районах необходимых условий для проживания и трудовой деятельности населения. Решение о возобновлении постоянного проживания населения в указанных зонах, в том числе о реэвакуации населения, принимается Правительством Российской Федерации» [1];

Республика Беларусь: «Реэвакуация населения производится исключительно в добровольном порядке после снижения радиоактивного загрязнения территории населенного пункта до уровня, обеспечивающего условия проживания и трудовой деятельности без ограничений. Решение о реэвакуации населения принимается Советом Министров Республики Беларусь по заключению Национальной комиссии Беларуси по радиационной защите при Совете Министров Республики Беларусь» [2];

Украина: «Реэвакуация населения осуществляется исключительно в добровольном порядке после снижения радиоактивного загрязнения территории до уровня, который предусматривает безопасные условия проживания без ограничений (уровень облучения менее 1 мЗв/год). Решение о реэвакуации населения принимается Кабинетом Министров Украины по заключению Национальной комиссии радиационной защиты населения Украины» [3].

Но если подходить к процессу возобновления постоянного проживания населения, в том числе и к реэвакуации, более детально, то необходимо сделать вывод, что снижения радиоактивного загрязнения в зоне Чернобыльской катастрофы будет явно недостаточно.

За прошедшие 30 лет инфраструктура этих территорий понесла значительный ущерб, в относительную негодность пришли пути сообщения, жилье, коммунально-энергетические сети, нарушены социальные связи, нет рабочих мест, нет возможности получить медицинскую помощь, приобрести продукты и другие товары. Следовательно, для того чтобы вернуть людей потребуется восстановить или создать соответствующие условия.

Кроме того, этому основному этапу работ должен будет предшествовать не менее важный, ресурсо- и наукоемкий подготовительный этап, включающий в себя продолжительный период мониторинга и оценки состояния данных территорий, выработку последовательности (алгоритма) восстановления, планирование и выполнение этого комплекса мероприятий с учетом ограниченности сил, средств и ресурсов. Все это потребует наличия, а, следовательно, и разработки и адаптации соответствующего научно-методического аппарата. И к этой работе необходимо приступать уже сейчас.

Другим сложным фактором, возможно, выступит необходимость создания положительного образа Чернобыля в сознании его будущих потенциальных жителей. На сегодняшний день имеется устойчивый спрос на туристические поездки в «Зону» (образ, созданный фантазией писателей) в поисках острых ощущений. Но этот же образ будет отталкивать человека, которому предстоит жить там постоянно. Кроме того, будет множество кривотолков относительно того самого уровня радиоактивного загрязнения.

Можно предположить, что в случае начала работ по возобновлению постоянного проживания в зонах отчуждения и отселения возможно предъявление имущественных прав, в основном наследниками лиц, эвакуированных оттуда в 1986 г. В связи с этим, необходимо скрупулезно проработать следующие вопросы: порядок преемственности имущественных и прочих прав, порядок компенсации этих прав, а так же перечень лиц, этими правами обладающих.

Подводя итог, стоит отметить, что на сегодняшний день говорить именно о реэвакуации населения в зону аварии на Чернобыльской АЭС не совсем правильно. В том смысле, что к тому моменту, когда уровень радиоактивного загрязнения территорий достигнет требуемого, и будет завершен комплекс соответствующих мероприятий для подготовки этих территорий к постоянному пребыванию населения, из 404 тыс. эвакуированных будет готово реэвакуироваться незначительное число людей. Процесс точно не будет массовым, если вообще сохранится необходимость реэвакуации.

Поэтому, целесообразнее будет рассматривать и проводить планомерную работу по «восстановлению постоянного проживания». Подобные проекты уже разрабатываются в основном в Украине.

Одним из ярких представителей выступает проект развития города Чернобыля и зоны отчуждения «Ревитализация зоны отчуждения. Разработка объектов туристической инфраструктуры» (автор Агеева А.), представленный в 2011 г. Проект никак не учитывает реальную ситуацию, сложившуюся на данных территориях, не имеет под собой финансовых расчетов. Это самый общий концептуальный вариант гипотетического развития и обустройства территории зоны отчуждения. В нем нет детализированной проработки элементов, он лишь отображает общий замысел разработчиков, которые весьма поверхностно знакомы с особенностями территории Чернобыля и Припяти. Это лишь красивые картинки, оригинальные архитектурные решения и идея [8]. Интересен, прежде всего, термин «ревитализация», взятый из архитектуры, строительства и медицины. В этих контекстах он довольно точно отражает суть требуемого процесса.

Рассматривая необходимость создания подобных проектов, вне зависимости от их названия и терминологии, необходимо отметить обязательную научную проработку их основ: разработку методик оценки готовности территорий, выбора конкретных рай-

онов, оптимального распределения сил и средств, финансово-экономическое обоснование необходимого комплекса подготовительных мероприятий. И в этом ключе положения, описывающие процесс реэвакуации без значительных доработок сформируют базу таких проектов. А внешняя форма реализации будет зависеть от будущего назначения «Зоны», замысла и возможностей страны или группы стран-исполнителей, а также частных инвесторов.

Но если в случае с Чернобылем можно позволить подобное оперирование терминологией, то в ситуации с аварией на «Фукусиме» правительству Японии все-таки придется реэвакуировать население. Это, среди прочего, будет связано с дефицитом территории.

В связи с такой необходимостью, опыт ликвидации Чернобыльской аварии, накопленный за эти 30 лет, становится серьезнейшим подспорьем в решении задачи возвращения населения для японских специалистов. А совместные проекты в этой области в значительной степени повысят эффективность ликвидации последствий радиационных аварий.

Литература

1. Закон Российской Федерации от 15 мая 1991 г. № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».

2. Закон Республики Беларусь от 6 января 2009 г. № 9-3 «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий».

3. Закон Украины от 28 февраля 1991 г. № 796-ХІІ «О статусе и социальной защите граждан, пострадавших вследствие Чернобыльской катастрофы».

4. 20 лет Чернобыльской катастрофы: Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986–2006: Российский национальный доклад / Под ред. С.К. Шойгу и Л.А. Большова. – М., 2006. – 92 с.

5. Вклад курчатовцев в ликвидацию последствий аварии на Чернобыльской АЭС // М.: НИЦ «Курчатовский институт». – 2012. – 172 с.

6. Онищенко, Г. Под колпаком полураспада // Российская газета – Федеральный выпуск № 4044 (0) от 14.04.2006 г.

7. The Fukushima Daiichi accident – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2015.

8. <http://zaarchitects.com/ru/projects/1/78-chernobyl.html>

ПОДГОТОВКА ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА К ДЕЙСТВИЯМ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ (ПОЖАРОВ) НА АЭС

А.Д. Ищенко, И.С. Фогилев

*Академия государственной противопожарной службы МЧС России, Москва,
Российская Федерация, adinko@mail.ru*

Введение. Современная энергетика мира в основном базируется на ископаемом углеводородном топливе (уголь, нефть, газ). По различным данным, при современном потреблении природных ресурсов человечество будет обеспечено углем и газом в течение 100 лет, нефтью 50 лет.

Единственным из освоенных в промышленных масштабах дополнением к природным источникам энергии является ядерная энергия.

Около 17% производства электроэнергии в мире принадлежит АЭС. Отрасль также занимает третье место после угольной энергетики и гидроэнергетики. Наибольшее распространение АЭС имеют в США, в эксплуатации страны находится сегодня свыше 100 энергоблоков общей мощностью до 100 ГВт, но лидером в области атомной энергетики в мире является Франция, которая использует 58 энергоблоков, производящих около 75% всей атомной энергии мира. В целом же на сегодняшний день мировая атомная энергетика включает в себя 440 атомных реакторов, которые расположены в 31 стране мира и суммарно производят около 370 ГВт электроэнергии [1].

Несмотря на существенные достоинства, АЭС являются объектом потенциальной опасности и относятся к критически важным объектам, поэтому необходимо больше уделять внимания вопросам безопасности данных объектов.

Современное состояние АЭС, проблемные вопросы. Большинство атомных электростанций расположено в непосредственной близости от крупных городов, городов-спутников и в случае возникновения аварии (пожара) могут нанести существенный урон экономике страны, разрушению инфраструктуры субъекта и ухудшить безопасность жизнедеятельности населения.

Результатами аварий и пожаров на АЭС в мире и России с реакторами различных типов могут являться: многочисленная гибель людей, травмирование различной степени тяжести оперативного персонала АЭС, пожарных и спасателей, выбросы радионуклидов, загрязнение больших территорий государств, потеря колоссальных материальных средств.

В настоящее время прослеживается тенденция к старению ядерных реакторов. Средний возраст действующих реакторов составляет 28,5 лет. Самым старым является действующий реактор, находящийся в Швейцарии, он работает в течение 45 лет. 153 реактора закрыты. Средний возраст закрытого реактора составляет 23 года.

С учетом возраста РУ атомных электростанций сегодня необходимо принимать больше усилий на поддержание безопасности АЭС.

Для экстренного реагирования на ЧС (аварии, пожары), возникающие на АЭС в Российской Федерации, созданы подразделения ФПС ГПС по охране АЭС, находящиеся в непосредственной близости от атомной станции, однако, в силу различных факторов, время их прибытия к месту вызова может достигать от 2 до 35 минут. До приезда специальных экстренных служб первоначальные действия при ЧС будет проводить оперативный персонал станции, работающий в круглосуточном сменном режиме. В этой связи только слаженная работа специалистов из числа оперативного персонала АЭС может не допустить возникновения крупномасштабной ЧС (аварии, пожара) [2].

Сегодня оперативный персонал атомных станций обеспечен современными средствами защиты органов дыхания и зрения, проводится обучение пользованию ДА, разработаны различные нормативные документы по организации работы в ДАСВ в загазованной и непригодной для дыхания среде. Оперативный персонал проходит медицинское освидетельствование и аттестацию для работы в ДАСВ, однако до сих пор не учтены все особенности безопасной работы оперативного персонала в аварийных условиях.

Первоначальные действия оперативного персонала АЭС напрямую связаны с использованием дыхательных аппаратов на сжатом воздухе для их работы в загазованной или непригодной для дыхания среде в случаях аварийных ситуаций. Однако необходимо отметить, что наличие у оперативного персонала АЭС только средств защиты органов дыхания и зрения (дыхательный аппарат на сжатом воздухе) является недостаточным для комплексной защиты человека в условиях ЧС.

Разработка комплексной защиты оперативного персонала АЭС для предупреждения и выполнения первоначальных действий по ликвидации ЧС (аварии, пожара). Исходя из практики применения средств защиты человека от воздействия опасных факторов, возникающих при авариях и пожарах в подразделениях, непосредственно занимающихся вопросами ликвидации ЧС (подразделения пожарных / пожарно-спасательных частей федеральной противопожарной службы МЧС России), можно сделать вывод о том, что минимально-необходимый перечень средств защиты человека должен содержать следующие позиции: средства защиты органов дыхания и зрения; средства защиты тела человека от воздействия опасных факторов пожара (высокой температуры, искр, раскаленных предметов, открытого пламени); минимальный комплект технических средств для работы в условиях ЧС.

Исходя из особенностей круглосуточного сменного режима работы в составе оперативных бригад на АЭС, существует необходимость в обеспечении должностных лиц из числа оперативного персонала комплектом средств защиты и в то же время, насколько это возможно, – упростить его применение и эксплуатацию.

В связи с тем, что оперативный персонал АЭС в режиме ЧС проводит технологические операции по управлению реакторной установкой, производит мероприятия по эвакуации людей и принимает первоначальные усиленные меры по ликвидации аварии (пожара), но не производит тушение развившегося пожара, существует необходимость комплексного подхода к разработке комплекта средств защиты. При его формировании необходимо учитывать такие факторы как: особенности технологических процессов, протекающих при выработке электрической энергии; особенности работы оперативного персонала, с учетом возложенных на них должностных обязанностей; различные возрастные критерии должностных лиц из числа оперативного персонала; различные антропометрическими данные должностных лиц и др.

В настоящее время Академией ГПС МЧС России совместно с ОАО «Концерн Росэнергоатом» проводится разработка комплекта средств защиты оперативного персонала атомных станций для их работы при возникновении ЧС.

Заключение. Проводимая в настоящее время работа по разработке комплекта средств защиты оперативного персонала имеет социальный характер, так как направлена в первую очередь на повышение безопасности АЭС. Результаты проводимой работы будут направлены на повышение уровня защищенности оперативного персонала действующих атомных станций при работе в условиях ЧС (аварии, пожара)

Литература

1. Атомэнергомаш, группа компаний Росатома [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.aem-group.ru> – Дата доступа: 19.02.2016.

2. Харевский, В.А. Разработка комплекса средств защиты оперативного персонала атомных электростанций при пожаре / В.А. Харевский, А.Е. Богданов, А.Д. Ищенко, И.С. Фогилев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – № 4/15. – С. 13–18.

3. Инструкция по организации обеспечения и эксплуатации средств индивидуальной защиты персонала атомных станций при пожаре. Техническая документация. М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2009.

4. ОАО «Концерн Росэнергоатом» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rosenergoatom.ru> – Дата доступа: 24.02.2016.

5. Ищенко, А.Д. Обеспечение действий оперативного персонала атомных электростанций в условиях непригодной для дыхания среды при пожарах / А.Д. Ищенко, И.С. Фогилев // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал [Электронный ресурс]. – 2010. – Вып. 2 (60). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>

МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПОЖАРЕ

А.В. Калач, С.А. Чепрасов

*ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России, Воронеж,
Российская Федерация, avkalach@gmail.com*

Актуальной проблемой в зонах, подвергшихся радиоактивному загрязнению, является перенос мелкодисперсных загрязняющих веществ при пожаре. В данной статье рассмотрим модель, позволяющую прогнозировать распространение загрязняющих веществ в пространстве с течением времени, а также изучить влияние параметров источника загрязнения и атмосферных возмущений на характер распространения загрязнения.

На основе уравнений диффузии и Навье-Стокса разработана математическая модель распространения в атмосфере загрязняющих веществ от пожаров с учетом сложного самосогласованного движения воздушных масс. Для примера в модели имитируется перенос загрязнения термическим потоком. Модель позволяет прогнозировать распространение загрязняющих веществ в пространстве с течением времени, а также изучать влияние физических и геометрических параметров источников загрязнения и атмосферных возмущений на характер распространения загрязнения.

Общим недостатком существующих в настоящее время моделей является их «одномерный» или «двумерный» характер, например, привязка двумерной модели диффузии к плоской карте местности. Однако при аэрогенном переносе загрязняющих веществ существенную роль играет не только горизонтальное, но и вертикальное движение воздушных масс, а также рельеф местности. Загрязняющие вещества могут подниматься на большие расстояния восходящими потоками воздуха, как от самого пожара, так и от удаленных термических потоков, формирующихся вблизи нагретых участков земной поверхности. Учет в модели аэрогенного переноса вертикального движения воздушных масс позволяет существенно (на 30-100%) повысить адекватность существующих моделей.

Моделирование движения воздушных масс в заданной местности является сложной задачей [1, 2]. В качестве конкретного примера в данной статье поставлена задача воспроизвести термический поток («термик»), который часто формируется над участками земной поверхности, подвергающимися значительному прогреву солнцем [3]. Термический поток представляет собой тороидальное движение воздушных масс: поднимающийся над источником «термика» поток нагретого воздуха окружен потоком опускающегося холодного воздуха. При движении воздуха вблизи термического потока он вовлекается в сложное тороидальное движение, что может приводить к существенному изменению конфигурации загрязненной области. Для того, чтобы в разрабатываемой модели воспроизвести сложное самосогласованное движение воздуха, которое происходит как вблизи очага пожара, так и в отдельном термическом потоке, принято решение рассматривать воздух, в приближении сплошной среды и использовать для описания его движения уравнения Навье-Стокса, дополненные уравнением связи между плотностью и давлением воздуха (уравнением состояния). При этом воздух считается сплошной средой, допускающей сильное сжатие, и обладающей внутренней вязкостью. Задачу будем решать в трехмерном пространстве XYZ , в котором задаются векторное поле скоростей воздуха $\vec{v}(x, y, z)$, и скалярные поля плотности воздуха $\rho(x, y, z)$ и концентрации загрязняющего вещества $c(x, y, z)$. В этом случае уравнения Навье-Стокса можно записать следующим образом [4]:

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{\partial v_x}{\partial t} &= -v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} - v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} - v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} + F_x - \frac{\alpha}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \\
 &+ \frac{\lambda}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial x \partial z} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right); \\
 \frac{\partial v_y}{\partial t} &= -v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} - v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} - v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} + F_y - \frac{\alpha}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \\
 &+ \frac{\lambda}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y \partial z} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right); \\
 \frac{\partial v_z}{\partial t} &= -v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} - v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} - v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} + F_z - \frac{\alpha}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} + \\
 &+ \frac{\lambda}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x \partial z} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y \partial z} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right); \\
 \frac{\partial \rho}{\partial t} &= -\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) - v_x \frac{\partial \rho}{\partial x} - v_y \frac{\partial \rho}{\partial y} - v_z \frac{\partial \rho}{\partial z},
 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где v_x, v_y, v_z – компоненты вектора скорости воздуха в выбранной точке; t – время; F_x, F_y, F_z – компоненты вектора массовой плотности объемных сил, действующих на воздух (сила в расчете на единицу массы); α – коэффициент пропорциональности плотности воздуха и давления (в приближении о линейной их связи); ρ – плотность воздуха в выбранной точке; λ – коэффициент сжимаемости воздуха; μ – коэффициент внутреннего трения.

Уравнения Навье-Стокса в реальных задачах не могут быть в принципе решены аналитически, поэтому сразу будем ориентироваться на их численное решение с использованием метода дискретизации пространства и конечно-разностных схем [5]. Для численного решения кубическую область моделирования в окрестности пожара (с характерным размером от 1 до 10 км) дискретизируем кубической сеткой. Область моделирования содержит 20 x 20 x 20 ячеек с размером ячейки d .

В процессе численного решения уравнений Навье-Стокса на квадратной сетке необходимо для каждого узла (i, j, k) вычислять первые и вторые частные производные по каждой координатам x, y, z . Для расчета производных необходимо использовать значения функций $v_x(i, j, k), v_y(i, j, k), v_z(i, j, k)$ и $\rho(i, j, k)$ в шестнадцати узлах, окружающих узел (i, j, k) (рисунок 1).

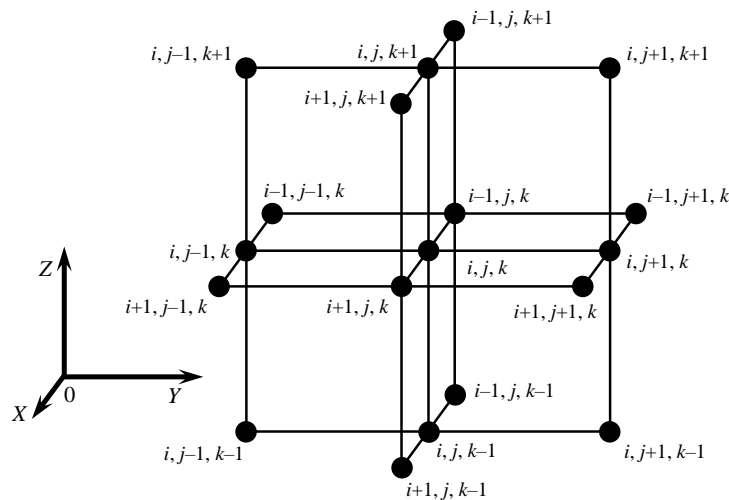


Рисунок 1. Индексация узлов, окружающих базовый узел (i, j, k) , используемых для численного определения первых и вторых производных при сеточном решении уравнений Навье-Стокса и диффузии

Не расписывая подробно всю систему (1) в конечно-разностной форме, покажем на отдельных примерах, как вычисляются первые и вторые производные:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \approx \frac{\rho^{\tau+1} - \rho^{\tau}}{\Delta t}; \quad \frac{\partial \rho}{\partial x} \approx \frac{\rho_{i+1,j,k} - \rho_{i-1,j,k}}{2d}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} \approx \frac{v_{x,i+1,j,k} + 2v_{x,i,j,k} - v_{x,i-1,j,k}}{d^2}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 v_x}{\partial x \partial y} \approx \frac{v_{x,i+1,j+1,k} - v_{x,i+1,j-1,k} - v_{x,i-1,j+1,k} + v_{x,i-1,j-1,k}}{4d^2}, \quad (4)$$

где знак \approx означает замену производной в уравнениях Навье-Стокса численной оценкой производной; τ и $\tau+1$ – текущий и последующий шаги интегрирования по времени; Δt – величина шага интегрирования по времени; d – размер ячейки сетки дискретизации пространства.

Распространение загрязняющих веществ в движущейся воздушной среде описывается в модели уравнением диффузии [4, 5]:

$$\frac{\partial}{\partial t} c(\vec{r}, t) = (\nabla, D(\vec{r}, t) \nabla c(\vec{r}, t)) + Q(\vec{r}, t), \quad (5)$$

где $c(\vec{r}, t)$ – искомое распределение концентрации загрязняющего вещества в пространстве и его зависимость от времени; \vec{r} – радиус-вектор исследуемой точки пространства; t – время; $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$ – оператор набла; x, y, z – декартовы координаты исследуемой точки пространства; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные векторы декартова пространства; $(,)$ – скалярное произведение; $D(\vec{r}, t)$ – коэффициент диффузии вещества, зависящий от положения в пространстве и от времени; $Q(\vec{r}, t)$ – скорость поступления загрязнения от его источника, зависящее от положения в пространстве и от времени.

В конечно-разностной (сеточной) постановке задачи уравнение (5) преобразуется следующим образом. Для каждой ячейки (i, j, k) на каждом шаге интегрирования концентрация загрязняющего вещества текущей ячейки $c_{i,j,k}$ зависит от концентрации вещества в соседних ячейках следующим образом.

$$\frac{\Delta c_{i,j,k}}{\Delta t} = D_{i,j,k} \left(\frac{\Delta c_{i,j,k}}{\Delta x} + \frac{\Delta c_{i,j,k}}{\Delta y} + \frac{\Delta c_{i,j,k}}{\Delta z} \right) + Q_{i,j,k}. \quad (6)$$

где Δt – шаг дискретизации по времени; $\Delta x = \Delta y = \Delta z = d$ – шаг дискретизации пространства; $D_{i,j,k}$ – коэффициент диффузии; $Q_{i,j,k}$ – мощность источников загрязнения.

Для численного решения уравнения диффузии объем пространства, в котором производится моделирование, дискретизирован кубической сеткой на $200 \times 200 \times 200$ узлов; при этом общее количество узлов в модели составляет $8 \cdot 10^6$. Шаг дискретизации составляет от 5 до 50 м (в расчетах ниже принят $d_2 = 5$ м) в зависимости от масштаба процесса и территории, для которой необходимо выполнить прогноз. Каждый узел имеет шесть соседей, от которых возможен прием вещества, либо которым может производиться передача вещества.

В процессе совместного решения уравнений Навье-Стокса и диффузии производится наложение картины диффузии на поле скоростей воздушных масс, с учетом разного размера сеток, и изменение поля концентрации в соответствии с локальным направлением движения воздуха. В модели используются тривиальные граничные условия на всех шести гранях кубического объема, за исключением узла (5, 10, 0), который является источником поступления загрязнения и узла (10, 10, 0), который является источником вертикальной скорости воздуха (5 м/с).

Разработанный метод моделирования позволяет как прогнозировать распространение загрязнений в случае привязке к реальной карте с указанием термических потоков, так и изучать влияние параметров пожара и источников возмущения атмосферы на характер распространения загрязненной области.

Таким образом, в рамках настоящей статьи на основе уравнений диффузии и Навье-Стокса разработана математическая модель распространения загрязняющих веществ в результате пожара с учетом сложного самосогласованного движения воздушных масс. Модель позволит прогнозировать распространение загрязняющих веществ в пространстве с течением времени, а также изучить влияние параметров источника загрязнения и атмосферных возмущений на характер распространения загрязнения.

Литература

1. Советов, Б.Я. Моделирование систем : учебное пособие / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев // М. : Высш. шк., 1998. – 319 с.
2. Скорер, Р. Аэрогидродинамика окружающей среды. – М.: Мир, 1980. – 550 с.
3. Пэгин, Д. Поднять небо // Новая Каховка, 1997. – 344 с.
4. Темам, Р. Уравнения Навье-Стокса. Теория и численный анализ. – М.: Мир, 1981. – 400 с.
5. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. Ч. 2. – М.: Мир, 1990. – 400 с.

ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПЕРЕНОСА ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ НА ТЕРРИТОРИЮ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ С ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Коржавин, В.Н. Трапезникова, А.В. Трапезников, А.П. Платаев, А.И. Сучкова

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Российская Федерация, bfs_zar@mail.ru

Введение. Радиоэкологическая обстановка в Свердловской области, как и в целом в Уральском регионе, в значительной степени связана с деятельностью Производственного объединения «Маяк». Обусловлено это тем, что за период функционирования ПО «Маяк» произошло несколько крупных техногенных катастроф, сопровождающихся поступлением радиоактивных веществ в окружающую среду и загрязнением обширных территорий. Наиболее значимой для Свердловской области является авария 1957 года, когда в результате взрыва емкости для хранения нитроацетатных солей в окружающую среду было выброшено около 740 ПБк (20 млн. Ки) радиоактивных веществ, из которых 74 ПБк (2 млн. Ки) были рассеяны ветром в северо-восточном направлении, обусловив радиоактивное загрязнение северной части Челябинской, южной части Свердловской и небольшой территории Тюменской областей общей площа-

дью около 20 тыс. км². Впоследствии загрязненная территория была названа Восточно-Уральским радиоактивным следом (ВУРС). Радиоактивному загрязнению тогда подверглись 267 населенных пунктов [1].

Существенный дополнительный вклад в радиоактивное загрязнение южной части Свердловской области внесли газоаэрозольные выбросы радионуклидов в атмосферу [2]. До начала 60-х годов радиоактивные вещества поступали с газоаэрозольными выбросами в атмосферу почти без очистки, радиационное воздействие на население в результате выбросов радионуклидов в атмосферу прослеживалось на расстоянии до 60-70 км от ПО «Маяк» [3]. В настоящее время выбросы радионуклидов в атмосферу из труб предприятия в штатном режиме существенно снизилась в сотни и тысячи раз благодаря повышению эффективности систем газоочистки, но при этом нельзя полностью исключить вероятность возникновения новых внештатных ситуаций. Кроме того, на территории Челябинской области остались загрязненные участки в результате деятельности предприятия в предыдущие годы, поэтому возможен ветровой перенос с этих участков.

Для изучения уровней радиоактивного загрязнения территории Свердловской области в результате воздушного переноса с ПО «Маяк» была разработана методика круглогодичного мониторинга, которая была утверждена Министром природных ресурсов Свердловской области как «Концептуальная модель радиэкологического мониторинга на пути трансграничного воздушного переноса радионуклидов на территорию Свердловской области с объектов ядерного топливного цикла, расположенных в Челябинской области».

Материалы и методы. Согласно данной модели проводилось определение содержания долгоживущих техногенных радионуклидов: стронция-90, цезия-137 и плутония-239, 240 в зимний период – в снежном покрове, в летний период – в верхних слоях почвы, включая травостой, и воде открытых водоемов на реперных участках, расположенных вдоль границы Свердловской и Челябинской областей. Для определения фоновых значений содержания радионуклидов в исследуемых объектах предложена контрольная точка, которая вынесена за зону влияния ПО «Маяк».

Определение содержания ¹³⁷Cs проводили на низкофономом полупроводниковом гамма-спектрометре фирмы «Ortec» (США) с коаксиальной детекторной системой на базе высокоочищенного германия (HPGe) с эффективностью 40% при ошибке измерения не более 10% и нижнем пределе обнаружения 1 Бк/кг.

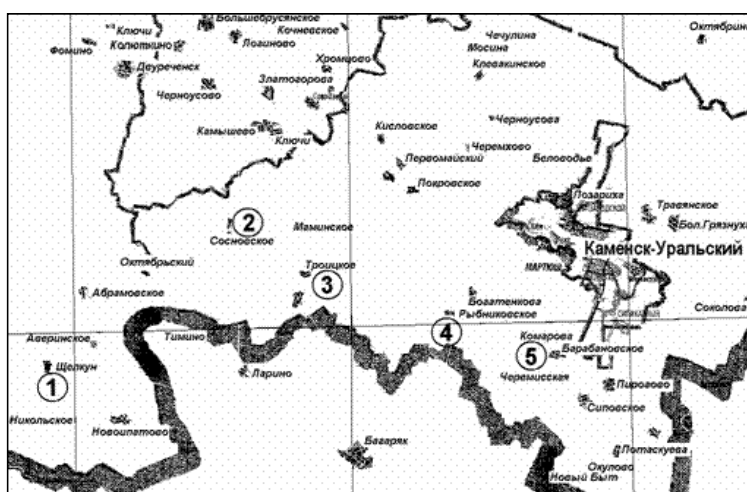


Рисунок 1. Расположение реперных участков на территории Свердловской области

Определение ^{90}Sr в образцах с низкой активностью проводили радиохимическим методом. Измерение β -активности проводили на низкофоновой установке УМФ-2000 с нижним пределом обнаружения 0,4 Бк/кг и статистической ошибкой измерения не более 10%.

Для определения содержания изотопов плутония в пробах воды использовали модификацию методики, разработанную сотрудниками RISØ National Laboratory (Дания) [4]. Измерение α -активности проводили на многоканальном альфа-спектрометре «Ortec» (США) с поверхностно-барьерными детекторами, с программным обеспечением «Alpha Vision-32». Ошибка счета не превышала 10%, а нижний предел определения составлял 0,01 Бк/кг.

Результаты исследований и их обсуждение. Плотность загрязнения снежного покрова ^{137}Cs на реперных участках и в контрольной точке, характеризующей уровень глобальных выпадений, не имели существенных отличий. На реперных участках плотность загрязнения за весь период наблюдения в среднем составила $0,11 \pm 0,06$ Бк/м², а в контрольной точке $0,08 \pm 0,03$ Бк/м². При этом в разные годы на реперных участках и в контрольной точке были отмечены колебания в виде всплесков и понижений, которые, по-видимому, связаны с рядом атмосферных явлений и неравномерным выпадением радиоактивных аэрозолей на обследованных территориях. Содержание ^{90}Sr в снежном покрове реперных участков в среднем было равно $2,61 \pm 1,10$ Бк/м², что также несколько выше, чем в контрольной точке. Более высокое содержание ^{90}Sr отмечено на реперном участке, расположенном в д. Комарова, на остальных плотность загрязнения снежного покрова приближалась к показателям контрольной точки.

Таким образом, загрязнение снежного покрова ^{137}Cs и ^{90}Sr на реперных участках и контрольной точке в основном было обусловлено глобальными выпадениями. Незначительные колебания в содержании радионуклидов в отдельные годы может быть обусловлено неравномерным выпадением атмосферных осадков и содержанием в них радиоактивных аэрозолей.

Плотность загрязнения снежного покрова $^{239,240}\text{Pu}$ на реперных участках была подвержена более существенным ежегодным колебаниям, по сравнению с контрольной точкой (рисунок 2).

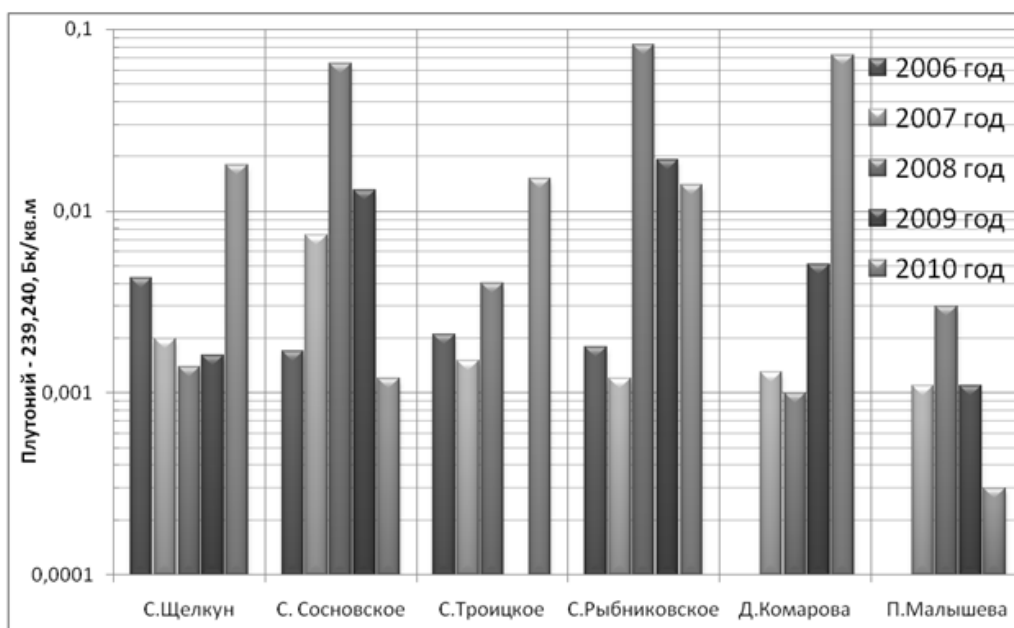


Рисунок 2. Плотность загрязнения снежного покрова плутонием-239, 240

Так, на реперном участке, расположенном в с. Сосновское, в 2008 году было отмечено увеличение содержания $^{239,240}\text{Pu}$ в 8,8 раз по сравнению с предыдущим годом, а по отношению к 2006 году – в 38 раз. В с. Рыбниковское в том же году содержание $^{239,240}\text{Pu}$ в снежном покрове возросло в 68 раз и было в 27 раз выше, чем в контрольной точке, и далее в последующие три года оставалось на более высоком уровне. Подобные увеличения содержания $^{239,240}\text{Pu}$ в снежном покрове были отмечены в 2010 г. в н.п. Комарова и Щелкун. При этом содержание $^{239,240}\text{Pu}$ в снежном покрове контрольной точки оставалось более стабильным, и не было подвержено столь резким ежегодным изменениям.

В количественном отношении содержание $^{239,240}\text{Pu}$ в снежном покрове контрольной точки за период наблюдения в среднем составило $0,0014 \pm 0,0001$ Бк/м², на реперных участках колебалось в довольно широких пределах от сотых до тысячных долей Бк на квадратный метр. Более высокое содержание $^{239,240}\text{Pu}$ было отмечено на реперных участках Рыбниковское, Комарова и Сосновское.

Заключение. Таким образом, газоаэрозольные атмосферные выпадения вышеуказанных техногенных радионуклидов в настоящее время не оказывают существенного влияния на приграничные территории, расположенные в южной части Свердловской области. В ряде населенных пунктов плотность загрязнения снежного покрова $^{239,240}\text{Pu}$, несколько отличалась от уровня глобальных выпадений. Но в количественном отношении содержание $^{239,240}\text{Pu}$ в снежном покрове было минимально и соответствовало сотым и тысячным долям Бк в расчете на квадратный метр, что не могло оказывать существенного влияния на радиационную обстановку обследованных территорий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований Президиума УрО РАН, проект № 15-2-4-12 и гранта РФФИ-Ямал № 16-45-890653.

Литература

1. Уткин, В.И. Особенности радиационной обстановки на Урале / В.И. Уткин, М.Я. Чеботина, А.В. Евстигнеев, М.Н. Любашевский // Екатеринбург, УрО РАН. – 2004. – С. 90–107.
2. Трапезников, А.В. Радиозэкологическая ситуация в Уральском регионе / А.В. Трапезников, В.Н. Трапезникова, И.М. Донник, И.А. Шкуратова // Учебно-методические рекомендации. – Екатеринбург: Уральское изд-во, 2006. – 45 с.
3. Последствия техногенного радиационного воздействия и проблемы реабилитации Уральского региона / Под общей редакцией С.К. Шойгу. – М.: Издательство «Комтехпринт», 2002. – 287 с.
4. Determination of Plutonium in environmental samples by controlled valence in anion exchange / Q. Chen, A. Aarkrog, S.P. Nielsen [et al.] // J. Radioanalyt. and Nuclear Chem. – 1993. – Vol. 172, no 2. – P. 281–288.

УГРОЗА КОМБИНИРОВАННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ АВАРИЯХ НА АЭС

Г.В. Мартиросян¹, С.Б. Федотов²

¹*Специальная пожарно-спасательная часть, Ереван, Армения*

²*ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России», Химки, Российская Федерация, sbfedotov@ya.ru*

Руководство Армении и специалисты МЧС Армении по-особенному воспринимают 30-летие чернобыльской катастрофы. Одной из причин этого является то, что на

территории страны, вблизи города Мецамор, находится Армянская АЭС (ААЭС), построенная еще в СССР.

При проектировании ААЭС была учтена высокая сейсмичность района размещения станции. Особенности проекта учитывали возможность 9,5-балльного землетрясения, представляя собой улучшенный и модернизированный вариант энергоблока № 3 Нововоронежской АЭС.

Серьезных происшествий избежать не удалось. Практическая эксплуатация ААЭС показала, что угроза может исходить не только от радиационной опасности предприятия:

- 15 октября 1982 года произошел пожар, в результате которого поврежден машинный зал; почти 7 часов 110 пожарных проводили тушение;
- 7 декабря 1988 года произошло Спитакское землетрясение силой в 11 баллов, но ААЭС полностью сохранила свою работоспособность.

Спитакское землетрясение выявило проблемы в работе сотрудников станции, так как сразу после землетрясения практически весь местный персонал покинул ААЭС, вследствие чего возникла угроза перегрева реактора. Для решения возникшей угрозы был привлечен персонал с других АЭС СССР, главным образом с Кольской АЭС.

Дальнейшая ситуация на самой ААЭС характеризовалась сильнейшей нехваткой специалистов, длительным (6,5 лет) закрытием станции. За это время блок № 1 был приведен в негодность (парогенераторы восстановить невозможно), оборудование блоков ААЭС разукomплектовано и продано.

Положительно можно охарактеризовать результаты первого в мире опробования нового оборудования: 1) гидроамортизаторов, рассчитанных на большие усилия; 2) установки глубокого упаривания слабоактивных жидких отходов, что позволяет значительно уменьшить объемы сохраняемых радиоактивных отходов.

Проведение моделирования на ААЭС чрезвычайной ситуации (ЧС), вызванной причинами аналогичными выведшим из строя японскую АЭС «Фукусима-1», показало, что при работе АЭС в Армении подобные риски практически исключены. ААЭС находится под постоянным контролем Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ).

По решению руководства Армении в стране разрабатываются и реализуются следующие программы по работе с населением:

- ликвидация неграмотности населения в области производства электроэнергии и сущности работы АЭС;
- агитация молодых специалистов к проведению научных исследований в области атомной промышленности.

Положительный результат дает привлечение работников ААЭС к проведению тематических уроков в школах, интеллектуальных соревнований и разъяснительной работы с населением.

В современных условиях специалисты МЧС Армении, совместно со специалистами МЧС России, проводят научный анализ наличия угроз для АЭС, вызванных не только названными причинами радиоактивных угроз, землетрясений и пожаров, но и ЧС, возникших на других опасных объектах, находящихся в нескольких десятках километров от ААЭС.

Одним из таких опасных объектов вблизи от ААЭС является крупнейший в регионе химический завод «Наирит», выпускающий синтетический хлоропреновый каучук. На заводе были случаи возникновения аварийных ситуаций. Не так давно, 14 мая 2009 года на заводе «Наирит» произошел взрыв в цехе по производству хлоропрена. Причины взрыва, вызвавшего пожар, в результате которого погибли и пострадали более десяти человек, до сих пор не установлены.

Проводился научный анализ последствий временного закрытия завода «Наирит» в 1989–1993 годах, включая сохранение масштабной угрозы от большого количества хранящихся на нем химических веществ.

На повышение сложности решения организационных вопросов обеспечения безопасности предприятия влияет тот факт, что в настоящее время завод «Наирит» реконструируется и находится в коллективной собственности правительства Армении, в лице министерства энергетики и природных ресурсов, британского консорциума Rhinoville Property Limited, польской фирмы Samex, американской фирмы Intertex, российского «Еврогаза». Продукция завода (хлоропреновый каучук и каустическая сода) реализуется в Армении, странах Евросоюза, России, США, Иране, Грузии и еще в 20-ти странах. Ключевая роль ААЭС и завода «Наирит» в экономике Армении не позволяет вновь поднимать вопрос об их закрытии. При реконструкции вносятся значительные изменения в технологический процесс.

Кроме завода «Наирит» в Армении имеются опасные предприятия:

– в Ванадзоре Лорийской области – химический завод имени Мясникяна (производит уксусную кислоту и ее производные, кальций, азотные удобрения, азотную кислоту, цианплав, меламин, карбамид т.д.);

– в Алаверди Лорийской области – завод по производству серной кислоты и купороса;

– «Polyvinilacetat» – фабрика по производству поливинилацетата, поливинилового спирта и т.д.

Вышеизложенное показывает, что объектовая ЧС на каждом предприятии может стать причиной объектовой ЧС на соседнем предприятии, а в совокупности – общегосударственной ЧС, переходящей в трансграничную. К радиационной опасности аварий на АЭС придется добавить поражающие свойства аварийно-химических опасных веществ, что повлечет за собой угрозу пролива или выбросов опасных химических веществ, химическое поражение людей, химическое заражение продовольствия, пищевого сырья и кормов, сельскохозяйственных животных и растений, окружающей природной среды. Многие вещества, используемые в химической промышленности, пожароопасны, а некоторые взрывоопасны.

Глобальный характер может иметь соединение радиоактивных облаков с облаками от выбросов опасных химических веществ. Динамика процессов взаимодействия радиоактивных и химических опасных веществ внутри такого радиационно-химического облака еще подлежит научным исследованиям.

Полученные на сегодняшний день научные результаты не позволяют утверждать о найденных путях решения и устранения имеющихся проблем. В современных условиях продолжаются и должны продолжаться научные исследования по обоснованию организационных, технических, нормативно-правовых, нормативно-технических, экономических, социальных и иных путей решения защиты от опасности комбинированных ЧС, происходящих на нескольких объектах одновременно. Очевидна связь защиты от указанных ЧС с мероприятиями гражданской обороны, так как современные события показывают, что при военных конфликтах требования положений Женевских конвенций 1949 года не выполняются или же выполняются избирательно.

В Республике Беларусь ведется работа по созданию собственной АЭС, при этом должен быть принят к сведению практический и научный опыт исследования комбинированных проблем защиты АЭС, с учетом индивидуальных особенностей. Кроме того, в Закон Республики Беларусь «О гражданской обороне» предлагается включить указанную в Дополнительном протоколе к Женевским конвенциям задачу «борьбы с пожарами».

Литература

1. Басов, В.И. Региональная эффективность проектов АЭС / В.И. Басов, М.С. Доронин, П.Л. Ипатов [и др.]; под общ. ред. П.Л. Ипатова // М.: Энергоатомиздат, 2005. – 228 с.
2. Основы современной энергетики / Под общ. ред. чл.-корр. РАН Е.В. Аметишова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – Т. 1. – 472 с.

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В БЕЛОРУССКОМ СЕКТОРЕ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Ю.Д. Марченко, В.Е. Белаш

*ГПНИУ «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»,
Хойники, Республика Беларусь, umd66@yandex.ru*

Введение. Известно, что метеорологические условия оказывают решающее значение на пожарную опасность в лесах скорость их распространения и относятся к прямо действующим факторам. При этом леса белорусского сектора зоны отчуждения Чернобыльской АЭС (далее ЗО) характеризуются высоким классом природной пожарной опасности и являются потенциально пожароопасными, в особенности в засушливые периоды. Сухая жаркая погода создает самые благоприятные условия для возникновения и распространения огня. Стоит подчеркнуть, что снижение интенсивности лесохозяйственных мероприятий в лесном фонде по причине радиоактивного загрязнения привело к накоплению большого количества лесных горючих материалов. Если пожары во всем мире наносят, в основном, материальный ущерб экономике, то выгорание загрязненных радионуклидами площадей в ЗО приводит к специфическому ухудшению экологической обстановки с вытекающими из этого последствиями. Периодичность пожаров или предрасположенность к ним, вообще и в ЗО в частности, определяется типом растительности, филогенетическими и фитоценологическими изменениями во времени, деятельностью человека, изменениями погоды [1]. Цель данной работы заключалась в установлении количественных показателей значимых метеофакторов, влияющих на возникновение и распространение лесных пожаров в белорусском секторе зоны отчуждения.

Материалы и методы. Комплекс инструментальных измерений и визуальных оценок метеорологических величин, и их характеристик, выполняемый на территории белорусского сектора ближней зоны ЧАЭС производился в соответствии с техническим кодексом установившейся практики – «Правила проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях». Рассмотрены количественные показатели основных погодных факторов влияющих на распространение лесных пожаров. Проанализирована горимость лесов в ЗО за последний десятилетний период в соответствии с первичными материалами их учета.

Результаты исследований и их обсуждение. В практике работ основными учитываемыми погодными факторами, влияющими на распространение пожара, являются: ветер, влажность и температура воздуха. При изучении лесных пожаров проведен анализ следующих показателей: число пожаров, общая площадь пожаров и средняя площадь пожара на один случай, которая является показателем оперативности его обнаружения и ликвидации. В таблице 1 представлены количественные показатели отдельных метеорологических элементов в течение пожароопасного сезона (с апреля по октябрь),

которые отражают причинные особенности возникновения и распространения лесных пожаров за последнее десятилетие. Наличие сильных колебаний режима ветров, обусловленных сильной турбулентностью, отмечается при наблюдениях особо как порывистость или шквалистость.

Как видно из приведенных в таблице данных, большое влияние на вероятность возникновения пожаров играли высокая плюсовая температура и малое количество осадков в пожароопасный период, соответственно, низкий коэффициент увлажнения. Ветер, в зависимости от его скорости, оказывает влияние на перенос горящего материала от основного очага горения на различные расстояния и тем самым увеличивает горимость лесов. Кроме того ветер является важным фактором, воздействующим на уменьшение влажности воздуха. Известно, что, чем сильнее ветер, тем быстрее распространяется пожар. При скорости ветра более 6 м/с низовые пожары могут переходить в верховые.

Таблица 1 – Динамика отдельных метеорологических величин и лесные пожары за период 2006–2015 гг. в зоне отчуждения ЧАЭС

Период	Ветер макс. порыв, м/с	Сумма осадков, мм	Коэффициент увлажнения	Температура воздуха, °С.	Число лесных пожаров, шт.	Общая площадь лесных пожаров, га
2006 г.	12,0	423,3	1,0	14,3	0	0,0
2007 г.	15,0	426,3	0,7	15,0	2	0,6
2008 г.	15,0	411,7	0,8	14,8	1	0,08
2009 г.	13,5	344,5	0,7	14,1	1	0,6
2010 г.	19,7	393,7	0,8	15,6	5	23,4
2011 г.	15,1	509,6	1,0	14,5	2	10,9
2012 г.	14,0	560,9	1,3	15,4	1	4,6
2013 г.	17,0	406,0	0,9	15,2	2	5,5
2014 г.	12,8	376,9	0,7	14,7	3	8,7
2015 г.	17,5	237,0	0,3	14,6	14	13366,8

Многолетние мониторинговые исследования метеорологических условий показывают, что характерной особенностью территории является превышение суммы осадков за год над количеством испарившихся с поверхности влаги, что создает промывной тип водного режима и приводит к заболачиванию пониженных участков, образованию полугидроморфных и гидроморфных почв. Тем не менее, периодически на территории данного региона наблюдаются засушливые периоды способствующие возникновению и распространению лесных пожаров. Особо обращает на себя внимание незначительное количество атмосферных осадков в течение пожароопасного сезона в 2015 году, сумма которых составила всего 273 мм (коэффициент увлажнения 0,3), в результате чего произошел самый большой за время существования зоны отчуждения лесной пожар на площади 13325 га. Сложившиеся в 2015 году метеоусловия способствовали наиболее высокой горимости лесов и увеличению количества лесных пожаров до 14 общей площадью 13366,8 га. Стоит подчеркнуть, что все погодно-климатические факторы действуют на экосистемы не изолированно, а комплексно, и в зависимости от характера сочетания этих факторов воздействие их будет различным.

Известно, что нагретый на солнце горючий материал теряет влагу и горит более быстро, чем при отсутствии прогрева. Количество влаги, содержащейся в воздухе, отражается на влагосодержании горючих материалов. Вместе с тем влажность воздуха является весьма изменчивой характеристикой, она зависит от многих факторов, в том числе от физико-географических условий местности, времени года, суток и ряда других. Для ее описания используются различные показатели: парциальное давление водяного пара, относительная влажность, дефицит насыщения, точка росы. Важно знать и

среднее число дней с высокой относительной влажностью, когда даже в дневные часы относительная влажность не опускается ниже 80%, и низкой, когда хотя бы в один из сроков наблюдений относительная влажность уменьшается до 30% и менее. Так в 30 относительная влажность воздуха составляет в среднем за год 78% при наибольших среднемесячных величинах (86-89%) в декабре-ноябре, и наименьших (69-70%) – в мае-апреле. Среднее количество влажных дней (>80%) составило 179. Наибольшее их количество, 217 дней, наблюдалось в 2006 году. А вот сухих дней, когда в дневные часы относительная влажность понижалась до 30% и менее, оказался 2015 год, когда их наблюдалось до 94. Парциальное давление водяного пара, которое зависит от количества водяного пара в единице объема, для данной территории составляет в среднем 9,5 гПа. Годовой ход сходен с ходом температуры воздуха – чем выше температура воздуха, тем большее количество водяного пара может в нем находиться. Тем не менее, в естественных условиях на эту связь в приземном слое атмосферы непосредственно влияют величина испарения и интенсивность турбулентного перемешивания. При слабом обмене в приземном слое содержание водяного пара вблизи земной поверхности повышается, и изменение его во времени зависит от влажности и структуры почвы, уровня грунтовых вод, наличия и характера растительности и т.д. Минимальная величина парциального давления водяного пара (4,7-4,8 гПа) наблюдается в январе-феврале, максимальная (17,2-17,4 гПа) – в июле. Дефицит насыщения водяного пара, т.е. разность между давлением насыщенного водяного пара при данной температуре и фактическим парциальным давлением в среднем за год составляет 3,7 гПа. Недостаток насыщения воздуха водяным паром в зимний период составляет 0,5-0,8 гПа. С марта он увеличивается и достигает максимума 7,8-8,7 гПа в июне-июле. Среднегодовая температура, при которой содержащийся в воздухе пар при неизменном давлении достигает состояния насыщения, т.е. точка росы, для исследуемой территории в среднем составляет 3,4 °С.

Заключение. Таким образом, можно сделать следующие выводы, что большое влияние на возможность возникновения и распространения лесных пожаров в белорусском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС играют погодные условия данной территории. Установлено, что на территории региона периодически наблюдаются засушливые периоды, способствующие их возникновению и распространению. Определено, что, чем выше плюсовая температура и чем меньшее количество атмосферных осадков выпадает в пожароопасный период (с апреля по октябрь), тем больше вероятность возникновения и распространения огня. Ветер, в зависимости от его скорости, оказывает влияние на перенос горящего материала от основного очага горения на различные расстояния, и тем самым увеличивает горимость лесов. Отмечено, что все погодно-климатические факторы действуют на экосистемы не изолированно, а комплексно, и в зависимости от характера сочетания этих факторов воздействие их будет различным. Зафиксировано незначительное количество атмосферных осадков в течение пожароопасного сезона в 2015 году, сумма которых составила всего 273 мм (коэффициент увлажнения 0,3), в результате чего произошел самый большой за время существования зоны отчуждения лесной пожар на площади 13325 га. Сложившиеся в 2015 году метеоусловия в большей степени способствовали возникновению и распространению лесных пожаров в белорусском секторе зоны отчуждения.

Литература

1. Обризан, С.М. Влияние опасных природных явлений и процессов в зоне отчуждения на радиоактивное загрязнение окружающей среды / С.М. Обризан, Б.А. Годун, С.И. Киреев // Международный научный семинар «Радиоэкология Чернобыльской зоны», Славутич, 2006. – С. 54–56.

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИИ МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Ф. Мирончик

УО «Могилевский государственный университет продовольствия», Могилев, Республика Беларусь, plissa-maf@rambler.ru

Введение. Концентрация предприятий промышленности, энергетики, коммунального хозяйства и автомобильного транспорта в крупных промышленных регионах в сочетании с высокой плотностью населения привели к появлению проблем экологического, санитарно-гигиенического и социального характера. Нарастающие в связи с этим противоречия между загрязнением окружающей среды (ОС) и ее экологической емкостью определяют необходимость разработки системы оценки последствий и поиска путей оптимизации техногенного воздействия на ОС. Комплексная оценка радиохимикоэкологической ситуации в крупном хозяйственном регионе является сложной проблемой и должна рассматриваться как единая система «источники воздействия–окружающая среда–человек» (ИВОСЧ). Источники загрязнения в результате производимых выбросов (сбросов) вызывают негативные последствия в природных и аграрных экосистемах, что непосредственно влияет на здоровье человека и условия его жизнедеятельности, причем степень воздействия различных видов загрязнителей в значительной степени зависит от экологических факторов природных и аграрных экосистем. Поэтому сложность решения этой задачи обусловлена многофакторностью и взаимозависимостью протекающих процессов [1, 2]. Цель – принятие управленческих решений по обеспечению безопасности проживания населения в условиях техногенеза (рисунок 1). Методологические принципы комплексной оценки и прогноза состояния источников опасности, ОС и здоровья населения базируются на сочетании экологического, санитарно-гигиенического и социально-экономического подходов, использование которых имеет равноценное значение.

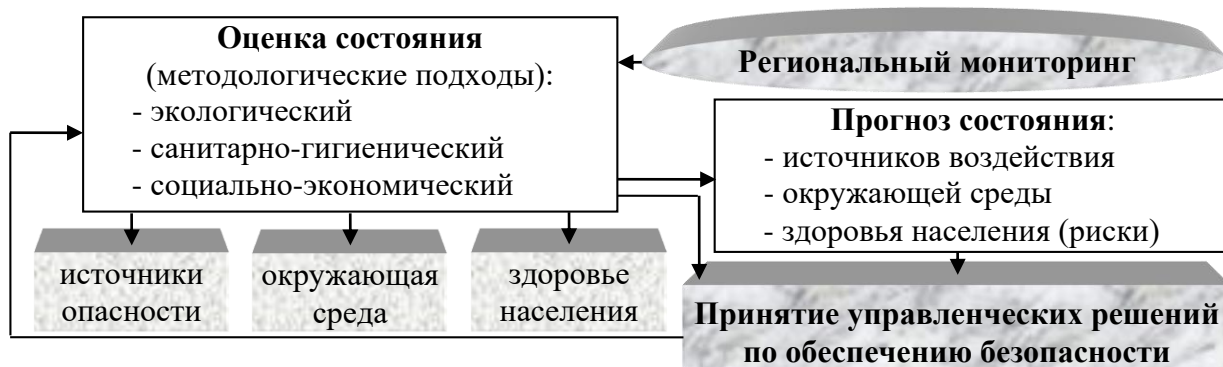


Рисунок 1. Концептуальная схема оценки воздействия техногенных факторов на окружающую среду и население

Результаты исследований и их обсуждение. В качестве методологической основы при анализе взаимосвязей системы ИВОСЧ использован системный подход, основанный на использовании совокупности научных направлений, объединенных общей методологией анализа всех факторов, путей и методов решения задачи в конкретных условиях. При этом совокупность источников воздействия, находящихся на территории области, рассматривается как сложная система общего антропогенного воздействия на

человека и природную среду. В то же время, каждый источник рассматривается и в качестве системы, находящейся на более низком иерархическом уровне [3].

Системный анализ отдельного источника техногенной опасности основан также и на применении процедуры выбора. В качестве альтернативных вариантов учтены возможные состояния опасного объекта и ОС, характеризуемые значениями определенного параметра. Таким параметром выбран уровень безопасности, выраженный, через величину риска. Многофакторность взаимодействий требует организации системы комплексного регионального мониторинга, содержащего необходимую информацию для полной оценки возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС). Основной целью создания системы комплексного мониторинга является информационная поддержка подготовки и принятия управленческих решений по предупреждению и ликвидации ЧС и смягчению их последствий на основе объединения интеллектуальных, информационных и технологических возможностей различных ведомств, занимающихся вопросами мониторинга в техносфере и окружающей природной среде. К основным задачам комплексного мониторинга отнесены: учет источников антропогенного воздействия и потенциально опасных объектов экономики; слежение за обращением радиоактивных и аварийно химически опасных веществ, контроль за радиоактивными и химическими отходами; выявление основных источников и путей радиоактивного и химического загрязнения ОС; установление приоритетных радионуклидов и химических веществ; регистрация текущего уровня радиоактивного и химического загрязнения экосистем и антропогенных ландшафтов, наблюдение и выявление тенденций в его изменениях; прогноз техногенной опасности в территориальных и объектовых звеньях экономики; комплексная оценка состояния ОС и прогноз возможных негативных последствий радиоактивного и химического загрязнения; изучение общих закономерностей поведения радиоактивных веществ и химических поллютантов в экосистемах, обобщение информации и создание банков данных; разработка рекомендаций по предупреждению и устранению негативных тенденций, связанных с радиоактивным и химическим загрязнением, возникновением ЧС природного и техногенного характера; обеспечение органов исполнительной власти объективной информацией о текущем состоянии потенциально опасных объектов экономики и ОС, уровнях ее загрязнения радиоактивными и химическими веществами для принятия решений, направленных на защиту населения и территорий, предупреждение и ликвидацию ЧС природного и техногенного характера.

В соответствии с существующей классификацией, по масштабам проведения мониторинг Могилевской области относится к региональному уровню. Однако наличие большого числа потенциально опасных объектов, в т.ч. радиационно- и химически опасных, определяет необходимость проведения вокруг них локального мониторинга. Нахождение потенциально опасных объектов в областном и районных центрах обуславливает проведение мониторинга на местном уровне (рисунок 2). Осуществление мониторинга на всех уровнях требует построения соответствующей иерархической структуры и системы управления мониторингом. Для картографической привязки использован геоинформационный программный комплекс с векторными картами масштаба 1:200000, объединяющий базы данных по всем природным и антропогенно-измененным средам, источникам техногенного воздействия и состоянию здоровья населения, а также содержащий необходимые данные для расчетов по имитационным моделям. Использование ГИС технологии с привязкой данных и визуализацией моделируемых процессов позволяет осуществлять планирование мероприятий по защите населения в случае возникновения ЧС, вырабатывать стратегические направления по природной, техногенной и экологической безопасности населения Могилевской области.



Рисунок 2. Схема управления мониторингом

На региональном уровне суммарная техногенная нагрузка оценивается на основании количества и особенностей размещения потенциально опасных объектов, суммарных выбросов (сбросов) радиоактивных и химических веществ в воздушный бассейн и поверхностные воды, общего загрязнения природных сред, селитебных агломераций и сельхозугодий. Осуществляется оценка техногенного риска для области в целом, отдельных поселений и объектов экономики, а также риска проживания населения на загрязненных радиоактивными и химическими веществами территориях.

На местном уровне более детально оценивается состояние ОС, объектов экономики и здоровья населения по контролируемым параметрам: в выбросах и сбросах (потоки и содержание в них загрязняющих веществ); в атмосферном воздухе; в поверхностных и грунтовых водах; в почвенном покрове; в объектах флоры и фауны; на потенциально опасных объектах; количество работающих и населения, попадающего в зону поражения; способы защиты и меры предупреждения ЧС; в социально-гигиеническом отношении – заболеваемость по половозрастным группам, рождаемость, смертность, риск для здоровья от различных факторов техногенной нагрузки и природных явлений.

На локальном уровне проводится мониторинг в зоне размещения отдельных радиационно- и химически опасных объектов. Наблюдения ведутся за источником воздействия; ОС; наличием газообразных выбросов радиоактивных и химических веществ в атмосферу; выпадением аэрозолей атмосферного воздуха в зоне наблюдения и санитарно-защитной зоне; содержанием радиоактивных и химических веществ в воде открытых водоемов; изменением гамма-фона; загрязнением поверхностного слоя почвы; содержанием радиоактивных и химических веществ в растительности, в сбросных и хозяйственных водах объекта.

Прогноз осуществляется на основе собранной в ходе комплексного мониторинга информации о состоянии ОС, источниках и факторах антропогенного воздействия, а также на базе научных положений о закономерностях протекания процессов в данной предметной области. Параллельно со сбором информации создаются математические модели процессов антропогенного воздействия с учетом данных ретроспективного анализа факторов антропогенного воздействия. После проведения необходимых расчетов производится оценка адекватности модели реальным процессам и достоверности получаемой прогнозной информации. В ситуациях, связанных с техногенным воздействием и зависящих от многих природных факторов, целесообразно применить метод максимума правдоподобия, основанный на вероятностном подходе [4]. Прогноз состояния техногенных источников опасности, ОС и здоровья населения основан на ряде математических моделей: возможных ЧС в промышленности, на транспорте, сельском хозяйстве; распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и водных объектах в зависимости от количественных и качественных характеристик выбросов и сбросов загрязняющих веществ, метеобстановки; метеорологических ситуаций на региональном, местном и локальном уровнях, позволяющих определять и прогнозировать температуру, влажность, осадки, характеристики воздушных потоков по горизонтам; биоценозов, позволяющих оценить реакцию биологических систем на изменение состояния ОС; медико-экологических моделей, раскрывающих воздействие на здоровье населения региона антропогенных и природных факторов, оценки риска; эколого-экономических моделей [4, 5], позволяющих оценить экономический ущерб от природных и техногенных ЧС и затраты на восстановление природной среды.

В соответствии с разработанной концепцией и организационной структурой выделены основные этапы создания комплексного регионального мониторинга Могилевской области: разработка нормативной правовой базы; создание и организация работы системы; разработка систем поддержки принятия управленческих решений по оптимизации предупредительных мер и действий в ЧС природного и техногенного характера.

Литература

1. Брушлинский, Н.Н. Снова о рисках и управлении безопасностью систем / Н.Н. Брушлинский // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М.: ВИНТИ, 2002. – Вып. 4. – С. 203–234.
2. Акимов, В.А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В.А. Акимов, В.Д. Новиков, Н.Н. Радаев // М., 2001.
3. Марчук, Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
4. Санюк, Н.В. Использование геоинформационных технологий в оценке и прогнозировании ущерба чрезвычайной ситуации / Н.В. Санюк // Известия Белорусской инженерной академии, 2004. - № 1 (17/5). – С. 64–67.
5. Гусев, А.А. Чрезвычайные ситуации: экономический ущерб и инвестиции в предупреждении / А.А. Гусев, С.Н. Козьменко, О.В. Козьменко // Экономика и математические методы. – 2000. – Т. 36. – № 1. – С. 36–46.

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ОЧАГА ВОЗГОРАНИЯ

В.Н. Пасовец¹, В.А. Ковтун², А.А. Дараган³

¹ГУО «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Минск, Беларусь

²ГУО «Гомельский инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Гомель, Беларусь

³У «Республиканский центр тылового обеспечения» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Минск, Беларусь

Введение. Авария на Чернобыльской АЭС является одной из крупнейших техногенных катастроф в истории человечества. Данной аварией был нанесен колоссальный ущерб, как здоровью людей, так и окружающей среде. Эта трагедия послужила мощным толчком к развитию робототехники, способной выполнять задачи по ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) на объектах атомной энергетики [1, 2].

На сегодняшний день пожарные роботы обеспечивают оперативное тушение очага возгорания в его начальной стадии без участия человека и приводятся в действие по объективным показателям, таким как уровень содержания продуктов горения в газозвушной смеси, температура окружающей среды и спектр светового потока. Применение данных устройств противопожарной защиты актуально на объектах, где установка традиционных дренчерных и спринклерных автоматических установок пожаротушения либо невозможна из-за объемно-планировочных решений объекта и негативных факторов, препятствующих участию людей тушению пожара, либо экономически не целесообразна из-за материального ущерба, наносимого в процессе ликвидации очага возгорания.

Материалы и методы. Проведенный анализ литературы в данной области [3–5] позволяет сделать вывод о том, что на сегодняшний день отсутствуют пожарные роботы для защиты помещений жилого и офисного фондов, научных лабораторий с дорогостоящим оборудованием, объектов атомной энергетики, электрощитовых, компьютерных залов и других объектов, что создает предпосылки для решения актуальной проблемы по разработке роботизированного комплекса автоматического обнаружения и ликвидации очага возгорания. Таким образом, цель работы заключалась в разработке роботизированного комплекса автоматического обнаружения и ликвидации очага возгорания.

В процессе выполнения научных исследований работниками Министерства по чрезвычайным ситуациям разработана новая конструкция роботизированного комплекса, предназначенного для обнаружения и ликвидации очага возгорания в начальной стадии развития пожара до появления пламени, что является его основным отличием от существующих систем. В качестве огнетушащих веществ в данном комплексе возможно применение воды, пенных растворов, аэрозолей и их комбинаций в зависимости от условий и факторов, преобладающих в защищаемой зоне.

При разработке предусмотрены три режима управления роботизированным комплексом: ручной – обеспечивается посредством специализированного программного обеспечения, установленного на персональном компьютере оператора; при помощи радиопульта; автоматический, при котором вмешательство оператора в работу системы исключено, тушение производится согласно алгоритма программы, отключение возможно только лицами, ответственными за противопожарное состояние; комбинированный – позволяет оператору вносить корректировки в процессе работы комплекса,

например, корректировать траекторию движения, отключать модуль обнаружения и ликвидации очага возгорания.

Основными элементами разработанного комплекса являются: модуль обнаружения и ликвидации очага возгорания; активные элементы обнаружения возгорания; контроллер синхронизации; блок радиуправления; радиопульт оператора; источник бесперебойного питания; электроклапан подачи огнетушащих веществ. Протокол интеграции разработанного комплекса в существующую систему передачи данных определен стандартом RS-485. Для установления связи между ведомыми устройствами и устройствами управления применяется защищенный на основе CRC-кодирования радиоканал с полосой частот 418-455 МГц.

Контроллер синхронизации необходим для интеграции роботизированного комплекса в существующую систему пожаротушения. Функциональное назначение контроллера синхронизации заключается в передаче адреса активного элемента обнаружения факторов горения на приемно-контрольный прибор пожарной сигнализации, управлении энергопотребителями, запуске систем: оповещения, эвакуации и дымоудаления. Посредством контроллера синхронизации осуществляется передача тепловой карты на персональный компьютер оператора, дистанционное управление роботизированным комплексом, а также трансляция управляющих сигналов в обоих направлениях.

Активные элементы обнаружения факторов пожара предназначены для адресной инициализации систем оповещения, сигнализации, дымоудаления и запуска модуля обнаружения и ликвидации очага возгорания. В зависимости от эксплуатационных параметров и характеристик защищаемого объекта, в качестве данных элементов могут быть применены дымовые извещатели, датчики пламени, температурные датчики и другие элементы различных типов, подключенные как по схеме однотипного исполнения, так и по комбинированной схеме.

Модуль обнаружения и ликвидации очага возгорания предназначен для своевременного предупреждения развития пожара путем подачи огнетушащих веществ в зону горения. Активация данного модуля осуществляется за счет активных элементов комплекса. На сегодняшний день разработана конструкция модуля автоматического обнаружения и ликвидации очага возгорания, представленная на рисунке 1.

Принцип взаимодействия основных компонентов модуля автоматического обнаружения и ликвидации очага возгорания в режиме «Пожар» заключается в следующем. При помощи основания *1* модуль крепится к потолку или перекрытию защищаемого объекта, согласно проекту системы пожаротушения. При активизации роботизированного комплекса, управляющий контроллер синхронизации подает сигнал на электропривод вертикального перемещения *19*, выводящий сопло *8* в положение режима «Пожар». Взаимодействие подвижной части модуля с основанием осуществляется через передачу винт-гайка *11*. Во избежание перекоса при движении вышеупомянутых частей модуля по направляющим осям *2* предусмотрены отжимные пружины *15*.

Пространственное позиционирование сопла *8* осуществляется сервоприводами *20* и *22* по сигналу управляющего контроллера синхронизации. Вращение подвижной части относительно собственной оси совершает сервомотор *20*. Для уменьшения потерь на трение между диском *6* и корпусными элементами (корпус *13* с шайбой *5*) предусмотрен упорный подшипник *16*. Передача вращательного момента от сервопривода *20* к диску *6* происходит по средствам цилиндрической зубчатой передачи. Позиционирование сопла *8* в декартовой системе координат осуществляется сервоприводом *22*, жестко смонтированным на диске *6*, через зубчатой передачи, выполненной в виде шестерни *18* и зубчатого гребня на корпусе сопла *8*.

Подача огнетушащего вещества производится через угольник *4*, подсоединенный к напорной магистрали, втулку поворотную *10* и непосредственно сопло *8*. Для

предотвращения течи в подвижных соединениях предусмотрены полиуретановые уплотнения 24 и 25. На поворотном сопле 8 установлен инфракрасный датчик, позволяющий получить тепловую карту защищаемого объекта.

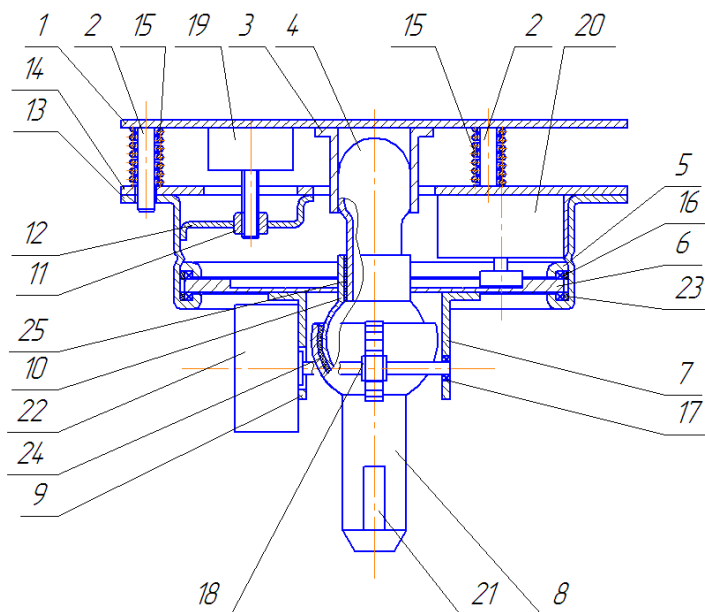


Рисунок 1. Конструкция модуля автоматического обнаружения и ликвидации очага возгорания

Специализированное программное обеспечение в автоматическом режиме по объемным температурно-временным критериям и заданному алгоритму программного обеспечения способно различать объекты (людей, источник возгорания, объекты с повышенным тепловым выделением). В результате чего разработанный роботизированный комплекс исключает большие временные и материальные затраты на настройку системы и ввод ее в эксплуатацию. Примером распознавания может служить предварительное определение траектории движения домохозяйки с нагретыми предметами на кухне, что в дальнейшем исключит ложное срабатывание системы.

Для регулировки диаметра следа распыла огнетушащих веществ на сопле устройства устанавливается регулируемая насадка. Ее настройка осуществляется в автоматическом режиме посредством управляющих сигналов автоматики и пьезоэлемента.

В качестве приводов, координирующих поворотное сопло, применяются высокомоментные и в то же время низковольтные сервоприводы. Для реализации поступательного перемещения служит двигатель постоянного тока.

Электроклапан предназначен для управления подачей огнетушащего вещества. Исполнительным устройством является сервопривод с клапанным механизмом. Управление осуществляется по сигналу от контроллера синхронизации.

Электропитание системы осуществляется от источника бесперебойного питания, но, во избежание непредвиденного отключения устройств, в процессе негативного воздействия факторов пожара они комплектуются встроенными элементами питания, например, аккумуляторами.

Заключение. Таким образом можно отметить, что, несмотря на активное применение существующих систем автоматического пожаротушения, остается актуальным вопрос разработки роботизированных комплексов автоматического обнаружения и ликвидации возгорания, позволяющих снизить затраты на огнетушащие вещества, а также минимизировать ущерб от тушения, в том числе защищаемых объектов энерге-

тики. Внедрение на практике разработанного роботизированного комплекса автоматического обнаружения и ликвидации очага возгорания позволит повысить уровень безопасности эксплуатации защищаемого объекта, сократить материальные затраты на приобретение специализированного противопожарного оборудования, минимизировать ущерб от воздействия опасных факторов пожара.

Литература

1. Репин, В.М. Роботизация ликвидации последствий радиационных аварий и актов радиационного терроризма / В.М. Репин, С.А. Пименов // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2010. – № 01 (23). – С. 136–139.
2. Юревич, Е.И. Авария на Чернобыльской АЭС и экстремальная робототехника / Е.И. Юревич // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – № 3. – С. 22–24.
3. Пожарные роботы в современных технологиях автоматического пожаротушения [Электронный ресурс] /Мост Безопасности. – Ю. Горбань, 2010. – Режим доступа: <http://www.security-bridge.com>. – Дата доступа: 25.10.2015.
4. Пермский «Валли». Робот-пожарный, который не боится дыма и огня [Электронный ресурс] / Аргументы и факты. – Д. Овчинников, 2014. – Режим доступа: <http://www.aif.ru>. – Дата доступа: 25.10.2015.
5. Роботизированный пожарный комплекс: пат. 2319530 РФ, А62С37/00 / Ю.И. Горбань, заявитель ЗАО «Инженерный центр пожарной жаротехники» ЭФЭР»-2005136627/12; заявл. 24.11.05; публ. 20.03.08 // Официальный бюллетень / Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – 2008. – № 8.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВЫХ ФОРМ МЕДЛЕННОДЕЙСТВУЮЩИХ УДОБРЕНИЙ В СЛУЧАЕ АВАРИЙНОГО ВЫБРОСА ^{137}Cs И ^{90}Sr В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Е.Г. Сарасеко

*ГУО «Гомельский инженерный институт» Министерства по чрезвычайным
ситуациям Республики Беларусь, Гомель, elen_saraseko@tut.by*

Введение. Особенностью объектов атомной энергетики, основную часть которых составляют атомные станции, является образование и накопление радиоактивных веществ в процессе их эксплуатации, большую часть которых составляют продукты деления урана. Именно по этой причине с АЭС связан специфический риск – потенциальная радиологическая опасность для населения и окружающей среды в случае выхода продуктов деления за пределы АЭС. По оценкам специалистов, в результате катастрофы на четвертом энергетическом блоке Чернобыльской АЭС в атмосферу было выброшено не менее 180 Ки радиоактивных веществ, две трети которых выпало на территорию Республики Беларусь. Радиоактивному загрязнению подверглись 45,6 тыс. км², или 23% территории страны, в том числе более 1,856 млн. га сельскохозяйственных земель. В постчернобыльский период в целях получения на загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственных почвах растениеводческой продукции, соответствующей установленным радиологическим нормативам, вносились повышенные дозы фосфорно-калийных удобрений, позволяющие повысить содержание этих элементов в почвенном растворе и тем самым уменьшить переход радионуклидов в сельскохозяйственные растения, как за счет антагонизма между катионами калия и цезия, так и за счет образования в почвенно-поглощающем комплексе труднорастворимых фосфатов стронция.

Признавая исключительную важную роль агрономической химии в увеличении производства продуктов питания для человека и кормов для животных, улучшения качества продукции, а в целом и в повышении эффективности сельскохозяйственного производства, нельзя не отметить, что те же самые химические средства при неправильном их использовании оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Именно неграмотное использование минеральных удобрений, нарушение существующих регламентов служат источником наблюдающихся отрицательных последствий (потепление климата, загрязнение вод Мирового океана, кислотные дожди) в мире. Основными причинами загрязнения окружающей среды минеральными удобрениями принято считать несовершенство организационных форм, а также технологий транспортировки, хранения, тукосмешения и применения удобрений, нарушение агрономической технологии их внесения в севообороте и под отдельные культуры (в т.ч. неумеренное или несбалансированное), несовершенство самих удобрений, их химических, физических и механических свойств. Даже в условиях перехода на адаптивные методы ведения интенсивного земледелия в Республике Беларусь не менее половины суммарных энергетических затрат приходится на производство, транспортировку, хранение и внесение всех видов удобрений. Известно, что одним из приемов повышения эффективности и коэффициентов использования минеральных удобрений, а также устранения их отрицательного влияния на окружающую среду является применение медленнодействующих удобрений (МДУ) с пролонгированным высвобождением питательных веществ (калия, фосфора, азота) по фазам развития растений. Выпуск МДУ на белорусских химических заводах на данный период времени не нашел еще широкого внедрения. Поэтому цель работы – обосновать возможность использования современных минеральных удобрений в случае аварийного выброса ^{137}Cs и ^{90}Sr в окружающую среду Республики Беларусь в настоящий период времени довольно актуальна.

Материалы и методы. Предмет исследования научной работы – физико-химические свойства минеральных удобрений. Объект исследования работы – различные виды минеральных удобрений. Метод исследования – обзорно-аналитический. Методы, используемые в агрохимической практике для определения доз минеральных удобрений, делятся на: 1) балансовые – на основе выноса урожаем питательных элементов и коэффициентов их использования из почвы и удобрений (коэффициент возмещения выноса); 2) по результатам полевых опытов с применением поправочных коэффициентов на агрохимические свойства почв, а также с учетом действия других факторов, определяющих эффективность удобрения; 3) нормативные – по нормативам затрат минеральных удобрений на единицу урожая или на прибавку урожая; 4) математические – на основе производственных функций в системе «почва–растение–удобрение».

Учитывая дефицит фосфорных удобрений и их высокую стоимость в Республике Беларусь, для загрязненной ^{137}Cs и ^{90}Sr территории научно-исследовательские институты рекомендуют обеспечить минимум фосфорных удобрений, необходимый для сбалансированного питания сельскохозяйственных культур с учетом содержания подвижных фосфатов в почве. Основные и дополнительные дозы фосфорных удобрений дифференцируются по типам почв, содержанию подвижного фосфора в почве и трем уровням плотности загрязнения радионуклидами: первый – содержание ^{137}Cs в почвах от 37 до 185 кБк/м² (1-5 Ки/км²) или ^{90}Sr от 6 до 11 кБк/м² (0,2-0,3 Ки/км²); второй – содержание ^{137}Cs в почвах от 185 до 555 кБк/м² (5-15 Ки/км²) или ^{90}Sr от 11 до 74 кБк/м² (0,3-2,0 Ки/км²); третий – содержание ^{137}Cs в почвах от 555 до 1480 кБк/м² (15-40 Ки/км²) или ^{90}Sr от 74 до 111 кБк/м² (2,0-3,0 Ки/км²). Общая потребность в фосфорных удобрениях на загрязненных радионуклидами землях (тонн действующего вещества) определяется путем умножения площади пахотных или кормовых земель (в гектарах) с данной плотностью загрязнения и содержанием фосфора в почве на нормативную дозу P_2O_5 .

Учитывая сравнительно низкую стоимость калийных удобрений, на загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr почвах, научно-исследовательские институты рекомендуют повышенные дозы, дифференцированные в зависимости от типов почв и содержания в них подвижного калия. Предусмотрен приоритет почв с высокой плотностью загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr , где повышение обеспеченности почв подвижным калием должно идти более быстрыми темпами.

Основные и дополнительные дозы калийных удобрений на загрязненных радионуклидами почвах дифференцируются аналогично фосфорным удобрениям и рассчитываются умножением соответствующих площадей (по типу почв, содержанию подвижного калия в почве, плотности загрязнения) на нормативные дозы K_2O [1]. Для предотвращения избыточных доз калийных удобрений и ухудшения качества растениеводческой продукции введены ограничения. На почвах с высоким содержанием подвижного калия (содержание K_2O более 300 мг/кг на минеральных и 1000 мг/кг на торфяно-болотных почвах) внесение калийных удобрений не предусматривается до очередного агрохимического обследования почв.

Высокие дозы азотных удобрений на загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr почвах, особенно при несбалансированном их соотношении с фосфорными и калийными, повышают накопление радионуклидов в сельскохозяйственных культурах. Поэтому дозы азотных удобрений должны быть оптимальными. Для зерновых культур они корректируются по данным почвенно-растительной диагностики. Для регулирования соотношения азота, фосфора и калия, вносимых с удобрениями, а также минимизации влияния азота на накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr и нитратов в растениеводческой продукции введены предельно допустимые дозы азотных удобрений под сельскохозяйственные культуры [1].

Итак, при определении доз удобрений учитывают: 1) величину планируемого урожая, 2) качество урожая, 3) вынос элементов питания растениями, 4) биологические и сортовые особенности возделываемых культур, 5) содержание в почве подвижных форм K_2O , P_2O_5 , предшествующие культуры и их агротехнику.

Результаты исследований и их обсуждение. Рассмотрим краткую характеристику новых форм медленнодействующих удобрений, внедряемых в промышленном или опытно-промышленном масштабе на химических предприятиях Республики Беларусь:

– **карбамид с гуматсодержащими добавками** содержит 46% азота и гуминовые препараты из торфа «Гидрогумат» или «Оксигумат», степень растворимости в воде и в почве в 1,1-1,3 раза медленнее, чем стандартного карбамида [2];

– **сульфат аммония с защитным покрытием** содержит 20% азота и 24% серы, связующие и биологически активные препараты «Гидрогумат» или «Оксигумат», или барду меласную упаренную послеспиртовую. Удобрение обладает пониженной растворимостью (степень замедления его растворимости в воде и в почве в 1,3-1,6 раза ниже, чем стандартного сульфата аммония) и продленным сроком доступности азота и серы для растений в течение вегетационного периода;

– **комплексные азотно-фосфорно-калийные удобрения** с соотношением $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=16:12:20$ (для яровых зерновых культур и картофеля) и $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=5:16:35$ (для озимых зерновых культур) содержат азот, фосфор, калий и регуляторы роста растений «Феномелан» или «Гидрогумат»;

– **калий хлористый гранулированный медленнодействующий с добавками биологически активных веществ** содержит 60% K_2O , связующие и биологически активные добавки «Гидрогумат» или «Оксигумат». Удобрение обладает пониженной растворимостью (степень замедления его растворимости в воде и в почве в 1,2-1,3 раза ниже, чем стандартного хлористого калия) и продленным сроком доступности калия для растений в течение вегетационного периода;

– калий хлористый гранулированный медленнодействующий с добавками биологически активных веществ и микроэлементов содержит 59-60% K_2O , связующие и биологически активные вещества «Гидрогумат» или «Оксигумат», или отходы крахмальных производств (возможно, получение и без БАВ) и микроэлементы (Cu или Zn, или совместно Cu и Zn). Степень замедления растворимости удобрений в почве в 1,3-1,6 раза ниже, чем стандартного хлористого калия. Технология производства этих удобрений позволяет довести содержание меди от 0,1 до 0,5%, а цинка от 0,1 до 0,75% от массы удобрения [2].

Новые формы азотных удобрений обладают улучшенными физико-химическими свойствами по сравнению со стандартными удобрениями: наблюдается увеличение прочности гранул карбамида на 25,3%, при одновременном снижении его слеживаемости на 29,2% и растворимости в воде в 1,25 раза, снижение слеживаемости сульфата аммония на 18,2% и растворимости в 1,37 раза. Формирование капсулирующего покрытия на гранулах азотно-фосфорно-калийных удобрений (НРК) с различным соотношением элементов питания способствует также увеличению прочности гранул, снижению их слеживаемости и влагопоглощения по сравнению с исходными удобрениями. Растворимость в воде НРК=5:16:35 с «Гидрогуматом» снижается в 1,27, слеживаемость – на 11,7%, прочность увеличивается на 9,6%, соответственно при НРК=16:12:20 с «Феномеланом» – в 1,37 раза, на 23,7% и 13,3%. Для получения медленнодействующих (капсулированных) калийных удобрений с добавками биологически активных веществ используются различные связующие (лигносульфонаты (ЛГ), полиакриламид (ПАА), полиэтиленгликоль, полимер синтетический водорастворимый «ВРП», крахмал) в сочетании с регуляторами роста растений («Гидрогумат» или «Оксигумат», или «Мальтамин» или «Феномелан», или «Эпин», или отходы крахмальных производств), а также в сочетании с микроэлементами (Cu, Zn, или совместно Cu и Zn). Включение микроэлементов в состав капсулирующего покрытия обусловлено и тем, что многие микроэлементы, например, медь, цинк, марганец, бор, кобальт и др. улучшают физико-химические свойства удобрений, что весьма важно для хлористого калия.

Закключение. Известно, что основными показателями энергетической эффективности применения удобрений являются энергоотдача или биоэнергетический КПД; удельные энергетические затраты живого труда, металлов, топлива, электроэнергии, удобрений и др. на единицу урожая; коэффициент энергетической эффективности и уровень интенсификации. Сущность энергетического анализа при применении удобрений сводится к определению минимума энергетических затрат используемых ресурсов на единицу урожая сельскохозяйственных культур с высокой их окупаемостью, поскольку не всегда максимальному урожаю соответствует минимум удельных затрат ресурсов. На основании расчета энергетической эффективности установлено, что применение новых форм медленнодействующих удобрений с добавками биологически активных веществ позволяет снизить энергетические затраты при возделывании сельскохозяйственных культур по сравнению со стандартными удобрениями на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных, подстилаемых моренными суглинками, почвах на 1,7-69,7%, на дерново-подзолистых песчаных почвах – на 7,0-39,0%. Кроме того, установлено положительное влияние медленнодействующих удобрений на снижение поступления ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениеводческую продукцию (на 10-30% в зависимости от форм применяемых удобрений) по сравнению со стандартными формами удобрений.

Литература

1. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012-2016 годы // Деп-т по ликвид. последствий катастрофы на ЧАЭС М-ва по чрезвычай. ситуациям Респ. Беларусь;

М-во сельского хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь; сост.: Н.Н. Цыбулько, Г.В. Анципов, В.С. Аверин [и др.]. – Минск: Департамент по ликвид. последствий катастрофы на ЧАЭС, РНИУП «Институт радиологии», 2012. – 121 с.

2. Пироговская, Г.В. Медленнодействующие удобрения / Г.В. Пироговская // Белорусский ордена Трудового Красного Знамени научно-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2000. – 287 с.

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ПРЕОДОЛЕНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

В.А. Собина, Л.В. Борисова, В.В. Харламов

*Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина,
sobol_84@inbox.ru*

Введение. Основы для сотрудничества между Украиной и ЕС в сфере охраны окружающей среды и прогнозирования последствий техногенного воздействия и природных катастроф заложены в разработанных формах и методах такого сотрудничества; работают совместные органы в этой сфере, проводятся совместные встречи и консультации.

Тридцать лет после аварии на Чернобыльской атомной электростанции, с высвобождением большого количества радиации в окружающую среду, Украина продолжает страдать от тяжелых социальных, экономических и экологических последствий, расходуя от 5 до 7% государственного бюджета на преодоление последствий аварии.

Материалы и методы. Ядерная безопасность является особенно чувствительной экологической проблемой в Украине после чернобыльской аварии. Управление рисками в промышленности базируется на Законе Украины «Об объектах повышенной опасности» (2001 г.), который содержит положения директивы ЕС Севезо II и Конвенции ЕЭК ООН по промышленным авариям. ГСЧС Украины разработала методику оценки риска, основанную на человеческих и технологических факторах, используя программное обеспечение для расчета промышленного риска и прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

После завершения в 2010 проекта Украина – ЕК – МАГАТЭ по оценке состояния ядерной безопасности на действующих АЭС Украины, внедряется «Сводная программа повышения безопасности», реализация которой продлится до 2017 г.

С учетом событий на атомной электростанции «Фукусима-1» в Японии, Украина приняла участие в экспертных и министерских встречах ЕК со странами-соседями ЕС по вопросам ядерной безопасности, присоединилась к Совместной декларации по оценке потенциала безопасности АЭС (23.06.2011 г.) на своей территории и осуществила соответствующие стресс-тесты.

Украина получила статус ассоциированного члена Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН). Продолжаются работы по снятию с эксплуатации Чернобыльской АЭС. Проводятся мероприятия первого этапа – прекращение эксплуатации. Обеспечивается на должном уровне безопасность энергоблоков №№ 1, 2, 3 действующего хранилища отработанного ядерного топлива «мокрого» типа (ХОЯТ-1), объекта «Укрытие», физическая защита ядерных материалов и соблюдения гарантий МАГАТЭ по их хранению.

Результаты исследований и их обсуждение. Важной задачей является совершенствование существующей системы показателей по учету токсичных отходов, а так-

же создание регистров предприятий, информационных банков данных об образовании и обезвреживании этих отходов. Эти разработки будут осуществляться согласно Директивам Совета (ЕС) 75/442/ ЕЭС от 15 июля 1975 по вопросам отходов, 91/689/ ЕЭС от 12 декабря 1991 по опасным отходам и Решением Совета (ЕС) 94/904/ ЕС от 22 декабря 1994 по определению перечня опасных отходов. Одним из важных направлений гармонизации является разработка национальных экологических классификаций, соответствующих международным стандартам.

Разрабатывается Стратегия обращения с твердыми промышленными отходами до 2030 г. Новая классификация отходов базируется на Базельской конвенции (2000 г.) и Европейского классификатора отходов (перечня описаний, утвержденного решением Европейской Комиссии 2000/532/ЕС), который в основном базируется на отраслях промышленности и на материалах и процессах, включая токсичные отходы.

Обращение с отходами становится все более актуальной проблемой в Украине. Закон Украины «Об отходах», первый законодательный акт об отходах в стране, был принят в 1998 г. Он включает положения Рамочной директивы ЕС об отходах (75/442/ЕС). В период 1998–2004 гг. было принято около 50 соответствующих нормативных документов, включая 14 законов и 30 постановлений Кабинета Министров. Наиболее важным является Постановление Кабинета Министров № 1120/2000, которым утверждены так называемые желтый и зеленый списки опасных химических веществ, и который регулирует контроль над перемещением, утилизацией и удалением опасных отходов.

Основные потоки радиоактивных отходов (РАО) формируются в зоне отчуждения. ГСП «Чернобыльская АЭС» была разработана «Интегрированная программа обращения с радиоактивными отходами на этапе прекращения эксплуатации Чернобыльской АЭС», реализация которой началась в 2003 году. Эта программа включает оптимизированную схему обращения с РАО, выполнение стабилизационных мероприятий на объекте «Укрытие», повышение эксплуатационной надежности и долговечности конструкций и систем, подготовки строительства нового безопасного конфайнмента с учетом объектов, предназначенных для обращения с РАО, существующих как на площадке ГСП «Чернобыльская АЭС», так и в зоне отчуждения в целом.

В 2005 г. создан Информационно-кризисный центр государственной системы мониторинга окружающей среды. С созданием Межотраслевого информационно-аналитического центра в 2004 г. Минприроды возобновило функционирование системы «Гамма-1». Планируется дальнейшее развитие системы «Гамма-1» с последующим охватом подсистемами контроля территорий вокруг всех АЭС Украины. Проводятся консультации со странами ЕС о продлении указанных работ.

В пределах 30-километровой зоны вокруг Чернобыльской АЭС (зоны отчуждения), ГСЧС Украины осуществляет наблюдение за концентрацией: радионуклидов в 13 пунктах и на двух производственных площадках; радионуклидов в атмосферных осадках на 29 пунктах; «горячих» частиц в воздухе в 9 пунктах. Международной радиоэкологической лаборатории Чернобыльского центра атомной безопасности, радиоактивных отходов и радиоэкологии в Славутиче, осуществляет мониторинг влияния радиации на биоту в зоне отчуждения.

Общие рамки международного сотрудничества заложены в «Основных направлениях государственной политики Украины в области охраны окружающей среды, использования природных ресурсов и обеспечения экологической безопасности» 1998 г. В этом документе предусмотрено выполнение около 70 двусторонних и многосторонних договоров, сотрудничество с основными органами и программами ООН (такими как ЮНЕП, ЕЭК ООН, МАГАТЭ, ФАО, КСР и ГЭФ) двустороннее сотрудничество с соседними странами и странами-донорами, региональное сотрудничество по охране

Черного и Азовского морей, рек Днепр и Дунай, и Карпатских гор; и участие в международных программах по ликвидации последствий чернобыльской катастрофы.

Заключение. Для решения проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в зонах радиоактивного загрязнения важными являются:

требования экологической политики в отношении добычи урана, управления радиоактивными отходами и планы по зоне отчуждения вокруг Чернобыля;

оперативный план повышения безопасности реакторов ВВЭР-типа;

сооружение хранилищ сухого хранения, преимущественно вблизи атомных электростанций;

строительство мощностей для переработки отходов, их подготовке к хранению и окончательному удалению с учетом требований долгосрочной безопасности в соответствии с международными стандартами;

безопасная изоляция Чернобыльских отходов в том же месте или удаление и перезахоронение в хранилищах в соответствии с принципом минимального риска;

регулярный пересмотр статуса поселений в Чернобыльской зоне на основе реалистического научного анализа;

стратегии и программы, направленные на преодоление психосоциальных расстройств здоровья, вызванных чернобыльской аварией.

Литература

1. Громадська, Н.А. Світова та європейська інтеграція [Електронний ресурс] / Н.А. Громадська, В.В. Деріга. – Режим доступа: <http://lib.chdu.edu.Ua/pdf/posibnuku/252/9.pdf>, С. 155–160.

2. Програма інтеграції України до Європейського Союзу в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки / Підгот.: В.І. Потапов та ін.; Під заг. ред. В.Я. Шевчука. – К., 1999. – 15 с.

3. Костюк С., Істягіна Н. Адаптація законодавства України до законодавства Європейського Союзу: стан, проблеми та перспективи // Науковий вісник Дипломатичної академії України при МЗС України, №4. – С. 196–202.

4. Чернобыльская катастрофа. К.: Наук.думка, 1996, – 574 с. \EBRD. Strategy for Ukraine 2005-2007, London, 2005. (ЄБРР. Стратегія для України на 2005-2007 рр. Лондон, 2005.)

5. ECE. Committee on Environmental Policy. Environmental Partnership in the UNECE Region: Environmental Strategy for Countries of Eastern Europe, Caucasus and Central Asia, ECE/CEP/105/Rev. 1 27 June 2003. (ЄЕК. Комітет екологічної політики. Екологічне партнерство в регіоні ЄЕК ООН: Екологічна стратегія для країн Східної Європи, Кавказу та Центральної Азії. Стратегічні рамки.)

6. OECD. The use of economic instruments for pollution control and environmental resource management in EECCA, Fourteenth EAP Task Force Meeting. Tbilisi, 2003. (ОЕСР. Використання економічних інструментів для контролю забруднень та управління ресурсами довкілля у СЕКЦА. Чотирнадцята зустріч Цільової групи ПДД. Тбілісі, 2003.)

7. Tacis. The EU and Ukraine. Working together on the closure of Chornobyl. 2000. (ТАСІС. ЄС та Україна. Працюючи разом над закриттям Чорнобиля. 2000.)

8. WHO. Highlights on Health in Ukraine. 2000. (ВООЗ. Основні факти про охорону здоров'я в Україні. 2000).

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЕЙ К РАБОТЕ В КОМПЛЕКТАХ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРВОГО ТИПА

В.М. Стрелец

*Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина,
strelec@nuczu.edu.ua*

Введение. Мероприятия в условиях радиационного воздействия обеспечивают спасатели, которые работают в комплексах средств индивидуальной защиты (КСИЗ) первого типа [1], принципиально отличающиеся только используемыми средствами индивидуальной защиты органов дыхания (фильтрующими или изолирующими). Вследствие этого закономерности выполнения отдельных работ, составляющих общий процесс ликвидации ЧС, имеют особенности, которые надо учитывать как при планировании и оценке всего комплекса проводимых мероприятий, так и в процессе подготовки спасателей.

Материалы и методы. В настоящее время для совершенствования подготовки личного состава спасателей используются преимущественно результаты исследования психофизиологических качеств, которые требуют первоочередной тренировки [2, 3]. Хотя в [4] отмечается, что надо учитывать системные свойства, рассматривая деятельность спасателей как функционирование системы «человек–машина». Эти свойства проявляются при обосновании нормативных показателей для оценки уровня подготовленности спасателей, однако существующие нормативы в основном ориентированы на КСИЗ второго и третьего типов [5]. При этом нигде не отмечено, с какого момента можно начинать контроль подготовленности, особенно учитывающей местные и объектовые особенности, с использованием нормативов.

Исходя из этого, была поставлена задача раскрытия закономерностей работы в КСИЗ с фильтрующим (КСИЗ ФП) и изолирующим противогазом (КСИЗ ИП) с последующим обоснованием практических рекомендаций.

Результаты исследований и их обсуждение. Для этого были проведены экспериментальные исследования времени выполнения отдельных операций в КСИЗ ФП и КСИЗ ИП в зависимости от количества n тренировочных попыток. Анализ полученных результатов (рисунок 1) показал, что с 5%-ым уровнем значимости они описываются с помощью нормального распределения.

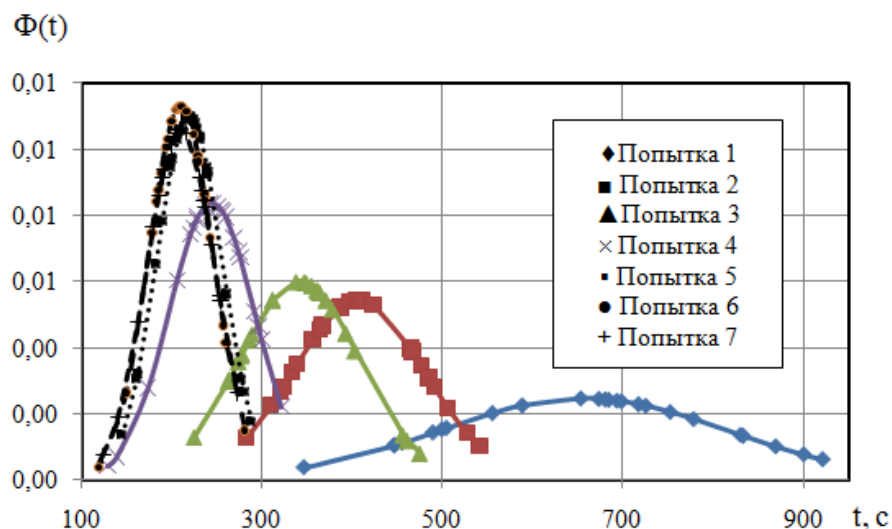


Рисунок 1. Распределение времени выполнения КСИЗ ИК по попыткам

Кроме этого, сравнение того, как меняется плотность функции распределения в зависимости от количества тренировочных попыток, позволило предположить, что среднее время выполнения отдельных операций описывается экспоненциальным законом.

Учитывая то, что в [6] приведено конкретное значение $t_{норм}=300$ с для робинга (одевание изолирующего костюма с включением в средство индивидуальной защиты органов дыхания) КСИЗ, в процессе раскрытия закономерностей выполнения спасателями отдельных операций более тщательно был проанализирован этот процесс. Полученные результаты в обобщенном виде представлены на рисунке 2.

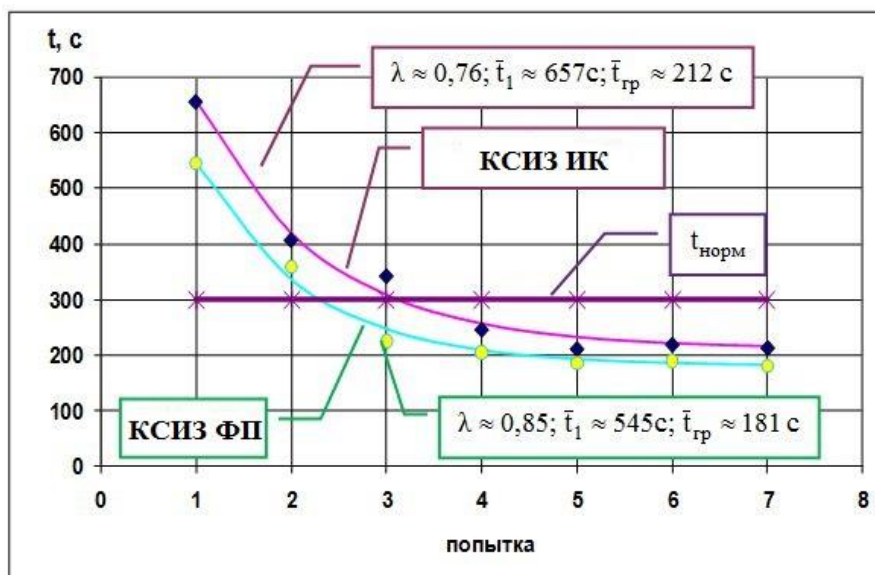


Рисунок 2. Робинг комплекса средств индивидуальной защиты

Отмечено, что с 5%-ым уровнем значимости время выполнения робинга КСИЗ в зависимости от количества n тренировочных попыток в обоих случаях меняется по экспоненциальному закону:

$$t = \bar{t}_{гран} + (\bar{t}_1 - \bar{t}_{гран}) \cdot e^{-\lambda(n-1)}, \quad (1)$$

где $\bar{t}_{гран}$ — оценка математического ожидания, к которому приближается время робинга КСИЗ,

$$\bar{t}_{гран} = \begin{cases} 212 \text{ с} & \text{— при использовании КСИЗ ИК;} \\ 181 \text{ с} & \text{— при использовании ИК ФП;} \end{cases}$$

\bar{t}_1 — математическое ожидание времени робинга КСИЗ в первой попытке

$$\bar{t}_1 = \begin{cases} 657 \text{ с} & \text{— при использовании КСИЗ ИК;} \\ 545 \text{ с} & \text{— при использовании ИК ФП;} \end{cases}$$

λ — параметр экспоненциального распределения

$$\lambda = \begin{cases} 0,76 & \text{— при использовании КСИЗ ИК;} \\ 0,85 & \text{— при использовании ИК ФП.} \end{cases}$$

Учитывая (1), количество тренировочных попыток, после которого можно оценивать качество выполнения задания личным составом при наличии нормативной оценки $t_{норм}$, может быть определено как:

$$n = \text{int eger} \left(1 + \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{\bar{t}_1 - \bar{t}_{\text{гран}}}{t_{\text{норм}} - \bar{t}_{\text{гран}}} + 0,5 \right) = \begin{cases} 4 - \text{при робинге КСИЗ ИК;} \\ 3 - \text{при робинге ИК ФП;} \end{cases} \quad (2)$$

т.е., например, при робинге КСИЗ ИК оценивать спасателей можно после 4-х тренировочных попыток, а при робинге изолирующего костюма в комплекте с фильтрующим противогазом – трех.

При этом можно отметить, что в отличие от [7], где экспоненциальный характер времени выполнения задания объясняется только человеческим фактором, анализ закономерности (2) показывает, что параметр λ экспоненциального закона может служить также количественным показателем для сравнения того оборудования в котором (или с которым) работают спасатели. Видно, что во время подготовки в ИК ФП спасатели уже в третьей попытке приближаются к результату, который потом фактически становится стабильным, тогда как в КСИЗ ИК это происходит во время четвертой попытки. Также видно, что разница во времени выполнения задания в разных КСИЗ наиболее сильно проявляется во время первой попытки.

Наличие параметров распределения в соответствующих попытках и (2) позволило перейти к обоснованию нормативных оценок. Для этого вначале с учетом ограничения [6] на время робинга КСИЗ была определена доля неудовлетворительных результатов:

$$\begin{aligned} P_2 &= 1 - (\hat{P}_3 + \hat{P}_4 + \hat{P}_5) = 1 - P(t \leq t_3 = 300 \text{ с}) = \\ &= 1 - \Phi \left(\frac{t_3 - \bar{t}}{G} \right) = \begin{cases} 0,125 - \text{для робинга КСИЗ ФП;} \\ 0,122 - \text{для робинга КСИЗ ИК,} \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

где $\hat{P}_5, \hat{P}_4, \hat{P}_3$ – средневзвешенные оценки долей (частот) всех возможных результатов, которые соответствуют «отличной», «хорошей» или «удовлетворительной» оценке.

Допустив по аналогии с подходом, который применяется при обосновании физкультурных нормативов [8], что отличной оценке соответствует 10% положительных результатов, а хорошей и удовлетворительной – по 40% последующих, были получены соответствующие нормативные оценки:

$$\begin{aligned} t_5 &= \bar{t} + \sigma \cdot \Phi^{-1} \left(\frac{1}{9} \cdot (1 - P_2) \right) = \\ &= \begin{cases} 239,5 + 52,6 \cdot \Phi^{-1} \left(\frac{1}{9} \cdot (1 - 0,125) \right) \\ 244,5 + 47,61 \cdot \Phi^{-1} \left(\frac{1}{9} \cdot (1 - 0,122) \right) \end{cases} = \begin{cases} 171,25 \text{ с} - \text{для КСИЗ ФП;} \\ 182,82 \text{ с} - \text{для КСИЗ ИК.} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

$$t_4 = \bar{t} + G \cdot \Phi^{-1} \left(\frac{1}{9} \cdot (1 - P_2) + \frac{4}{9} \cdot (1 - P_2) \right) = \begin{cases} 237,67 \text{ с} - \text{для КСИЗ ФП;} \\ 243,05 \text{ с} - \text{для КСИЗ ИК.} \end{cases} \quad (5)$$

С учетом требований кратности и запоминаемости [8] рекомендуются следующие нормативы:

$$t_5 = \begin{cases} 170 \text{ с} - \text{для КСИЗ ФП;} \\ 180 \text{ с} - \text{для КСИЗ ИК} \end{cases} \text{ и } t_4 = 240 \text{ с} - \text{для КСИЗ ФП и для КСИЗ ИК. (6)}$$

Заключение. Тренировка с использованием полученных нормативов показала, что с 5%-ым уровнем значимости, можно говорить о существенном сокращении времени выполнения рассматриваемой операции.

Литература

1. ГОСТ Р 22.3.06-97 Средства индивидуальной защиты от радиоактивных веществ. Общие технические требования [Электронный ресурс]. – ИПК Издательство стандартов, 1997. – 10 с. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/gost/gost18714.html>
2. Дутов, В.И. Психофизиологические и гигиенические аспекты деятельности человека при пожаре: моногр / В.И. Дутов, В.И. Чурсин // М., Стройиздат, 1993. – 231 с.
3. Стрелец, В.М. Особенности разработки нормативов боевого развертывания пожарно-технического вооружения / В.М. Стрелец, Д.Ю. Каскевич // Проблемы пожарной безопасности: сб. научн. тр. – Харьков: ХИПБ, 1999. – № 6. – С. 154–158.
4. Стрелец, В.М. Особенности обеспечения безопасности спасателей в изолирующих костюмах при ликвидации аварий с выбросами опасных химических веществ / В.М. Стрелец, М.В. Васильев, Д.О. Стельмах // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: зб. наук. пр. Тематичний випуск «Нові рішення в сучасних технологіях.» – 2010. – № 17. – С. 59–62.
5. Методичні рекомендації щодо порядку виконання нормативів радіаційного та хімічного захисту особовим складом органів управління та підрозділів МНС: наказ від 15.10.2008 № 741 МНС України – Офіц. вид. – Київ: МНС України, 2008. – 88 с. – (Нормативний документ МНС України).
6. ГОСТ Р 22.9.05-95 Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.grobor.narod.ru/document.htm>
7. Введение в эргономику / Под ред. В.П. Зинченко. – М.: Сов. радио, 1974. – 351 с.
8. Спортивная метрология. Учебник для ин-тов физ. Культ / Под ред. В.М. Зацiorsкого. – М.: ФиС, 1982. – 256 с.

ВЛИЯНИЕ ИНГИБИТОРА NOS T1023 НА ЛАБОРАТОРНО-КЛИНИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ КОСТНОМОЗГОВОГО СИНДРОМА ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ

**М.В. Филимонова, В.М. Макаруч, О.С. Измestьева, Л.И. Шевченко,
Е.А. Чеснакова, А.С. Самсонова, Т.С. Корнеева, А.С. Филимонов**

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский радиологический центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Обнинск, mari_fil@mail.ru

Введение. В ранее проведенных нами исследованиях показано, что некоторые N,S-замещенные изотиомочевины, являющиеся эффективными ингибиторами синтеза оксида азота (NOS), способны оказывать противолучевое действие [1]. В ряду исследованных соединений этого класса особый интерес вызывало производное изотиомочевин-

ны Т1023. Было показано, что соединение Т1023 эффективно защищает подопытных животных при радиационных воздействиях в дозах, характерных для костномозговой формы острой лучевой болезни (ОЛБ), и повышает ЛД_{50/30} γ -излучения для мышей с 7,1 до 10,2 Гр (ФИД – 1,4) [2]. С целью уточнения механизмов противолучевого действия Т1023 были проведены исследования влияния этого соединения на динамику содержания кариоцитов в красном костном мозге (ККМ) и гематологических показателей крови животных, получавших воздействие γ -излучения в среднетлетальных дозах.

Материалы и методы. Исследования проведены на самцах мышей-гибридов F₁ (СВА×С₅₇ВL₆), по 20 животных в группе. Облучение животных проводили на гамма-установке ⁶⁰Со «Луч-1» (РФ) в дозе 6 Гр при мощности дозы 10 мГр/с. Соединение Т1023 вводили подопытным животным за 20-30 минут до облучения однократно в/б в дозе 75 мг/кг в виде 0,75% асептического водного раствора. Оценку содержания кариоцитов в ККМ и гематологических показателей крови у интактных и облученных мышей проводили с помощью автоматизированного гематологического анализатора для лабораторных животных Abacus Junior Vet (Diatron, Австрия) в различные сроки после лучевого воздействия.

Результаты исследований и их обсуждение. Динамика содержания кариоцитов в ККМ и состава периферической крови облученного контроля в этом исследовании была близка к ожидаемой. У этих мышей развивалось глубокое раннее опустошение пула ККМ – на 2-е сутки после облучения содержание кариоцитов составляло менее 15% от уровня интактных животных. В дальнейшем клеточность ККМ прогрессивно возрастала, что отражало восстановление активности костномозгового кроветворения за счет сохранившихся жизнеспособных стволовых гемопоэтических клеток, и к 21-м суткам содержание кариоцитов у облученных мышей практически полностью соответствовало интактному уровню.

В ряду лимфоцитов, склонных к интерфазной гибели, также наблюдалось раннее опустошение. Созревание этих клеток требует значительного времени, и регенерация этого ростка протекала медленно – к 21-м суткам содержание лимфоцитов в крови облученных мышей не превышало 30% от интактного уровня.

Зрелые гранулоциты и моноциты радиорезистентны, и начальная динамика их содержания в крови определялась естественной убылью при дефиците поступления молодых клеток из ККМ. Опустошение этих рядов развивалось со 2-х по 8-е сутки после облучения и достигало значительного уровня – 15-20% от уровня интактных мышей. В дальнейшем на фоне регенерации костномозгового кроветворения их численность достаточно быстро восстанавливалась. К 21-м суткам содержание моноцитов у облученных мышей соответствовало интактному уровню, а численность гранулоцитов даже превосходила этот уровень, что, вероятно, отражало вовлечение нейтрофилов в воспалительные и регенераторные процессы на стадии выздоровления ОЛБ. Сходная динамика наблюдалась и со стороны тромбоцитов. Опустошение их пула также развивалось со 2-х по 8-е сутки и было существенным – до 20-25%, но к 21-м суткам содержание кровяных пластинок было уже полностью восстановлено.

У подопытных мышей, получавших перед облучением соединение Т1023, динамика изучаемых показателей имела существенные отличия. В ККМ этих животных отмечалось ускоренное восстановление численности кариоцитов в сравнении с облученным контролем, особенно выраженное в период со 2-х по 8-е сутки. Если у контрольных мышей содержание кариоцитов в этот период возросло в 1,7 раз, то в подопытной группе наблюдался уже 3-кратный прирост. Ускорение восстановления активности костномозгового кроветворения под влиянием Т1023 закономерно изменяло и динамику показателей крови. У подопытных животных в 1,7-2 раза уменьшалась глубина опустошения гранулоцитов и тромбоцитов, наблюдаемая на 8-е сутки после облучения, а в

дальнейшем отмечалось ускоренное восстановление содержания в крови клеток практически всех ростков, и особенно выражено – гранулоцитов, ускорение регенерации которых было практически 2-кратным.

Заключение. Наибольшее клиническое значение для течения костномозгового синдрома имеет степень опустошения в крови нейтрофилов и тромбоцитов, что обуславливает развитие наиболее грозных проявлений этой патологии – инфекционно-воспалительных и геморрагических осложнений. В этой связи, наблюдаемое в данном опыте влияние Т1023 на кроветворение и кровь облученных мышей, проявляющееся ослаблением лучевой депрессии и ускоренной регенерацией именно этих критических ростков клеток крови, в полной мере объясняет способность этого соединения повышать выживаемость животных при костномозговой форме ОЛБ.

В наших исследованиях ранее было показано, что при такой же дозе и способе введения соединение Т1023 эффективно защищает гемопоэтические стволовые клетки при воздействии γ -излучения (ФИД – 1,6-1,8) [2]. В этой связи, наблюдаемое в данном опыте влияние изучаемого соединения на лабораторно-клинические проявления костномозгового синдрома ОЛБ, скорее всего, являются отражением большей сохранности пролиферативного пула кроветворения в ККМ облученных животных.

Литература

1. Филимонова, М.В. Радиозащитные свойства производных изотиомочевины с NO-ингибирующим механизмом действия / М.В. Филимонова, С.Я. Проскуряков, Л.И. Шевченко [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2012. – Т. 52, № 6. – С. 593–601.

2. Филимонова, М.В. Радиозащитные свойства ингибитора NO-синтаз Т1023: I. Показатели противолучевой активности и взаимодействие с другими радиопротекторами / М.В. Филимонова, Л.И. Шевченко, В.М. Макаручук [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2015. – Т. 55, № 3. – С. 250–259.

ОСОБЕННОСТИ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Т.И. Халапсина, Ю.Н. Рубцов

ГУО «Гомельский инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Гомель, yuri_rubtsov@mail.ru

Авария на Чернобыльской АЭС в значительной степени определяет проблему радиационной безопасности Республики Беларусь, охрану здоровья и жизни людей. Из сельскохозяйственного производства выбыло около 250 тыс. га земель, где идет процесс облесения и которые в большинстве своем преданы в ведение Комитета лесного хозяйства при Совете Министров Республики Беларусь.

Опыт ведения хозяйства на территориях, загрязненных радионуклидами, показал, что в лесах, независимо от уровней загрязнения, не может полностью прекращаться лесохозяйственная деятельность. Ведение лесного хозяйства на загрязненной территории направлено на решение следующих основных задач:

- усиление экологической роли леса как биогеохимического барьера, препятствующего выносу радионуклидов за пределы загрязненной территории;
- охрана лесов от пожаров в целях предотвращения их гибели и возможного вторичного радиоактивного загрязнения сопредельных территорий.

Основной причиной возникновения пожаров на этих территориях является антропогенный фактор. Обнаружение пожаров в «зонах Чернобыльского следа» осуществляется, как правило, дистанционными методами с использованием телевизионных и авиационных средств, однако тушение пожаров чаще всего осуществляется с помощью наземной специальной техники и непосредственным участием личного состава.

Пожары на радиационно-загрязненных территориях имеют ряд особенностей, которые заключаются в следующем:

- 1) продукты горения содержат радионуклиды трансурановых элементов;
- 2) пожары становятся причиной миграции радионуклидов и формируют зоны вторичного радиационного загрязнения;
- 3) увеличивают дозовую нагрузку на пожарных-спасателей и население.

В связи с этим возникает круг вопросов [1], специфичных для тушения подобных очагов возгорания. Сами пожары на загрязненной территории необходимо отнести к особо опасным объектам пожаротушения, а проблемы быстрого выявления, локализации и тушения пожаров на радиоактивно загрязненных территориях является весьма актуальной и выходит за рамки собственно лесных и торфяных пожаров.

С целью минимизации последствий тушения пожаров в зонах радиоактивного загрязнения необходимо решить следующие задачи:

1. Снижение пылеобразования

Известно, что повышенное мелкодисперсное пылеобразование при тушении торфяных и лесных пожаров приводит к специфическому вторичному загрязнению радионуклидами объектов и субъектов ликвидации очага пожара.

Результаты исследований в этой области, проведенные в последнее десятилетие [2, 3], свидетельствуют о том, что при возникновении пожара на территории с плотностью загрязнения по Cs-137 даже 0,5 Ки/км² концентрация радиоактивных аэрозолей в приземном слое атмосферы может значительно превышать предельно допустимые значения.

Измеренные пробы золы в радиационно-загрязненных участках леса показали следующие концентрации радионуклидов (Cs-137 свыше 1000-5000 Бк/кг, K-40 от 2000-10000 Бк/кг, Ra-226 до 126 Бк/кг, Th-232 до 35 Бк/кг). Такая зола является открытым источником ионизирующего излучения. Разумеется, что концентрация радионуклидов в продуктах горения и их вредное воздействие зависит от плотности загрязнения территории, на которой возник очаг возгорания.

Зонирование загрязненных территорий и регламентация ведения хозяйства на них производятся преимущественно по плотности загрязнения почв цезием-137, поскольку он в настоящее время является основным дозообразующим радионуклидом в Беларуси. В соответствии с Постановлением Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь 15 января 2001 г. № 1 «Об утверждении Правил ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения», при зонировании территорий лесного фонда выделяются и наносятся на карту 4 зоны радиоактивного загрязнения лесов [4]. Для каждой зоны существуют свои требования и ограничения по охране лесов от пожаров, меры, устанавливаемые для зон с меньшей плотностью загрязнения почв, распространяются на зоны, имеющие более высокую плотность загрязнения.

I зона – плотность загрязнения почв в лесах цезием-137 1-5 Ки/км²

II зона – от 5 до 15 Ки/кв.км

III зона – от 15-40 Ки/кв.км

IV зона – плотность загрязнения почв цезием-137 более 40 Ки/км²

В Беларуси лесные насаждения с плотностью поверхностного загрязнения по Cs-137 свыше 1 Ки /км² в почве подверглось 21,7% лесного фонда Беларуси (свыше 1,6 млн. га).

Леса с плотностью загрязненности 1-15 Ки/км² расположены на площади 1458 тыс. га, на 164 тыс. га леса поверхностная плотность загрязнения составляет 15-40 Ки/км², а на 28 тыс. га – свыше 40 Ки/км².

Противопожарное устройство лесов и строительство противопожарных водоемов осуществляется во всех зонах. При проектировании противопожарных мероприятий в лесах, загрязненных радионуклидами, необходимо иметь в виду, что они независимо от плотности загрязнения радионуклидами по режиму охраны приравняются к лесам I класса пожарной опасности.

В связи с этим при разработке генпланов противопожарного устройства лесов для обнаружения и тушения лесных пожаров в зонах радиоактивного загрязнения предусматривается комплекс мероприятий в соответствии с требованиями главы 27 и приложения 11 Правил ведения лесного хозяйства.

Как уже упоминалось, основной опасностью для пожарных помимо теплового воздействия является наличие в воздухе мелкодисперсной пыли, содержащей радиоактивные частицы. Следовательно, ликвидаторы пожара помимо внешнего радиационного облучения могут получить и внутреннее облучение, наиболее опасное для здоровья.

Исходя из вышеизложенного, ликвидация пожаров с применением землеройной техники должна выполняться только в исключительных случаях и в небольших объемах, с целью минимизации пылеобразования.

2. Локализация и адсорбция радиоактивных продуктов горения

Данные экспериментов по оценке переноса радионуклидов при лесном пожаре в дымовом шлейфе, а также выпадение их на сопредельной территории [1] свидетельствуют о миграции нуклидов. Локализация продуктов горения и минимизация переноса возможна за счет применения при тушении пожаров эффективных огнезащитных химических составов «Метафосил», «Тофасил» [6] и дальнейшей разработке новых огнезащитных и огнетушащих составов.

Актуальность разработки и применения высокоэффективных огнегасящих составов, которые несли бы в себе функции блокираторов радионуклидов в процессе сгорания растительного материала, обусловлена необходимостью ограничения негативного воздействия пожаров на окружающую среду и людей, участвующих в ликвидации очагов возгорания.

Наиболее перспективным, на наш взгляд, является разработка и применение специальных адсорбентов, вводимых в огнетушащие составы, которые либо физически блокируют миграцию радионуклидов за счет пленкообразования, либо существенно ее снижают за счет образования химических связей радионуклидов и адсорбентов.

3. Контроль индивидуальных доз пожарных спасателей и применение средств индивидуальной защиты

Величина эффективной дозы облучения пожарных-спасателей и их радиационная защита зависят от плотности поверхностной загрязненности территории, на которой возник очаг возгорания.

Личный состав, принимающий участие в ликвидации пожаров на радиоактивно загрязненной местности, должен быть обеспечен индивидуальными дозиметрами, специальной одеждой и обувью, средствами индивидуальной защиты органов дыхания. Степень защиты пожарных спасателей зависит от зоны, в которой производится ликвидация пожара. Ответственность за соблюдение норм радиационной безопасности и радиационную защиту людей возлагается на руководителя тушения пожара [5].

В связи с этим, руководитель должен выяснить уже имеющиеся индивидуальные дозы облучения каждого бойца на текущий момент и скорректировать время работы каждого участника ликвидации пожара на радиоактивно-загрязненной территории с учетом того, чтобы предел эффективной эквивалентной дозы для каждого не превысил

предела дозы 20 мЗв. Предел дозы (ПД) – величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне.

По нашему мнению, при ликвидации пожаров в I и II зонах (до 15 Ки/км²) комплект боевой одежды пожарных спасателей обеспечит необходимый уровень радиационной защиты организма, а с целью защиты органов дыхания достаточно применение имеющихся в наличии респираторов.

При ликвидации пожаров в III и IV зонах (до 40 Ки/км²), характеризующихся высоким содержанием радионуклидов в продуктах горения, необходимо применение специальных средств защиты.

Одежда защитная АРК-1 предназначена для защиты жизненно важных органов человека при работах в зоне воздействия ионизирующего излучения. Она состоит из полукombineзона и головного убора (капюшона), надежно укрывающих жизненно важные органы человека. Одежда упаковывается в сумку. Надевается на рабочую одежду или непосредственно на нательное белье. После выполнения каких-либо работ в радиационно загрязненной среде обязательно подвергается дезактивации. Одежда в значительной мере ослабляет ионизирующие излучения: альфа излучения — полностью, бета излучения (до 2,5 МэВ) – в 40-50 раз, гамма-излучения (до 200 КэВ) – в 3 раза, рентгеновское излучение – в 15 раз.

Радиационно-защитный комплект одежды для пожарных (ТУ 8570-047-38996367-2004) типа РЗК предназначен для защиты пожарных, охраняющих объекты атомной энергетики от внешнего облучения бета- и частично гамма-излучениями, повышенных температур, тепловых потоков, проникновения радиоактивных газов и аэрозолей через дыхательные пути и пищеварительный тракт, а также радиоактивного загрязнения кожи и слизистых оболочек.

Комплект позволяет понизить воздействие проникающих излучений на органы и ткани с учетом их различной чувствительности к возникновению детерминированных и стохастических эффектов облучения. Тем самым увеличивается продолжительность времени пребывания в зоне контролируемого облучения.

4. Организация мероприятий по дезактивации

В связи с загрязненностью комплекта боевой одежды пожарных-спасателей и используемой при пожаре техники продуктами горения, содержащими радионуклиды, возникает необходимость дезактивации специальной аварийно-спасательной техники и спецодежды персонала.

Недостаточное внимание, уделяющееся дезактивации, является одной из причин «расползания» радионуклидов на чистые территории и риск повышения дозовой нагрузки на персонал и население.

Из всех существующих и применяемых способов дезактивации наиболее известными являются жидкостные. В частности в 30-километровой зоне Чернобыльской АЭС широко использовались и в настоящее время используется дезактивация водой под давлением с добавлением поверхностно-активных веществ. Разработка новых поверхностно-активных веществ, обеспечивающих высоких показателей дезактивации, экологических чистых и биологически безопасных является важным и актуальным направлением научных исследований в области ликвидации пожаров на радиационно-загрязненных территориях.

Одним из перспективных направлений в области дезактивации является разработка термостойких полимерных материалов облегченного типа с требуемыми защитными, эксплуатационными и эргономическими характеристиками.

Одноразовые комбинезоны, сшитые из тонкой пленки, надетые дополнительно поверх боевого комплекта пожарных перед пожаром в зонах I и II, снятые и помещенные в специальные контейнеры после тушения пожара, позволят упростить и значительно повысить эффективность мероприятий по дезактивации.

Решение поставленных задач предложенными методами и разработка новых способов и методик с учетом всех особенностей позволят в значительной степени повысить безопасность тушения пожаров на радиационно-загрязненных территориях, предотвратить горизонтальную миграцию радионуклидов, снизить дозовую нагрузку на пожарных-спасателей, население и экосистему в целом.

Литература

1. Предупреждение, ликвидация и последствия пожаров на радиоактивно загрязненных землях / Сборник научных трудов – Гомель, 2002. – Вып. 54. – С. 120–124.
2. Молодых, В.Г. Радиоэкологические последствия лесных пожаров // Минск, 1993. – 17 с.
3. Будыка, А.К. Радиоактивные аэрозоли при пожарах на территориях, загрязненных продуктами Чернобыльской аварии / А.К. Будыка, Б.И. Огородников // Радиационная биология. Радиоэкология. 1995. – Т. 35, вып. 1. – С. 82–87.
4. Постановление Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь от 15 января 2001 г. № 1 «Об утверждении Правил ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения» – Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2000 г., № 70, 2/195.
5. Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 31.12.2013 № 137 Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения».
6. Патент Республики Беларусь № 2149 Состав для профилактики, локализации лесных пожаров и борьбы с ними, 1997.А62Д1/00.

ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

Р.И. Шевченко

*Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина,
shevchenko605@rambler.ru*

В преддверии 30 годовщины трагедии на Чернобыльской АЭС остро встает вопрос о концептуальной возможности и дальнейшем развитии систем мониторинга чрезвычайных ситуаций и предотвращения трагедий подобного рода.

Анализируя современное состояние рассматриваемого вопроса, как то общих подходов к развитию человечества [1, 2], так и отдельных вопросов безопасности, к которым, прежде всего, следует отнести создание эффективных механизмов предотвращения чрезвычайных ситуаций различного характера возникновения, приходится констатировать принципиальную невозможность существенных сдвигов в данном направлении вследствие ограниченности современных научных взглядов на формирование и преодоление ряда проблем по созданию системы мониторинга чрезвычайных ситуаций [3].

На первый взгляд, выход – это создание принципиально новых подходов к пониманию и решению проблемы мониторинга чрезвычайных ситуаций, опираясь, прежде всего, на энергетические методы [4, 5], как наиболее адекватно отражающие реальное состояние объектов контроля и приближенные, с точки зрения широкого круга специалистов, к современным методологическим системам анализа [6]. Однако основным тормозящим фактором в развитии систем мониторинга следует признать величину разрыва в цепи формируемой проблемы, а именно: между «завтрашней» философской трактовкой [7] и «вчерашними» попытками ее преодоления [6, 8] при отсутствии программы действия «настоящего» [9] о создании «научного компромисса». Базовым шагом следует считать применение системного подхода к оценке прогнозируемой эффективности системы мониторинга чрезвычайных ситуаций, опираясь на принцип иерархии влияния:

$$E_p = F_I(k_c^1 \dots k_c^{nc}) E_{II}(X); \quad (1)$$

$$E_{II}(X) = F_{II}(k_m^1 \dots k_m^{nm}) E_{III}(f_m(x^j)); \quad (2)$$

$$E_{III}(f_m(x^j)) = F_{III}(k_t^1 \dots k_t^{nt}) E_b(f_t(x_g^j)). \quad (3)$$

Комментируя приведенную систему уравнений (1–3), отметим следующее: E_p – прогнозируемый уровень эффективности системы мониторинга создаваемого E_b – относительная эффективность существующего прототипа (аналога), E_{III} – оценка уровня эффективности системы мониторинга в условиях воздействия функции $F_{III}(k_t^1 \dots k_t^{nt})$ технических (*technical*) решений (мероприятий $k_t^1 \dots k_t^{nt}$) на эффективность отдельных элементов x_g^j – j подсистемы мониторинга.

На этом уровне функция f_t обладает исключительно свойствами объединения элементов одной подсистемы с учетом принципа их взаимной зависимости как отдельных переменных (элементов). E_{II} – оценка уровня эффективности системы мониторинга в условиях воздействия функции $F_{II}(k_m^1 \dots k_m^{nm})$ методологических (*methodological*) решений (мероприятий $k_m^1 \dots k_m^{nm}$) на эффективность отдельных подсистем x^j j – системы мониторинга (X). На этом уровне функция f_m обладает свойствами как объединения, так пересечения различных подсистем одной системы мониторинга. $F_I(k_c^1 \dots k_c^{nc})$ – функция влияния концептуальных (*concept*) решений.

Приведенная система уравнений характеризует процесс мониторинга чрезвычайных ситуаций как процесс закрытого типа, что не соответствует действительности и, следовательно, ее необходимо дополнить уравнением корректировки (*adjustment*):

$$E_{II}(X_a) = F_{II}^a(k_m^{1a} \dots k_m^{nam}) E_{III}(f_m(x^j)), \quad (4)$$

где для $F_{II}^a(k_m^{1a} \dots k_m^{nam})$ выполняется следующее условие рассогласования формирования, а именно минимум эффективности на методологическом уровне:

$$F_{II}^a \equiv F_{II}^q \text{ при условии } E_{II}^q = \min(E_{II}^1 \dots E_{II}^r), \quad (5)$$

где r – количество взаимодействующих (ведомственных, государственных, межгосударственных) систем мониторинга чрезвычайных ситуаций различной природы.

Систему уравнений (1–5) следует считать базовым критерием для последующих (концептуальных, методологических и практических) шагов в направлении совершенствования и развития систем мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Литература

1. Харламов, А.С. Смена парадигмы мышления как возможность выхода из глобального кризиса цивилизации / А.С. Харламов, Е.В. Беляева // Сб. научн. трудов «Актуальные проблемы биологии, медицины и экологии», 2004. – Вып. 1. [Электрон.ресурс]. – Режим доступа: <http://tele-conf.ru/sborniki-nauchnyih-trudov>

2. Шилов, С. Философские начала электронного мышления. Новое определение материи / С. Шилов. [Электрон.ресурс]. – Режим доступа: http://lib.ru/POLITOLOG/SHILOW_S/s_materia.txt

3. Шевченко, Р.И. Системные модели состояния опасных объектов техногенного и природного характера / Р.И. Шевченко, Б.Б. Поспелов, А.Н. Коленов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Сб. наук. пр. – Харків: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 17. – С. 113–125.

4. Шевченко, Р.И. Оценка уровня химической опасности территории Украины на основе анализа энергетических показателей жизнедеятельности / Р.И. Шевченко, В.Д. Калугин, В.В. Тютюник [и др.] // Нафтогазова енергетика. – 2013. – Вип. 1 (19). – С. 109–123.

5. Тютюник, В.В. Оцінка рівня пожежної небезпеки території України на основі аналізу енергетичних показників стану життєдіяльності / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко, В.Д. Калугін та ін. // Пожежна безпека. Сб. наук. пр. – Львів: ЛДУБЖ, 2013. – Вип. 22. – С. 99–112.

6. Шевченко, Р.И. Аналіз сучасних тенденцій наукових досліджень в галузі моніторингу надзвичайних ситуацій / Р.І. Шевченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Сб. наук. пр. – Харків: НУЦЗУ, 2015. – Вип. 21. – С. 132–142.

7. Красников, И.И. Физика информационных взаимодействий – основа будущих технологий третьего тысячелетия / И.И. Красников, Е.Ф.Радько // Квантовая Магия. – 2010. – Т. 7, вып. 2. – С. 21–47.

8. Кодекс цивільного захисту України [Електрон.ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/5403-1>.

9. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році [Електрон.ресурс]. – Режим доступа: www.mns.gov.ua/content/annual_report_2014.html.

ABSTRACTS

THE INDISPENSABILITY OF ACCOUNT OF RADIATING INFLUENCE ON RESCUERS AT SUPPRESSION OF FIRES IN POLLUTED TERRITORIES

S.N. Bobrysheva, U.N. Rubtsov

*Gomel Engineering Institute of the Ministry for Emergency Situations, Gomel, Belarus,
yuri_rubtsov@mail.ru*

Abstract. The paper considers the indispensability of radiation influence on the responders at liquidation of wild fires on contaminated areas. It is shown that the studies of chemical composition and concentration changes of radioactive aerosols, depending on the distance to the source of the fire and the wind direction, will allow developing some protection measures and also reducing minimal radioactive dose load on the rescuers.

FIRE-RETARDANT AND EXTINGUISHING MULTI ACTING AGENT TO FIGHT FOREST AND PEAT FIRES

V.V. Bogdanova, O.I. Kobets

Research Institute for Physical Chemical Problems, Belarusian State University, Minsk, Belarus, bogdanova@bsu.by

Abstract. To reduce the damage caused by forest and peat fires, including fires in the polluted by radionuclides areas, a new chemical fire retardant multi acting composition (Complexil) was developed. This agent can effectively prevent burning and extinguishing of natural materials (wood, forest fuels and peat). The comparative study of fire retardant, fire-extinguishing efficiency and physico-chemical properties of Complexil with specialized flame retarding (Metaphosil) and fire extinguishing (Tofasil) agents for the prevention, suppression of forest and peat fires.

Laboratory and field fire tests indicated that the main fire properties of Complexil, such as fire-retardant, fire-extinguishing efficiency, carbonization capability and reliability in the control of forest and peat fires were comparable with those of Metaphosil and Tofasil agents. At the same time the cost of new Complexil is lower.

If compared with OS-5 (fire-extinguishing agent manufactured in Russian Federation) new Complexil has greatly improved weatherability at a lower (1.3-times) concentration of the working solution. Fire retardant properties of Complexil in the forest environment are saved for at least 30 days in the case of natural rainfall up to 34 mm, while the OS-5 is not resistant to the atmospheric precipitation.

REEVACUATION IN THE ZONE OF CHERNOBYL ACCIDENT

D.N. Govorov, A.I. Kuzmin

*Civil Defence Academy (CDA) of EMERCOM of Russia, Khimki, Russia,
govorov-dn@yandex.ru*

Abstract. Radiation accidents are always associated with great damage to people and the environment. And, most importantly, the duration of exposure to adverse factors of a few

decades. The accident at the Chernobyl nuclear power plant resulted in the radioactive contamination of approximately 155,000 square kilometers of the territory of the former USSR (today Russia, Belarus and Ukraine), the evacuation of 404,000 people.

The process of the return of evacuees to their places of permanent residence has been launched in June 1986. But the first attempt was canceled due to the fact that not all of the negative factors affecting the people have been taken into account. However, the fall of 1986 after a decline of background radiation in the Chernobyl nuclear power plant zone as a result of natural decay of radioactive elements and decontamination areas, roads and buildings, was returned population in the 14 most prosperous in terms of the radiation situation settlements. In subsequent years, this issue was not raised.

At the same time, all three countries have the relevant laws governing the process of return of evacuees in the exclusion zone. Criteria start returning after the evacuation of the population in all of these laws are limited only by reducing the level of contamination. But it is worth noting that, in addition, the re-evacuation process involves a complex set of measures to prepare the territories to receive people. This complex includes the construction and reconstruction of housing, communications, infrastructure, objects of trade, medicine, job creation, and so on.

It is possible that talk about the evacuation in the case of Chernobyl is not entirely correct. The most appropriate term here is the restoration of the conditions for permanent residence in the said territory.

In the case of the accident at the "Fukushima" the Japanese government still has to deal with the re-evacuation of the population. This is, among other things, due to the limited area for the resettlement of the population.

In connection with the need to experience the elimination of the Chernobyl accident, accumulated over the 30 years, it is a great help in solving the problem of the return of the population to the Japanese experts. Joint projects in this area will greatly enhance the effectiveness of radiation accident.

PREPARATION OF OPERATIONAL PERSONNEL TO ACTION ON THE PREVENTION AND ELIMINATION OF ACCIDENT (FIRE) AT NUCLEAR POWER PLANTS

A.D. Ishchenko, I.S. Fogilev

State Fire Academy of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia, adinko@mail.ru

Abstract. Today, about 17 % of electricity production belongs to nuclear power plants in the world. According to the forecast of growth the world and Russian energy until 2040, nuclear power in the period from 2010 to 2040 will take the third place in terms of increase in the world consumption after renewable energy and gas.

However, with the growth of the construction of new nuclear power plants and nuclear reactors today operated nuclear power plants with an average age of acting reactors – 28.5 years. In this connection it is necessary to give more attention to the maintenance of security at these facilities.

There are tragic cases of accidents (fires) that have occurred in the world's nuclear power plants Tragedy accompanied by numerous deaths, injury of various severity level of operating personnel of nuclear power plants, firefighters and rescuers, radionuclide emissions pollute the territory regions and states.

For the prevention and liquidation of accidents (fire) on nuclear power plants in Russia created a special service division of State Fire Protection Service of the NPP, located in proximity to the station. It should be noted that the control of the generation of electricity at nuclear power plants is performed by staff working on round-the-clock shifts schedule. This staff is primarily tasked with the safe operation of nuclear power plants, and in the possible damage (fire) officials from among operational staff before the arrival of special services, are managing reactor plant emergency operation even in gassy and (or) unsuitable environment for breathing. For such cases, the operating personnel is provided by means of protection of organs respiratory and vision, but these means do not fully ensure the safety of officials.

Considering the positive experience of special services to carry out work on the reactor plant control and eliminate it in a subcritical state officials of the NPP should be provided with complex of means of protection which includes:

protection means of respiratory and vision;

protection means of body from the impact dangerous fire factors (heat, sparks and hot objects, open fire);

minimum set of means to work in emergency situations.

Currently, the State Fire Academy of EMERCOM of Russia and JSC "Concern Rosenergoatom" is conducted scientific work on the development kit a protection means of operational nuclear power plant personnel. The results of the conducted work will be aimed primarily at improving the security level of the operating personnel of nuclear power plants at work on the prevention and liquidation of accidents (fires).

THE MODEL OF THE TRANSPORT OF POLLUTANTS IN CASE OF FIRE

A.V. Kalach, S.A. Cheprasov

*Voronezh Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Voronezh, Russia,
avkalach@gmail.com*

Abstract. An important problem in the areas affected by radioactive contamination is the transfer of fine contaminants in case of fire. On the basis of diffusion equations and the Navier-Stokes mathematical model of atmospheric diffusion of pollutants from fires, given the complexity of self-consistent motion of air masses. When air flows near the thermal flux, he is involved in a complex toroidal motion, which can lead to a significant change in the polluted area configuration. To describe its motion Navier-Stokes equations, supplemented by the constraint equation between the density and air pressure. At the same time the air is considered to be a continuous medium, allowing a strong grip, and having an internal viscosity. Navier-Stokes equations in real problems can not be solved analytically, in principle, therefore, will open a space sampling method and finite difference schemes. For the numerical solution of the cubic area of modeling in the vicinity of the fire (with a typical size of 1 to 10 km) is sampled cubic grid. In the course of the joint solution of Navier-Stokes equations and diffusion made the imposition of the diffusion pattern on the air mass velocity, taking into account the different size grids, and changes in the concentration of the field in accordance with the local direction of air flow. The developed simulation method makes it possible to predict how the spread of pollutants in relation to the case of a real map with indication of thermals, and study the impact of the fire parameters and the disturbance sources atmosphere on the propagation of contaminated area.

PROBLEMS OF CONTROL AND PREVENTION OF AIR TRANSFER OF TECHNOGENIC RADIONUCLIDES ON THE TERRITORY OF SVERDLOVSK REGION FROM NUCLEAR FUEL CYCLE FACILITIES LOCATED IN THE CHELYABINSK REGION

A.V. Korzhavin, V.N. Trapeznikov, A.V. Trapeznikov, A.P. Plataev, A.I. Suchkova

*Institute of ecology of plants and animals Ural branch of RAS, Ekaterinburg, Russia,
bfs_zar@mail.ru*

Abstract. Studied the impact of transboundary atmospheric transport of radionuclides from PO «Mayak», located in the Chelyabinsk region on the territory of Sverdlovsk region. It is shown that gas and aerosol atmospheric deposition of ^{137}Cs , ^{90}Sr and $^{239,240}\text{Pu}$ in currently does not have a significant impact on border areas in the southern part of Sverdlovsk region.

THE COMBINED THREAT OF EMERGENCY SITUATIONS IN CASE OF ACCIDENTS AT NUCLEAR POWER PLANTS

G.V. Martirosyan¹, S.B. Fedotov²

¹Special fire and rescue brigade, Yerevan, Armenia

²Civil defence Academy EMERCOM of Russia, Khimki, Russia, sbfedotov@ya.ru

Abstract. On-site emergency at each nuclear power plant can cause a site emergency in neighbouring enterprises, but collectively, national emergency, passing in a transboundary. The global character can have a connection of radioactive clouds to clouds from emissions of hazardous chemicals. Dynamics of processes of interaction of radioactive and chemical hazardous substances within such radiation-chemical cloud is still subject to research.

THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE OCCURRENCE AND SPREAD OF THE FOREST FIRES IN THE BELARUSIAN SECTOR OF CHERNOBYL NPP EXCLUSION ZONE

Y.D. Marchenko, V.E. Belash

Polesye State Radiation Ecological Reserve, Khoyniki, Belarus, umd66@yandex.ru

Abstract. The burning of the forests for the last ten-year period was analyzed in accordance with the primary materials of their accounting on the territory of Chernobyl NPP exclusion zone. The quantitative indicators of the main weather factors influencing the occurrence and spread of the forest fires on the territory were considered. It was established that there are dry periods on the territory of the region which contribute to the occurrence and spread of the fire. It has been shown that a high temperature and a low rainfall in the fire season (April to October), as a conclusion, the low humidity coefficient had a large influence on the probability of the fires occurrence. The wind, depending on its speed, affects the transfer of the burning material from the main fire to the various distances and thus increases the burning of the forests. The low rainfall during the fire season in 2015, the sum of which was 273 mm (humidity coefficient 0.3), as a result, the biggest forest fire (13325 ha.) appeared since the establishment of the exclusion zone. The weather conditions in 2015

contributed to the biggest forest fires and increased their number to 14. The total area 13366,8 ha. It was also noted that all weather and climate factors influence on ecosystems not isolated but rather as part of a complex and depending on the nature of their combination the effect will be different. The results of the forest fires long-term dynamics in the exclusion zone have been actualized and reflect the causative features of their occurrence and spread.

METHODOLOGY OF THE ASSESSMENT OF TECHNOGENIC INFLUENCE AND ORGANIZATION OF COMPLEX MONITORING OF THE TERRITORY MOGILEV REGION

A.F. Mirontchik

*UO «Mogilev State University of Food Technologies», Mogilev, Belarus,
plissa-maf@rambler.ru*

Abstract. The principles and methodology of an estimation man-caused influence of economic activity on a condition of an environment and health of the population are stated. The structure of organization and management of complex monitoring of territory of the Mogilev region's territory is offered.

DEVELOPMENT OF THE ROBOTIC COMPLEX OF AUTOMATIC DETECTION AND LIQUIDATION OF THE CENTER OF IGNITION

V.N. Pasovets¹, V.A. Kovtun², A.A. Daragan³

¹*Institute for Command Engineers of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus, pasovets_v@mail.ru*

²*Gomel Engineering Institute of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Gomel, Belarus, vadimkov@ya.ru*

³*The Republican Logistics Support Center of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus*

Abstract. The robotic complex of automatic detection and liquidation of the center of ignition is developed. Introduction in practice of the developed robotic complex of automatic detection and elimination of the center of ignition will allow to increase the level of safety of operation of the protected object.

OF ACCIDENTAL RELEASE OF ¹³⁷Cs AND ⁹⁰Sr INTO THE ENVIRONMENT APPLICATION OF NEW FORMS OF RETARDED FERTILIZERS IN CASE

E.G. Saraseko

*Gomel Engineering Institute of the Ministry for Emergency Situations, Gomel, Belarus,
elen_saraseko@tut.by*

Abstract. The article considers the main forms of retarded fertilizers used in agro-chemical practice for cropping, implementation of energy-saving techniques for the use these

fertilizers, and reproduction of crop-producing power of soils as one of strategic tasks of agricultural sector of the country.

INTERNATIONAL COOPERATION FOR CHERNOBYL ACCIDENT CONSEQUENCES OVERCOMING

V.A. Sobina, L.V. Borysova, V.V. Kharlamov

National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, sobol_84@inbox.ru

Abstract. Foundations of cooperation between Ukraine and the European Union in environmental protection and forecasting of technological accidents consequences. Forms and methods of this cooperation, joint institutions, meetings and consultations. To solve the problem of prevention and liquidation of emergency situations in areas of radioactive contamination are important: environmental policy requirements regarding uranium mining, radioactive waste management and plans for the exclusion zone around Chernobyl, operational plan for improving the safety of VVER-type reactors, construction of dry storage warehouses, mainly near nuclear power plants, construction of facilities for waste treatment, their preparation for storage and final disposal, taking into account the long-term safety requirements in accordance with international standards, safe isolation of Chernobyl waste in the same place or removal and reburial in storage, in accordance with the principle of minimal risk, regular review of the status of the settlements in the Chernobyl zone on the basis of realistic scientific analysis, policies and programs aimed at overcoming the psycho-social health problems caused by the Chernobyl accident.

PERFECTION TRAINING OF RESCUERS TO WORK IN COMPLEX SETS OF PPE OF THE FIRST TYPE

V.M. Strelec

National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, strelec@nuczu.edu.ua

Abstract. It was noted that improving the training of rescue workers to the works in the conditions of radiation exposure requires consideration of differences that occur when using complex sets of PPE of the first type, equipped with a filter or breathing apparatus. Based on the disclosed patterns of rescue work proposed standards for their use during the preparation

THE INFLUENCE OF NOS INHIBITOR T1023 ON THE LABORATORY AND CLINICAL MANIFESTATIONS OF BONE MARROW SYNDROME OF ACUTE RADIATION SICKNESS

**M.V. Filimonova, V.M. Makarchuk, O.S. Izmest'eva, L.I. Shevchenko,
E.A. Chesnakova, A.S. Samsonova, T.S. Korneeva, A.S. Filimonov**

Medical Radiological Research Center named A.F. Tsyb - branch of federal state budgetary institution «National Medical Research Radiological Center" of the Ministry of Health of the Russian Federation, mari_fil@mail.ru

Abstract. In prior studies we have shown that some of the N,S-substituted isothiourea, which are effective inhibitors of nitric oxide synthase (NOS), are able to provide radioprotective effect. Among the studied compounds in this class the product of isothiourea under the code T1023 was of particular interest. It was shown that compound 1023 effectively protect the animals exposed to radiation at doses specific to the medullary forms of acute radiation syndrome (ARS), and increases the LD50/30 of γ -radiation in mice from 7,1 to 10,2 Gy (DRF – 1,4). In order to clarify the mechanisms of radioprotective action of T1023 we have investigated the effect of this compound on the dynamics of the cell content in the red bone marrow and hematological parameters of blood in animals exposed to γ -radiation in the medium lethal doses.

CHARACTERISTICS OF WILDLAND FIRE ELIMINATION IN THE AREAS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

T.I. Khalapsina, U.N. Rubtsov

*Gomel Engineering Institute of the Ministry for Emergency Situations, Gomel, Belarus,
yuri_rubtsov@mail.ru*

Abstract. Fires in the areas of radioactive contamination have certain specific features: the products of burning contain radionuclides of transuranic elements. These fires cause migration of radionuclides and form zones of secondary radioactive contamination; they increase radioactive dose load on the responders and the population. The present work is devoted to minimizing of the effects of wildland fires in the areas of radioactive contamination.

FORMATION EVALUATION CRITERIA EFFECTIVE MONITORING OF NATURAL AND MAN-MADE DISASTERS

R.I. Shevchenko

*National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkov, Ukraine,
shevchenko605@rambler.ru*

Abstract. The paper considers the problem of formation of criteria for evaluating the effectiveness of systems for monitoring emergency natural and man-made disasters. Analyzing the current state of the issue, such as common approaches to human development, and individual security, which, above all, should include the establishment of effective mechanisms for the prevention of emergency situations of different nature of origin, it must be noted that the essence of the problem in the fundamental impossibility of significant shifts in this direction, because of the limitations of modern scientific views on the formation and overcome a number of problems on creation of emergency monitoring system. The basic step in resolving key conflicts should be regarded as a systematic approach to assessing the effectiveness of the predicted emergency monitoring system, based on the principle of hierarchy of influence. As a result, we formed a system of equations, which is in full volume covers the conceptual requirements, methodological and practical levels to solve this problem.

Научное издание

Чернобыль: 30 лет спустя

Материалы международной научной конференции
(21–22 апреля 2016 г.)

Chernobyl: 30 years later

Proceedings of the International Scientific Conference
(April 21–22, 2016)

Ответственный за выпуск О. Л. Федосенко

Редакторы А. А. Михайлова

А. С. Чаранкова

Компьютерная верстка А. С. Куликова

Подписано в печать 15.04.2016. Формат 60×84/8.

Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 15,93.

Уч.-изд. л. 17,93. Тираж 250 экз. Заказ 1511.

Издатель РНИУП «Институт радиологии» МЧС Республики Беларусь.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/95 от 25.11.2013.

Отпечатано в Филиале БОРБИЦ РНИУП «Институт радиологии»
МЧС Республики Беларусь.

Ул. Шпилевского, 59, помещ. 7Н, 220112, г. Минск