

ФГБНУ ВНИИРАЭ



**ВЗГЛЯД МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
НА СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ
РАДИОБИОЛОГИИ, РАДИОЭКОЛОГИИ
И РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Сборник докладов молодежной конференции
с международным участием, посвященной
45-летию образования
ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии**

г. Обнинск, 7-8 сентября 2016 года



Обнинск-2016

ФГБНУ ВНИИРАЭ



Федеральное агентство научных организаций

ФГБНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт радиологии и
агроэкологии»

**ВЗГЛЯД МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ НА СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РАДИОБИОЛОГИИ,
РАДИОЭКОЛОГИИ И РАДИАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

Сборник докладов молодежной конференции с
международным участием, посвященной
45-летию образования ФГБНУ ВНИИ радиологии и
агроэкологии

г. Обнинск, 7–8 сентября 2016 года

Обнинск-2016

УДК 577.346; 574: 577.346; 539.1.04

Редакционная коллегия:

Н.И. Санжарова, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН

А.В. Панов, доктор биологических наук, профессор РАН

О.А. Шубина, кандидат биологических наук

Н.А. Сотникова, кандидат биологических наук

Составители: Н.А. Сотникова, О.А. Шубина

Взгляд молодых ученых на современные проблемы развития радиобиологии, радиэкологии и радиационных технологий: сборник докладов молодежной конференции с международным участием, посвященной 45-летию образования ФГБНУ ВНИИРАЭ, Обнинск, 7–8 сентября 2016 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. - 261 с.

В сентябре 2016 г. исполняется 45 лет с момента основания Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии (в 1970 г. Всесоюзного НИИ сельскохозяйственной радиологии). Это событие институт отмечает проведением молодежной конференции с международным участием.

В сборнике представлены доклады конференции по следующим направлениям: радиационная биохимия, молекулярно-клеточная радиобиология, радиобиология растений и животных, действие ионизирующих и неионизирующих излучений, лесная и сельскохозяйственная радиэкология, мониторинг радиационно-опасных объектов и оценка рисков, миграция радионуклидов, проблемы реабилитации радиоактивно загрязненных территорий, развитие радиационных технологий в медицине, пищевой и перерабатывающей промышленности.

Материалы публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-903386-42-0

© ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

СЕКЦИЯ 1. РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ

<i>С.В. Битаршивили, П.Ю. Волкова, С.А. Гераськин</i> Изменение фитогормонального баланса проростков ячменя после гамма-облучения семян стимулирующими дозами	8
<i>В.С. Бондаренко, Е.А. Тыщук, Ю.А. Рыбалко</i> Изучение показателей молекулярно-генетического разнообразия популяций сосны обыкновенной в зонах хронического радиационного воздействия на основе SSR-маркеров	12
<i>П.Ю. Волкова, Е.А. Казакова, С.А. Гераськин</i> Изучение реакции антиоксидантной системы сосны обыкновенной на хроническое радиационное воздействие	15
<i>О.А. Воробей, Е.С. Евстратова</i> Влияние лекарственных средств на радиочувствительность и восстановление дрожжевых клеток	19
<i>А.В. Дикарев, В.Г. Дикарев, Н.С. Дикарева</i> Исследование спектра изотимов, маркирующих устойчивость ячменя к свинцу, факторным анализом	24
<i>Е.С. Евстратова, М.Ю. Подобед, А.Н. Филимонова</i> Влияние пloidности клеток на проявление отдаленных радиационных повреждений	29
<i>Е. А. Казакова, П. Ю. Волкова, С. А. Гераськин</i> Полиморфизм ферментов глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы, малатдегидрогеназы и лейцинаминопептидазы в хронически облучаемых популяциях сосны обыкновенной	33
<i>И.А. Колесникова, Н.Н. Буденная, Ю.С. Северюхин, К.Н. Ляхова</i> Морфологические и функциональные нарушения в центральной нервной системе мышей при действии γ -квантов ^{60}Co	37
<i>М.А. Колыванова, В.А. Климанов</i> Исследование отношения выходных доз, создаваемых пучками фотонов в условиях полубесконечной и барьерной геометрий водной среды	40
<i>А.Г. Кузьменков, Д.В. Васильев</i> Временная динамика цитогенетических эффектов в популяциях сосны обыкновенной, произрастающих в условиях хронического радиационного воздействия	45
<i>Е.Р. Ляпунова</i> Типы инактивации клеток <i>chlorella vulgaris</i> после действия ионизирующего излучения разного качества	51

<i>Е.С. Макаренко, А.А. Удалова</i> Оценка аномалий пыльцы сосны обыкновенной в условиях хронического радиационного воздействия	56
<i>К.В. Манин, Ю.А. Рыбалко, Е.А. Тыщик</i> Действие хронического уф в облучения растений и климатических факторов на биохимические показатели и рост ячменя	59
<i>А.В. Тихонов, А.Е. Крюков</i> Действие γ -, УФ- и СВЧ-облучения на клубни картофеля	64
<i>Р.С. Чурюкин</i> Влияние γ -облучения на рост и развитие растений ячменя	69
СЕКЦИЯ 2. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭКОЛОГИИ	
<i>Debbabi Khaled</i> Environmental technical specification for nuclear power plants	74
<i>Н.В. Андреева, Н.В. Белова, В.К. Кузнецов, Н.И. Санжарова</i> Влияние извести на биологическую подвижность ^{137}Cs в дерново- подзолистой песчаной и торфяной почвах	75
<i>О.Ю. Баланова, А.Н. Ратников</i> Накопление ^{137}Cs в урожае яровой пшеницы при использовании Супродита М и Геотона на дерново-подзолистой супесчаной почве	79
<i>В.В. Володин, Р.И. Мироненко, В.Г. Епимахов</i> Многопользовательская база данных - архив данных экспериментов (АРДЭКС)	84
<i>И.В. Гешель, Д.В. Крыленкин</i> Влияние азотных удобрений на поступление ^{90}Sr в растения	87
<i>И.Ю. Гулина, А.Н. Ратников, А.В. Панов</i> Методология оценки кадастровой стоимости радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодий (на примере Брянской области)	91
<i>О.А. Гусева, А.А. Удалова</i> Изучение репродуктивных показателей клевера, произрастающего на территории Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами	95
<i>А.В. Ефремов</i> Влияние перепелиного помета и соломы злаковых на поступление ^{137}Cs в растения гороха (<i>pisum sativum l.</i>)	99
<i>А.М. Кабдыракова, С.Н. Лукашенко, А.Е. Кундузбаева, Н.В. Ларионова</i> Исследования распределения техногенных радионуклидов по гранулометрическим фракциям почв Семипалатинского испытательного полигона	102

<i>Е.И. Карпенко, В.Э. Куртмулаева, С.И. Спиридонов</i> Сравнительная оценка доз на биоту в районах расположения Ленинградской и Белоярской АЭС	110
<i>А.Д. Карпов, В.В. Калнин, А.И. Радин, А.Н. Раздайковин</i> Особенности распределения ¹³⁷ Cs в стволе сосны обыкновенной в зонах радиоактивного загрязнения	116
<i>Т.Е. Кожуханов, С.Н. Лукашенко, Н.В. Ларионова</i> Экспериментальные исследования параметров перехода искусственных радионуклидов в сельскохозяйственные растения в условиях радиоактивного загрязнения	123
<i>Л.Н. Колядич, А.В. Томсон, Е.И. Карпенко</i> База данных радиэкологического мониторинга района расположения Балтийской АЭС	126
<i>О.Л. Комиссарова</i> Параметры перехода и распределения цезия-137 в компонентах фитоценоза картофеля на радиоактивно загрязненных землях черноземной зоны	130
<i>Е.В. Копыльцова, Э.Н. Цуранков, В.С. Аверин, О.А. Мерзлова</i> Обеспечение стандартов безопасности при производстве говядины с учетом нормативов технического регламента таможенного союза по содержанию радионуклидов	136
<i>И.В. Кочетков, В.С. Анисимов, Д.В. Дикарев, Л.Н. Анисимова, Ю.Н. Корнеев, Л.М. Фригидова</i> Зависимость накопления радиоактивного цинка растениями от свойств почв	140
<i>В. В. Кречетников, О. А. Шубина, С. Н. Нуштаев</i> Современная радиационная обстановка в населенных пунктах юго- западных районов Брянской области по результатам комплексной паспортизации	146
<i>Д.В. Крыленкин, Н.И. Санжарова, Н.В. Андреева, И.В. Гешель, Н.В. Белова</i> Сорбция ⁹⁰ Sr природными минералами и искусственными сорбентами во времени из водного раствора	150
<i>А.Е. Кундузбаева, А.М. Кабдыракова, С.Н. Лукашенко</i> Исследование форм нахождения радионуклидов в почвах различных объектов СИП	156
<i>В.Э. Куртмулаева, Р.А. Микаилова, С.И. Спиридонов, Е.И. Карпенко, С.Н. Нуштаев</i> Долгосрочный прогноз дозы внешнего облучения населения от штатных атмосферных выбросов Ленинградской АЭС-2	163

<i>О.В. Лой, Н.Н. Исамов</i> Разработка методики оценки радиологической и экономической эффективности технологии применения смеси комбикорма с ферроцинсодержащими препаратами для снижения накопления радиоцезия в продукции животноводства	166
<i>И.В. Макаровец</i> Оптимизация минерального питания Молодняка крупного рогатого скота, содержащегося на загрязненных радионуклидами территориях	170
<i>Р.А. Микаилова, С.И. Спиридонов</i> Дозовые нагрузки на референтные организмы биоты при тяжёлой запроектной аварии на реакторе РWR-890	173
<i>Е.В. Мингареева</i> Изменение содержания радионуклидов (Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137) в почвах государственного природного заказника «Каменная степь» с 1929 по 2011 гг.	177
<i>Е.К. Нилова</i> Оценка ожидаемых эффективных доз внутреннего облучения сельскохозяйственных работников при проведении пылеобразующих операций на территории с чернобыльским загрязнением радионуклидами	183
<i>С.Н. Нуштаев, И.Е. Титов, В.В. Кречетников, В.Э. Куртмулаева, Р.А. Микаилова, О.А. Шубина</i> База данных радиационного мониторинга на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на ЧАЭС	187
<i>М.Б. Попова</i> Накопление цезия-137 черникой миртолистной в окрестностях Кольской атомной электростанции	191
<i>А.Д. Русских, А.И. Радин, А.Н. Раздайковин, В.В. Калнин</i> Биогеохимических особенностей почв стационарных участков радиационного мониторинга лесов Союзного государства	194
<i>З.Б. Сержанова, А.К. Айдарханова, С.Н. Лукашенко</i> Исследование распределения форм нахождения трития в грунтах радиационно-опасных объектов семипалатинского испытательного полигона	199
<i>Н.А. Сотникова</i> Эффективность реабилитационных мероприятий на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных территориях в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС	205
<i>Л. В. Тимонова, О. Н. Ляхова, С. Н. Лукашенко, А. М. Кабдыракова</i> Характер тритиевого загрязнения почвы в месте проведения экскавационного взрыва	210

<i>И.Е. Титов, О.А. Шубина, В.В. Кречетников</i> Применение геоинформационных систем для обоснования возвращения в хозяйственный оборот территорий, временно выведенных из землепользования после аварии на ЧАЭС	216
<i>Т.Э. Токтоева, Б.К. Калдыбаев, Б.М. Дженбаев</i> Радиоэкологическая оценка агроэкосистем Прииссыккуля	220
<i>Е.А. Трофимова, Т.А. Зотина, А.Я. Болсуновский</i> Накопление радионуклидов хищными и мирными рыбами р. Енисей	223
<i>Д.В. Турченко, С.Н. Лукашенко, О.Н. Ляхова, А.О. Айдарханов</i> Оценка характера распределения трития и механизмов формирования в снежном покрове на СИП	226
<i>М.В. Федоркова, Н.В. Белова, Н.В. Андреева</i> Влияние систем удобрения дерново-подзолистой песчаной почвы на биологическую подвижность ¹³⁷ Cs в агроценозе	228
<i>А.Н. Червань, А.Ф. Черныш</i> Реабилитация загрязненных радионуклидами агроландшафтов Беларуси при помощи геоинформационных средств	232
<i>Р.Р. Шошина, Е.Е. Черкасова</i> Изучение экологических аспектов воздействия Sr-90 на биоту территории расположения регионального хранилища РАО	236
СЕКЦИЯ 3. РАЗВИТИЕ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ, СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ, ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	
<i>Т.В. Чиж</i> Перспективы применения ионизирующего излучения в целях повышения безопасности и увеличения сроков хранения свежей продукции растениеводства	239
<i>А.И. Морозова, Н.А. Васильева, А.Н. Павлов, Е.П. Пименов</i> Радиационная обработка спесей в целях микробиологической безопасности	244
<i>И.В. Полякова, Н.А. Фролова</i> Анализ эффективности радиационной стерилизации многокомпонентных пищевых продуктов ускоренными электронами	247
<i>В.О. Сабуров, А.А. Лычагин, А.А. Бровин, Ф.М. Сазонов</i> Промышленная радиационная стерилизация продуктов и изделий медицинского назначения на базе гамма-установки ГУБ-20 000	251
<i>А.С. Снегирев, А.Н. Павлов, Е.В. Спирин</i> Определение оптимальных режимов облучения продукции пищевой промышленности на примере установки ГУР-120	256

УДК 633.16; 539.122.04; 577.175.1

**ИЗМЕНЕНИЕ ФИТОГОРМОНАЛЬНОГО БАЛАНСА
ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ ПОСЛЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН
СТИМУЛИРУЮЩИМИ ДОЗАМИ**

С. В. Битаршвили, П. Ю. Волкова, С. А. Гераськин

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: bitarishvili.s@gmail.com

Изучили ранние онтогенетические изменения содержания эндогенных фитогормонов в растениях ячменя, вызванные предпосевным гамма-облучением семян в стимулирующих дозах. Установлено, что низкодозовое радиационное воздействие изменяет фитогормональный баланс за счет снижения содержания ингибитора прорастания абсцизовой кислоты (АБК) и увеличения содержания ростстимулирующих гормонов: индолуксусной кислоты (ИУК), индолилмасляной кислоты (ИМК) и зеатина.

The early ontogenetic changes in the content of endogenous phytohormones in barley seedlings caused by preseeding gamma-irradiation of seeds in stimulating doses was studied. It has been established that low dose exposure changes the phytohormone balance by reducing the content of germination inhibitor abscisic acid (ABA) and increasing the content of growth-stimulating hormones: indoleacetic acid (IAA), indolebutyric acid (IBA) and zeatin.

Ввиду прикрепленного к субстрату образа жизни и отсутствия возможности выйти из зоны действия раздражителя, растения должны обладать очень сложным регуляторным аппаратом, для того, чтобы контролировать свой рост и развитие в постоянно меняющихся условиях окружающей среды. Эти реакции опосредованы действием основных эндогенных сигналов растений фитогормонов, которые могут работать как в местах их синтеза, так и, после транспортировки, в других частях растения. Помимо морфогенетических процессов, фитогормоны играют важнейшую роль в механизмах адаптации растений к неблагоприятным факторам окружающей среды, к числу которых относят ионизирующее излучение. В диапазоне малых доз ионизирующего излучения наблюдается эффект радиационного гормезиса, который в случае предпосевого облучения семян проявляется как стимуляция прорастания и увеличение процента всхожести семян. С целью изучения этого эффекта мы исследовали влияние гамма-облучения семян в стимулирующих дозах

на динамику изменения фитогормонального статуса проростков на ранних этапах онтогенеза.

В качестве объекта использовали проростки ячменя сорта Нур. Сухие семена облучали в дозах 4, 8, 12, 16, 20 Гр, высевали рулонным методом с дистиллированной водой. Концентрацию фитогормонов определяли в проростках с 3 по 7 день проращивания. С 4 дня в листьях и корешках отдельно. Пробоподготовка включала фиксацию растительного материала 80% метанолом, гомогенизацию, соникацию, очистку от примесей, твердофазную экстракцию, концентрирование. Количественный анализ проводился методом ультравысокоэффективной жидкостной хроматографии (УВЭЖХ). Разделение осуществлялось на обращено-фазовой колонке C-18 (2,2 мкм, 100 мм длина, 3,0 мм диаметр). В качестве растворителей при градиентном элюировании использовались метанол и 0,1% водный раствор уксусной кислоты.

Установлено, что содержание АБК в трехдневных проростках после облучения семян дозами 4, 12, 16, 20 Гр снижается, причем минимальная концентрация обнаружена при 4 Гр (табл. 1). В то время как при 8 Гр происходило увеличение концентрации почти в 2 раза. Похожая картина наблюдалась в корешках и листьях с 4-го по 7 день проращивания: при дозах 12–20 Гр происходило снижение концентраций АБК во всем проростке, при 8 Гр в корешках содержание фитогормона было выше, чем в контроле, тогда как в листьях такое повышение отмечалось лишь на 5 день. Максимальные концентрации АБК были зафиксированы при 4 Гр на 7 день в листьях и корешках, хотя с 4 по 6 день содержание фитогормона было ниже контрольных значений.

Таблица 1 – Влияние предпосевого гамма-облучения на содержание АБК (мкМ) в проростках (п), листьях (л), корешках (к) с 3-го по 7-й день проращивания

День	Локализация	Доза, Гр					
		Контроль	4 Гр	8 Гр	12 Гр	16 Гр	20 Гр
3	п	1,589±0,125	*0,441±0,053	*3,39±0,063	*1,032±0,021	*0,785±0,097	*1,114±0,010
	л	2,669±0,265	*0,888±0,051	2,745±0,043	*1,522±0,016	*1,168±0,066	*1,478±0,109
4	к	1,659±0,084	*0,327±0,059	*2,600±0,040	*1,012±0,021	*0,536±0,050	*0,567±0,024
	л	2,749±0,151	*1,738±0,112	*3,692±0,033	*2,143±0,227	*2,040±0,135	*2,059±0,029
5	к	1,708±0,042	*0,869±0,136	*2,635±0,034	*0,831±0,028	*0,681±0,068	*0,517±0,044
	л	3,130±0,095	*1,779±0,052	3,201±0,035	*2,032±0,060	*1,858±0,043	*2,545±0,333
6	к	1,327±0,013	*0,680±0,065	*2,248±0,042	0,963±0,0566	1,101±0,075	*0,662±0,030
	л	3,118±0,104	*4,597±0,251	3,165±0,034	*1,982±0,106	*2,013±0,031	*1,947±0,054
7	к	0,674±0,018	*3,964±0,249	*1,690±0,108	0,553±0,062	0,707±0,127	*0,59±0,012

Примечание: * - различия статистически значимы по сравнению с контрольными значениями $p < 0,05$

Исследование содержания зеатина выявило увеличение концентраций фитогормона в 3-х дневных проростках при всех дозах облучения семян (табл. 2). Максимальная концентрация, почти в 10 раз выше контрольного значения, была зафиксирована при 8 Гр. В корешках

так же наблюдается увеличение содержания зеатина. Наибольшие концентрации фитогормона были обнаружены при 4 Гр на 5 и 7 день.

Таблица 2 – Влияние предпосевного гамма-облучения на содержание зеатина (мкМ) в проростках (п), листьях (л), корешках (к) с 3-го по 7-й день прорастивания

День	Локали зация	Доза, Гр					
		Контроль	4 Гр	8 Гр	12 Гр	16 Гр	20 Гр
3	п	0,024±0,007	*0,197±0,009	*0,296±0,080	*0,128±0,005	*0,155±0,110	*0,110±0,014
	л		*0,083±0,023		*0,100±0,005		
4	к	0,051±0,005	*0,124±0,009	0,047±0,011	*0,007±0,001	*0,207±0,020	*0,120±0,013
	л		*0,097±0,026	*1,259±0,117	*0,436±0,154		
5	к	0,077±0,005	*0,491±0,038	*0,139±0,016	*0,138±0,008	*0,230±0,008	*0,188±0,008
	л	0,014±0,004	*0,121±0,043	*1,406±0,425	*0,206±0,068		*1,036±0,113
6	к	0,049±0,004	*0,080±0,006	*0,221±0,009	*0,280±0,006	*0,261±0,025	*0,253±0,018
	л	0,008±0,005	*0,391±0,130	*1,148±0,207	*0,489±0,054	*0,104±0,037	*0,476±0,194
7	к	0,052±0,003	*0,502±0,105	*0,100±0,003	*0,249±0,028	*0,229±0,023	*0,166±0,007

Примечание: * - различия статистически значимы по сравнению с контрольными значениями $p < 0,05$

Таблица 3 – Влияние предпосевного гамма-облучения на содержание ИУК (мкМ) в проростках (п), листьях (л), корешках (к) с 3-го по 7-й день прорастивания

День	Локали зация	Доза, Гр					
		Контроль	4 Гр	8 Гр	12 Гр	16 Гр	20 Гр
3	п	1,311±0,242	*4,964±0,308	*13,283±1,988	*7,958±0,478	*12,902±1,668	*10,133±0,409
	л	1,690±0,426		2,297±0,439	2,672±0,226	*4,608±0,135	1,822±0,396
4	к	15,046±2,139	21,644±0,998	18,015±1,269	*2,792±0,405	*34,613±1,975	15,542±0,333
	л	1,420±0,061	*7,162±2,005	1,742±0,173	1,689±0,045	*2,169±0,188	*3,332±0,152
5	к	15,170±0,108	*35,807±3,186	*30,800±0,419	*17,607±0,539	*18,093±0,364	15,557±0,611
	л	2,976±0,284	2,551±0,338	*6,308±0,291	6,314±1,855	*4,176±0,276	3,727±0,262
6	к	12,539±0,705	*15,837±0,762	*27,727±1,381	*24,238±0,761	*18,931±0,959	*19,706±0,391
	л	4,231±0,321	*11,486±1,095	5,384±0,932	*6,185±0,640	5,094±0,160	4,102±0,352
7	к	12,053±0,711	*34,360±3,942	*25,655±1,368	*22,121±0,786	*16,980±0,123	12,573±0,468

Примечание: * - различия статистически значимы по сравнению с контрольными значениями $p < 0,05$

Результаты анализа ауксинового ответа на облучение продемонстрировали увеличение количества ИУК в трехдневных проростках ячменя при всех использованных дозах, максимальные концентрации были обнаружены при 8 и 16 Гр (табл. 3). В то время как содержание ИМК уменьшалось при 16 Гр (табл. 4). В последующие дни прорастивания наблюдались отличия в проявлении эффекта в листьях и корешках. ИУК-ответ был более выражен в корешках, где наблюдалось увеличение содержания фитогормона при всех дозах облучения. В листьях повышенные концентрации фиксировались лишь при некоторых дозах в зависимости от дня прорастания. ИМК, наоборот, активнее накапливается в листьях в ответ на облучение при всех используемых дозах. В корешках была обнаружена различная динамика содержания фитогормона: на 4 день прорастания снижение концентраций

фиксировалось при 4 и 8 Гр, тогда как при больших дозах 16 и 20 Гр концентрации возрастали. На 5 и 6 дни прорастания увеличивались концентрации фитогормона при 8 и 20 Гр, к 7 дню происходило снижение до контрольного уровня. Так же уменьшение содержание ИМК наблюдалось в корешках при 12 и 16 Гр на 7 день и при 4 Гр во все дни прорастания.

Таблица 4 – Влияние предпосевого гамма-облучения на содержание ИМК (мкМ) в проростках (п), листьях (л), корешках (к) с 3-го по 7-й день проращивания

День	Локализация	Доза, Гр					
		Контроль	4 Гр	8 Гр	12 Гр	16 Гр	20 Гр
3	п	1,864±0,152	2,277±0,268	2,561±0,232	3,415±0,586	*1,334±0,123	2,094±0,042
	л	0,991±0,062	*2,427±0,095	*2,418±0,473	*2,044±0,232	*3,705±0,387	*2,855±0,139
4	к	6,656±0,180	*5,244±0,518	*1,814±0,315	7,936±0,584	*9,791±0,945	*9,818±0,957
	л	0,595±0,108	*4,497±0,416	*4,038±0,419	1,131±0,231	*7,188±0,539	*5,753±0,476
5	к	11,781±0,852	*8,981±0,225	*18,91±0,397	11,022±0,547	11,203±0,700	*16,345±1,008
	л	0,622±0,112	*4,214±0,8617	*6,675±1,521	*2,624±0,182	*4,707±0,104	*4,956±0,981
6	к	13,704±0,945	*9,086±0,563	*17,501±0,760	12,999±1,402	13,562±0,660	16,829±2,044
	л	0,7523±0,089	*7,493±0,893	*5,097±0,487	*4,467±0,298	*3,779±0,755	*2,294±0,307
7	к	13,3445±0,564	*8,725±1,336	13,103±1,362	*10,434±0,555	*8,448±0,229	13,201±0,554

Примечание: * - различия статистически значимы по сравнению с контрольными значениями $p < 0,05$

Исследование соотношения (ИУК+ИМК+зеатин)/АБК в 3-х дневных проростках показало, что оно увеличивается по отношению к контрольному значению при всех использованных дозах облучения (табл. 5).

Таблица 5 – Влияние предпосевого гамма-облучения на соотношение (ИУК+ИМК+зеатин)/АБК в проростках (п), листьях (л), корешках (к) с 3-го по 7-й день проращивания

День	Локализация	Доза, Гр					
		Контроль	4 Гр	8 Гр	12 Гр	16 Гр	20 Гр
3	п	2,013	16,887	4,762	11,150	18,340	11,094
	л	1,005	2,827	1,718	3,164	7,118	3,165
4	к	13,116	82,689	7,646	10,605	83,308	44,924
	л	0,733	6,764	1,906	1,518	4,587	4,412
5	к	15,821	52,134	18,919	34,625	43,345	62,090
	л	1,154	3,871	4,495	4,501	4,780	3,818
6	к	19,810	36,759	20,221	38,965	29,758	55,585
	л	1,601	4,214	3,675	5,620	4,460	3,530
7	к	37,750	10,996	22,996	59,337	36,315	44,003

Максимальные значения фиксировались при 4 и 16 Гр. В корешках на 4 день прорастания наибольшие значения соотношения были обнаружены при тех же дозах, что и в 3-х дневных проростках, однако, в последующие дни эксперимента оно снижалось, в случае с 4 Гр на 7 день его значение было ниже контрольного. Обратная динамика наблюдалась при 12 Гр: на 4 день прорастания отношение (ИУК+ИМК+зеатин)/АБК

было ниже контроля, но к 7 дню это значение стало максимальным по отношению к остальным дозам. На 5-й и 6-й дни прорастания наибольшие значения соотношения наблюдались при 20 Гр.

В листьях опытных проростков значения соотношения (ИУК+ИМК+зеатин)/АБК были больше по сравнению с контролем при всех дозах облучения во все дни проращивания. На 4 и 6 дни максимумы достигались при 16 Гр, на 5 – при 4 Гр, на 7 – при 12 Гр. Значения исследуемого соотношения при этих дозах превышали контроль в 7,1; 4,1; 9,2; 3,5 раз соответственно.

Полученные данные позволяют заключить, что гамма-облучение семян в стимулирующих дозах влияет на динамику содержания фитогормонов в проростках в процессе их прорастания, повышая накопление ростстимулирующих гормонов и уменьшая содержание ингибитора. Зависимость концентраций от дозы носит нелинейный характер. Сдвиги в фитогормональном балансе обуславливаются различной локализацией накопления гормонов. Очевидно, подобные изменения в фитогормональном статусе являются необходимым звеном в процессе формирования радиационного горемезиса.

УДК 575.174.015.3

ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ПОПУЛЯЦИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЗОНАХ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ SSR-МАРКЕРОВ

В.С. Бондаренко, Е.А. Тыщик, Ю.А. Рыбалко

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: bvs79@mail.ru

При помощи SSR-маркеров проведено генотипирование образцов ДНК сосны обыкновенной из 5 популяций в зонах хронического радиационного воздействия. Выявлена специфичность распределения показателей молекулярно-генетического разнообразия по популяциям и их взаимосвязь с условиями обитания.

В исследовании приняли участие 92 индивидуальных генотипа сосны обыкновенной из 5 популяций на территориях Брянской области и Белоруссии, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Генотипирование популяций сосны обыкновенной в условиях хронического радиационного воздействия проводилось при помощи трёх микросателлитных SSR-маркеров: SPAG 7.14, SPAC 12.5, SPAC 11.5.

Анализ генетического разнообразия в исследуемых выборках проводился на основе среднего числа фрагментов – μ , а также доли редких фрагментов – $h\mu$.

Таблица 1 – Показатели генетического разнообразия популяций сосны обыкновенной по микросателлитным маркерам

Популяция	D, мГр/год	SPAG 7.14		SPAC 12.5		SPAC 11.5	
		μ , у. е.	$h\mu$, у. е.	μ , у. е.	$h\mu$, у. е.	μ , у. е.	$h\mu$, у. е.
КН	0,23	13,243 (0,711)	0,117 (0,047)	10,241 (0,728)	0,147 (0,061)	8,252 (0,542)	0,083 (0,060)
О	18,0	14,202* (1,095)	0,211 (0,061)	8,213 (0,809)	0,253 (0,074)	4,694 (0,453)	0,061 (0,091)
СБ	19,4	5,011* (0,619)	0,284 (0,089)	6,111 (0,412)	0,127 (0,059)	2,627 (0,265)	0,124 (0,088)
ЗП	33,1	10,313* (0,931)	0,207 (0,072)	17,423 (1,060)	0,129 (0,053)	6,387 (0,642)	0,202 (0,080)
Н	66,6	13,787* (1,003)	0,189 (0,059)	9,851 (0,746)	0,179 (0,062)	2,914 (0,25)	0,029 (0,083)

Примечание: в скобках даны стандартные ошибки среднего числа фрагментов (μ) и доли редких фрагментов ($h\mu$) соответственно; * – отличие от контроля (КН) при уровне достоверности 0,95.

Популяции «Н» и «О» расположены на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (Гомельская обл.). Популяции КН, СБ и ЗП находятся на территории Брянской области. Минимальная доза поглощённой радиации наблюдается у популяции КН, максимальная у популяции «Н» (табл. 1).

При помощи маркера SPAG 7.14 выявлено 27 аллелей, из них 10 встречаются лишь в одной популяции (800, 650, 325, 105 - О; 120, 115 - КН; 710, 400, 100 - Н; 700 - ЗП), 3 аллели характерны для всех исследованных популяций (200, 195, 150). Уровень генетического разнообразия μ по данному маркеру не выявил зависимости от дозы поглощённой радиации: максимальное и минимальное значения μ выявлены у неконтрастных по уровню радиационной нагрузки популяций О и СБ (соответственно) (рис. 1). При этом, у популяции СБ, наряду с минимальным уровнем μ , выявлен максимальный показатель доли редких морф $h\mu$ (табл. 1).

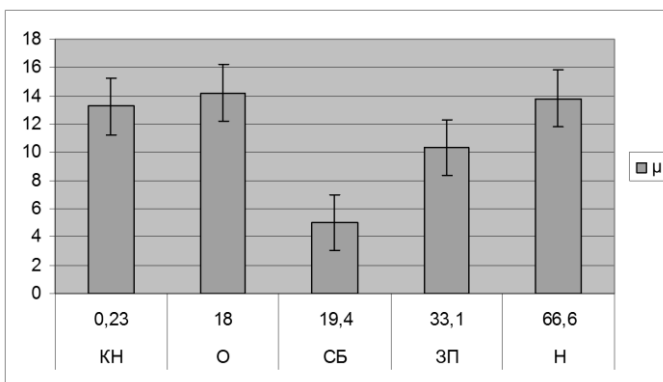


Рисунок 1 – Зависимость показателя генетического разнообразия (μ) от мощности поглощённой дозы на основе маркера SPAC 7.14

При помощи маркера SPAC 12.5 выявлено 27 аллелей, из них 11 встречаются лишь в одной популяции (900, 700, 400, 255, 250, 180, 80, 75 - O; 300 - H; 165 - SB; 115 - O), 3 аллели встречаются во всех исследованных популяциях (155, 150, 145). Уровень генетического разнообразия μ по данному маркеру не выявил строгой зависимости от дозы поглощённой радиации: максимальное и минимальное значения μ выявлены у соседних по уровню радиационной нагрузки популяций ЗП и СБ (соответственно) (рис. 2). Как и в предыдущем случае, у популяции СБ, наряду с минимальным уровнем μ , выявлен максимальный показатель доли редких морф $h\mu$ (табл. 1).

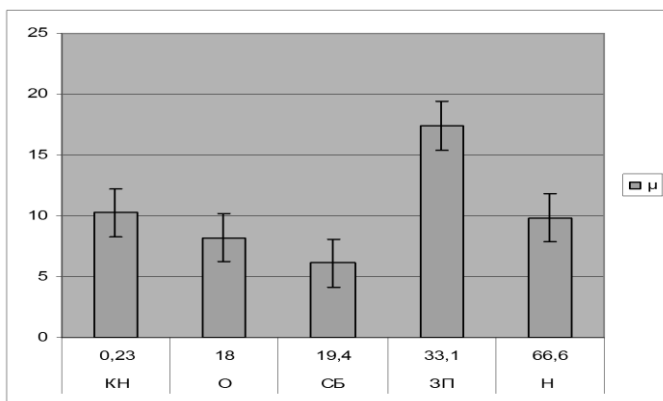


Рисунок 2 – Зависимость показателя генетического разнообразия (μ) от мощности поглощённой дозы на основе маркера SPAC 12.5

Для маркера SPAC 11.5 в исследованных популяциях выявлено 14 аллелей, 8 из них встречаются лишь в одной популяции (600 – H; 500, 225, 100 – ЗП; 245, 175, 85 – KH; 110 – O), 1 аллель встречается во всех

исследованных популяциях (90). Уровень генетического разнообразия μ по данному маркеру выявил определённую зависимость от дозы поглощённой радиации (Рис. 2). Причём значение μ , за исключением ЗП снижается с ростом радиационной нагрузки на популяции. В отличие от предыдущих маркеров, в случае со SPAC 11.5, максимальный показатель доли редких фрагментов $h\mu$ характерен для популяции с одним из самых высоких значений μ - ЗП. Несмотря на отсутствие в данном случае обратной зависимости уровня $h\mu$ от уровня μ , в популяции СБ показатель доли редких фрагментов имеет высокое значение (табл. 1).

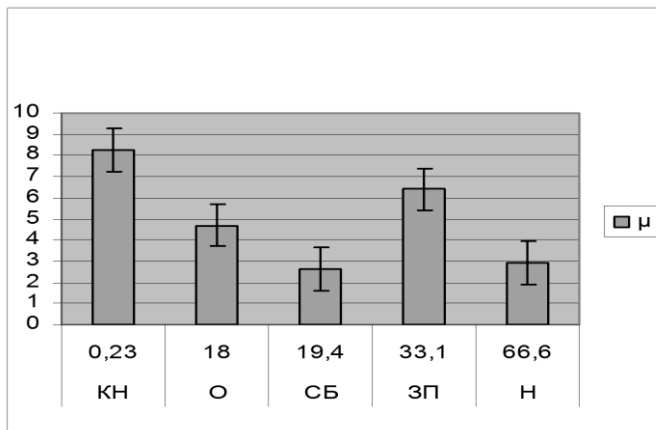


Рисунок 3 – Зависимость показателя генетического разнообразия (μ) от мощности поглощённой дозы на основе маркера SPAC 11.5

УДК 577.346; 581.5

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ХРОНИЧЕСКОЕ РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

П.Ю. Волкова, Е.А. Казакова, С.А. Гераськин

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: volkova.obninsk@gmail.com

Даже по истечении 30 лет после Чернобыльской аварии в хронически облучаемых популяциях сосны обыкновенной существуют значимые биохимические изменения. Хроническое радиационное воздействие в дозах свыше 50 мГр/год (на 2015 г.) обуславливает окислительный стресс в изучаемых популяциях и приводит к существенному повышению концентраций низкомолекулярных антиоксидантов.

Even 30 years after the Chernobyl accident there are significant biochemical changes in the chronically irradiated Scots pine populations. Chronic radiation exposure at dose rates that exceed 50 mGy/year (data for 2015) leads to oxidative stress and an increase of low-molecular antioxidants concentrations in the studied populations.

Из-за своего прикрепленного образа жизни растения часто подвергаются различным биотическим и абиотическим стрессам. Стрессовые воздействия могут нарушать течение метаболических процессов, влиять на рост и развитие растений, обуславливать снижение продуктивности и репродуктивной способности в популяциях (Boyer, 1982; Umezawa et al, 2006; Santos-Del-Blanco et al, 2013). Знания о биохимических и молекулярных механизмах формирования устойчивости растений к различным стрессовым воздействиям являются необходимыми для разработки эффективной стратегии защиты сельскохозяйственных культур и дикорастущих популяций растений, обитающих в условиях хронического антропогенного воздействия. Изменения окружающей среды вынуждают растения регулировать их метаболизм. Исследования ответа растений на стресс обеспечивают важную информацию о механизмах, потенциально вовлечённых в обеспечение выживания растений в экстремальных условиях окружающей среды (Madlung, Comai, 2004).

Исследование влияния радиационного фактора на процессы адаптации в природных популяциях растений существенно облегчается тем, что механизмы биологического действия радиации хорошо известны, а радиационное воздействие легко поддается количественному измерению. В условиях хронического радиационного воздействия растения постоянно испытывают оксидативный стресс. Даже при нормальных условиях антиоксидантная система не гарантирует абсолютной защиты клеток от активных форм кислорода (АФК), тогда как стрессовые условия индуцируют серьезный дисбаланс между скоростями формирования и элиминации АФК. Оксидативный стресс возникает в результате сверхпродукции АФК или при снижении эффективности работы антиоксидантных систем, либо при соблюдении обоих условий (Ahmad et al, 2014).

В течение первых месяцев после Чернобыльской аварии выраженные биологические эффекты были обусловлены, главным образом, прямым действием радиации (Geras'kin et al., 2008). При этом биологические последствия хронического радиационного воздействия, которые наблюдали в отдаленный период после аварии (Geras'kin et al, 2011; Geras'kin, Volkova, 2014), вероятнее всего, связаны с хроническим оксидативным стрессом, под воздействием которого находятся исследованные популяции растений.

Материалы и методы

В данной работе проведено исследование семи популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих на радиоактивно загрязнённых территориях, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС. В связи с широким распространением и высокой радиочувствительностью, сосна обыкновенная включена в список референтных видов радиационной защиты, предложенный МКРЗ (ICRP, 2007). Два контрольных и 4 экспериментальных участка находятся в Брянской области на территории России, ещё три экспериментальных участка – в Гомельской области на территории Республики Беларусь. Оценка мощностей доз на экспериментальных участках проведена в соответствии с (Спиридонов и др., 2008; Geras'kin at al., 2011), данные приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Годовая мощность поглощённой дозы в кронах экспериментальных деревьев (2015 год)

Участок	D_{γ} , мГр/год	D_{β} , мГр/год	D_{sum} , мГр/год
К	0.02	0.004	0.02
Кн	0.22	0.006	0.23
ВИУА	9.9	0.09	10.0
СБ	19.2	0.17	19.4
ЗП	32.3	0.80	33.1
ЗК	38.0	0.57	38.6
Кож	3.8	14.2	18.0
Мас	37.4	13.5	50.9
Кул	62.6	4.0	66.6

Для проведения анализа концентраций низкомолекулярных антиоксидантов (НМАО) и малонового диальдегида (МДА) на каждом участке были отобраны образцы хвои с 15-18 деревьев. Для выделения НМАО (аскорбиновая кислота, окисленный и восстановленный глутатионы) и МДА 5 хвоинок с каждого дерева гомогенизировали в жидком азоте. Осадок ресуспендировали в 1 мл холодного экстракта (5% фосфорная кислота, 1 мМ ЭДТА, 0.1% муравьиная кислота). Гомогенаты центрифугировали при 14.500 rpm и 4 °С. Экстракцию повторяли дважды, супернатанты объединяли. Комбинированный супернатант фильтровали через 0.2 мкм фильтр и немедленно анализировали. Анализ концентраций целевых соединений выполняли с использованием ультравысокоэффективной жидкостной хроматографической системы Shimadzu LC-30, используя обращённо-фазовую колонку Shimpack XR-ODS II (2.2 μ m, 3.0x100 mm, Japan).

Результаты и обсуждение

Результаты оценки концентраций НМАО и МДА приведены в Таблице 2.

Таблица 2 – Концентрации антиоксидантов и МДА в хвое экспериментальных сосен

Участок	Концентрации, мМ				
	Глутатион восстановленный (GSH)	Глутатион окисленный (GSSG)	Аскорбиновая кислота	GSH/GSSG	МДА
К	0.039 ± 0.011	0.018 ± 0.003	0.131 ± 0.025	2.299 ± 0.662	1.286 ± 0.328
Кн	0.032 ± 0.006	0.028 ± 0.004	0.133 ± 0.013	1.357 ± 0.225	1.232 ± 0.229
ВИУА	0.050 ± 0.015	0.024 ± 0.004	0.141 ± 0.012	1.809 ± 0.455	2.091 ± 0.438
СБ	0.097*▲ ± 0.035	0.025 ± 0.005	0.151 ± 0.014	4.017▲▲ ± 0.748	2.143 ± 0.531
ЗП	0.035 ± 0.010	0.023 ± 0.002	0.125 ± 0.016	1.604 ± 0.682	1.301 ± 0.456
ЗК	0.050▲ ± 0.006	0.030* ± 0.004	0.145 ± 0.016	1.750 ± 0.181	1.154 ± 0.197
Кож	0.023 ± 0.004	0.022 ± 0.004	0.086▲▲ ± 0.008	1.003 ± 0.138	1.044 ± 0.132
Мас	0.061▲ ± 0.010	0.015▲ ± 0.002	0.205 ± 0.061	4.285▲▲ ± 0.900	2.000 ± 0.289
Кул	0.079*▲ ± 0.015	0.015▲ ± 0.002	0.107 ± 0.010	6.095*▲▲ ± 1.491	3.550***▲▲ ± 0.321

Примечание: Различия значимы по сравнению с контролями: * - участок К, $p < 5\%$; *** - участок К, $p < 0.1\%$; ▲ - участок Кн, $p < 5\%$; ▲▲ - участок Кн, $p < 1\%$; ▲▲▲ - участок Кн, $p < 0.1\%$

Концентрации низкомолекулярных антиоксидантов не зависят от уровня радиационного воздействия ($r^2=0.20$, $p > 5\%$ для глутатиона восстановленного (GSH), $r^2=0.20$, $p > 5\%$ для глутатиона окисленного (GSSG), $r^2=0.02$, $p > 5\%$ для аскорбиновой кислоты). При этом выявлено увеличение концентраций глутатиона восстановленного на наиболее загрязнённых участках, тогда как концентрации глутатиона окисленного уменьшались. Анализ соотношения GSH/GSSG показал, что оно существенно выше для более загрязнённых участков и демонстрирует значимую корреляцию ($r^2=0.446$, $p < 5\%$) с уровнем радиационного воздействия. При этом изучение концентраций МДА, являющегося продуктом перекисного окисления липидов, продемонстрировало, что экспериментальные популяции обитают в условиях окислительного стресса ($r^2=0.397$, $p < 5\%$), что особенно очевидно в случае наиболее загрязнённого участка Кулажин (Таблица 2).

Таким образом, для наиболее загрязнённых экспериментальных популяций с повышенным вкладом β -компонента в поглощённую дозу, составляющую на 2015 год от 51 до 66 мГр/год, мы обнаружили изменения антиоксидантного статуса и повышенный уровень

оксидативного стресса по сравнению с контрольными популяциями. Следует заключить, что даже 30 лет спустя после Чернобыльские аварии растительные популяции остаются прекрасным объектом для исследования долговременных биологических последствий хронического радиационного воздействия.

Список литературы

1. Спиридонов С.И., Фесенко С.В., Гераськин С.А. и др. Оценка доз облучения древесных растений в отдалённый период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2008. Т.48. № 4. С.432-438
2. Ahmad P. (ed) (2014) Oxidative damage to plants. Academic Press, Elsevier USA
- Boyer J.S. (1982) Plant productivity and environment. Science 218: 443-448
3. Geras'kin S.A., Fesenko S.V., Alexakhin R.M. (2008) Effects of non-human species irradiation after the Chernobyl NPP accident. Environ Int 34: 880-897
4. Geras'kin S., Oudalova A., Dikareva N., Spiridonov S., Hinton T., Chernonog E., Garnier-Laplace J. (2011) Effects of radioactive contamination on Scots pines in the remote period after the Chernobyl accident. Ecotoxicology 20: 1195-1208
5. Geras'kin S.A., Volkova P.Yu. (2014) Genetic diversity in Scots pine populations along a radiation exposure gradient. Sci Total Environ 496: 317-327
6. ICRP (2007) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann ICRP 37
7. Madlung A., Comai L. (2004) The effect of stress on genome regulation and structure. Ann Bot 94: 481-495
8. Santos-Del-Blanco L., Bonser S.P., Valladares F., Chambel M.R., Climent J. (2013) Plasticity in reproduction and growth among 52 range-wide populations of a Mediterranean conifer: adaptive responses to environmental stress. J Evol Biol 26: 1912-1924
9. Umezawa T., Fujita M., Fujita Y., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K. (2006) Engineering drought tolerance in plants: discovering and tailoring genes to unlock the future. Curr Opin Biotechnol 17: 113-122

УДК [57+61]:539.1.04:579

ВЛИЯНИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ НА РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДРОЖЖЕВЫХ КЛЕТОК

О.А. Воробей, Е.С. Евстратова

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал
ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, Обнинск, Россия
e-mail: olga.vorobey.94@mail.ru

Изучено влияние одновременного комбинированного действия ионизирующего излучения с лекарственными средствами, используемыми в клинике, на радиочувствительность и восстановление дрожжевых клеток. Показано, что ингибирование восстановления происходит в

основном за счет формирования большей доли необратимых повреждений.

The effect of simultaneous combined action of ionizing radiation and clinical drugs on yeast cell radiosensitivity and recovery have been studied. It was demonstrated that cell recovery is mainly inhibited due to the formation of a greater proportion of irreversible damage.

Для преодоления устойчивости опухолевых клеток к действию ионизирующей радиации часто используют лекарственные средства, повышающие радиочувствительность опухолевых клеток в большей степени, чем нормальных тканей [1, 2]. Механизм действия химических радиосенсибилизаторов связывают с ингибированием процессов пострадиационного восстановления. Малоисследованным аспектом этого направления исследований является сравнительное изучение параметров восстановления клеток после действия одного ионизирующего излучения или в комбинации с лекарственными средствами, используемыми в клинике. Такое сравнение представляется актуальным как с теоретической, так и с практической точки зрения. Поэтому целью данной работы было изучение влияния цисплатина, фторуороцила, 2,4-динитрофенола, азида натрия и цианида калия на параметры количественно описывающие процесс пострадиационного восстановления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В опытах использованы диплоидные дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae*. В пробирки с дрожжевыми клетками добавляли лекарственные средства с различной концентрацией. После облучения ионизирующим излучением (установка «Исследователь», ^{60}Co , 20 Гр/мин). Основным тестом, используемым в данной работе, является выживаемость, т.е. способность клеток образовывать на питательной среде видимые глазом макроколонии. Для оценки способности клеток к восстановлению облученные суспензии выдерживали в непитательной среде при 30°C. Для описания кинетики пострадиационного восстановления была использовано [3, 4] следующее уравнение

$$D_{\text{эф}}(t) = D_1 \left[K + (1 - K)e^{-\beta t} \right], \quad (1)$$

где t – продолжительность восстановления, D_1 – первоначальная доза, в которой были облучены клетки, $D_{\text{эф}}(t)$ – эффективная доза, e – основание натуральных логарифмов, а β – константа восстановления, характеризующая вероятность восстановления от радиационного повреждения в единицу времени. K – необратимый компонент радиационного поражения, определяемый уравнением

$$K = D_{\text{эф}}(\infty) / D_1. \quad (2)$$

где $D_{эф}(\infty)$ – эффективная доза, соответствующая плато на кривой восстановления. Это уравнение показывает, что для количественного описания процесса пострадиационного восстановления необходимо знание двух параметров – K и β . Зная параметр K , константа восстановления оценивается на основании уравнения (1). Более детально эта процедура описана ранее [5].

Введя обозначение

$$A(t) = \frac{D_{эф}(t) - D_{эф}(\infty)}{D_1 - D_{эф}(\infty)}, \quad (3)$$

на основании уравнений (1) и (3) получаем

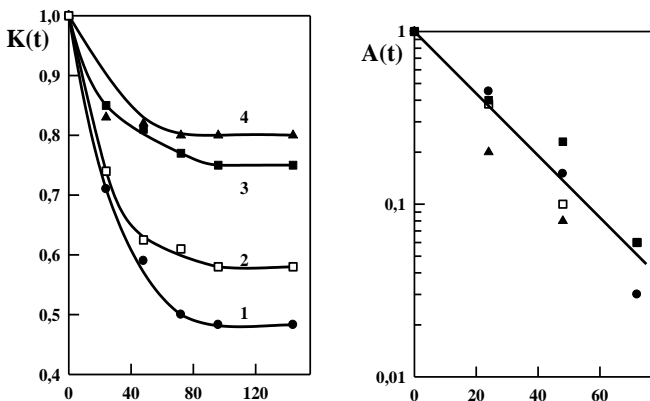
$$\beta = -\frac{\ln A(t)}{t} \quad (4)$$

Таким образом, экспериментальные кривые выживаемости, полученные сразу после воздействия одним ионизирующим излучением или в комбинации с химическими агентами, а также кривые восстановления, полученные экспериментально после различных режимов воздействия, позволяют нам оценить основные параметры пострадиационного восстановления – необратимый компонент радиационного поражения (уравнение 2) и вероятность восстановления клеток в единицу времени (уравнение 4).

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 представлены зависимости функции необратимого компонента от продолжительности пострадиационного восстановления в непитательной среде дрожжевых клеток $K(t)$, облученных одним ионизирующим излучением, а также в комбинации с некоторыми лекарственными средствами. Эти данные позволили нам рассчитать необратимый компонент радиационного поражения, который равнялся 0,48 после облучения одним ионизирующим излучением и возрастал до 0,58, 0,75 и 0,8 в случае комбинированного воздействия ионизирующего излучения с DNP, NaN₃ и KCN, соответственно. Это означает, что при комбинированном ионизирующего излучения и изученных препаратов формировалась большая доля необратимых повреждений, от которых клетки не могли восстанавливаться.

На этом же рисунке представлены зависимость функции $A(t)$ от продолжительности восстановления после комбинированного действия ионизирующего излучения с вышеуказанными препаратами. Эти данные позволили нам по уравнению (4) рассчитать константы восстановления, которые равнялись $0,038 \pm 0,002$ и не сильно отличались от констант восстановления при действии этих видов излучения без радиосенсибилизаторов.



Продолжительность восстановления, ч Продолжительность восстановления, ч
 Рисунок 1 – Зависимость доли невосстановленных $K(t) = D_{эф}(t) / D_1$ и

восстанавливаемых $A(t) = \frac{D_{эф}(t) - D_{эф}(\infty)}{D_1 - D_{эф}(\infty)}$ радиационных повреждений от

продолжительности пострадиационного восстановления диплоидных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* в непитательной среде при после 30 °С при добавлении в нее различных химических препаратов: *темные кружки* – облучение без препарата, *светлые квадраты* – облучение в присутствии DNP (2,4-Динитрофенол), *темные квадраты* – облучение в присутствии NaN₃ (азид натрия), *темные треугольники* – облучение в присутствии KCN (цианид калия).

При анализе процессов восстановления дрожжевых клеток после комбинированного действия ионизирующего излучения и цисплатина, наиболее эффективного радиосенсибилизатора, применяемого в клинике, было показано, что цисплатин с увеличением концентраций от 0,002 мг/мл до 0,02 и 0,1 мг/мл прогрессивно повышал радиочувствительность клеток за счет подавления способности клеток к пострадиационному восстановлению, вплоть до его полного подавления при концентрации 0,1 мг/мл. На рис. 2 представлена зависимость доли невосстановленных (А) и восстанавливаемых (Б) радиационных повреждений диплоидных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* дикого типа (штамм XS800) от продолжительности восстановления клеток в непитательной среде. Из этого рисунка следует, что необратимый компонент радиационного поражения K возрастает с 0,26 при действии одного ионизирующего излучения до 0,5; 0,68 и 0,83 после облучения ионизирующим излучением и восстановления клеток в присутствии цисплатина, в то время как константа восстановления $\beta = 0,05 \text{ ч}^{-1}$ не зависела от условий облучения и восстановления.

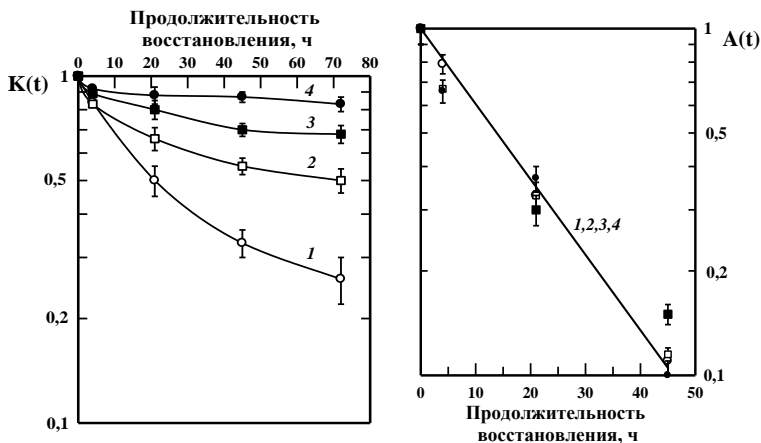


Рисунок 2 – Зависимость доли невосстановленных $K(t)$ и восстанавливаемых $A(t)$ радиационных повреждений диплоидных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* дикого типа от продолжительности пострадиационного восстановления клеток в непитательной среде, кривые: 1 – без цисплатина, 2 – 0,002 мг/мл, 3 – 0,02, 4 – 0,1 мг/мл.

Эти данные означают, что цисплатин ингибировал процесс восстановления благодаря формированию большей доли необратимых радиационных повреждений, а не из-за нарушения способности клеток к восстановлению от потенциально летальных повреждений. В целом, полученные новые данные будут способствовать пониманию механизмов одновременного действия ионизирующего излучения и лекарственных средств, используемых для повышения радиочувствительности клеток.

Список литературы

1. Ярмоненко С.П., Конопляников А.Г., Вайнсон А.А. Клиническая радиобиология. М.: Медицина, 1992. 320 с.
2. Цыб А.Ф., Мардынский Ю.С. (Ред.) Терапевтическая радиология. М.: Медицинская книга, 2010. 552 с.
3. Петин В.Г., Жураковская Г.П., Комарова Л.Н. Радиобиологические основы синергических взаимодействий в биосфере. М.: ГЕОС, 2012. 219 с.
4. Petin V.G., Kim J.K. Synergistic Interaction and Cell Responses to Environmental Factors. New York: Nova Science Publisher, 2014. 337 p.
5. Воробей О.А. Влияние лекарственных средств на восстановление клеток после действия ионизирующего излучения или УФ света. В сборнике научных работ Лауреатов областных премий и стипендий. Калуга 2015. Вып. 11. С. 142–153.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ИЗОЗИМОВ, МАРКИРУЮЩИХ УСТОЙЧИВОСТЬ ЯЧМЕНЯ К СВИНЦУ, ФАКТОРНЫМ АНАЛИЗОМ

А.В. Дикарев, В.Г. Дикарев, Н.С. Дикарева

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: ar.djuna@yandex.ru

С использованием метода факторного анализа проанализирован набор редких аллелей, связанных с устойчивостью к техногенному стрессу. Доказана связь факультативных изозимов 3 ферментных систем ярового ячменя с его реакциями на действие свинца на морфологическом уровне. Построена модель контрастных по устойчивости сортов ячменя.

The set of rare alleles, which are connected with technogenic stress tolerance, was studied by factor analysis method. Existence of the causal relationships among 3 ferment systems of barley facultative isozymes with its reaction to lead was proved. The model of lead contrasting barley variants was constructed.

Белки, и в частности изозимы являются полиморфными, т.е. один и тот же фермент может существовать в виде разнообразных изомеров, отличающихся друг от друга не только конформациями, но и физико-химическими свойствами. Распределение различных изоформ не случайно, а имеет связь с внутривидовыми, внутри и межпопуляционными различиями биологических видов. Это обстоятельство делает изоферменты и подобные им соединения пригодными для анализа генетической структуры биологических видов и решения иных задач, например, исследования устойчивости к неблагоприятным условиям среды.

В данной статье предпринимается попытка использовать для выявления маркеров контрастных реакций избранных сортов ячменя факторный анализ. Целью явилось разделение сортов по уровням их устойчивости с использованием только генетических характеристик, исключая при этом какую-либо дополнительную информацию об ответе проростков ячменя на действие тяжелого металла (ТМ) на морфологическом уровне. Успех решения поставленной задачи означал бы, что поведение сортов растений при действии негативных факторов среды не случайно, а предопределено их генетическими характеристиками.

Целью настоящего исследования явилось исследование тонкой структурной организации генетических систем, контролирующих

развитие чувствительности или устойчивости к действию ТМ избранных сортов ярового двуриядного ячменя разного эколого-географического происхождения и их родственных связей на основе данных изоферментного анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа частот встречаемости компонентов электрофоретических спектров применялся метод факторного анализа. Его применяли для классификации сортов на устойчивые и чувствительные на основе частот встречаемости редких изоимов, контролирующих развитие контрастных реакций проростков ячменя на действие свинца, а также для подтверждения связи морфологического и биохимического полиморфизма. Количество необходимых для выделения факторов определялось с помощью критерия «каменистой осыпи». Извлечение факторов выполнялось с помощью метода наименьших остатков. Для упрощения интерпретации объяснимой дисперсии полученная факторная структура подвергалась вращению по методу варимакс. Все расчеты в настоящем исследовании были выполнены на PC на операционной системе MS Windows XP с использованием приложений MS Excel 2003 и STATISTICA 10.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Здесь представлены результаты классификации выделенных устойчивых и чувствительных сортов с помощью факторного анализа. Факторный анализ проводили на основе матрицы наличия в спектрах каждого из рассматриваемых сортов всех факультативных изоферментов, обнаруживавшихся при проявлении гелей не всегда (табл. 1).

Таблица 1 – Матрица наличия факультативных аллелей в электрофоретических спектрах контрастных по устойчивости к свинцу сортов ячменя

Группа	Сорт	Аллели				
		SODI	SODIII+IV	SODV	PERII	GDHII
Устойчивые	Вятский	0,630	0,548	0,036	0,354	0,281
	Тео	0,543	0,657	0	0,083	0,375
	Заря	0,560	0,460	0	0,075	0,200
	Donum	0,145	0,277	0,096	0,167	0,350
	Симфония	0,500	0,408	0,105	0,100	0,031
	Pongo	0,176	0,353	0	0	0
Чувствительные	Медикум 336	0,325	0,554	0,084	0,042	0,150
	Мыть	0,422	0,833	0,167	0,604	0,156
	Jelen	0,605	0,829	0	0,020	0,175
	NSGL 1	0,469	0,735	0,265	0,047	0,054
	Заветный	0,400	0,800	0,093	0,425	0,050
	Рубеж	0,220	0,441	0	0,025	0

Облигатные изозимы (обязательно выявляемые во всех случаях) были изъяты из рассмотрения. В данную матрицу были внесены частоты в долях единицы (количество случаев наличия изозима, отнесенное к числу проб по этому ферменту для данного сорта).

На основе сформированной матрицы можно провести классификацию контрастных по устойчивости сортов ячменя, при которой производится группировка объектов по их близости в пространстве признаков.

Оценку оптимального количества факторов по изменению нормированного показателя объяснимой дисперсии проводили на основе критерия «каменистой осыпи». Из рис. 1 видно, что максимальное замедление убывания собственных значений наблюдается при выделении 2-х факторных и 4-х факторных решений. Соответственно, для дальнейшего анализа использована 2-х факторная и 4-х факторная модели. С помощью классифицирования сортов на основе частот изозимов, можно выявить генетические связи рассматриваемых сортов ячменя по иерархическому комплексу маркированных групп сцепления (геномы, кластеры, локусы).

Применение 2-х факторной модели не позволяет уверенно разделить сорта: почти все они, кроме *Donut*, попадают в 1-й фактор, имея с ним высокую корреляцию. По этой причине данная модель здесь не рассматривается.

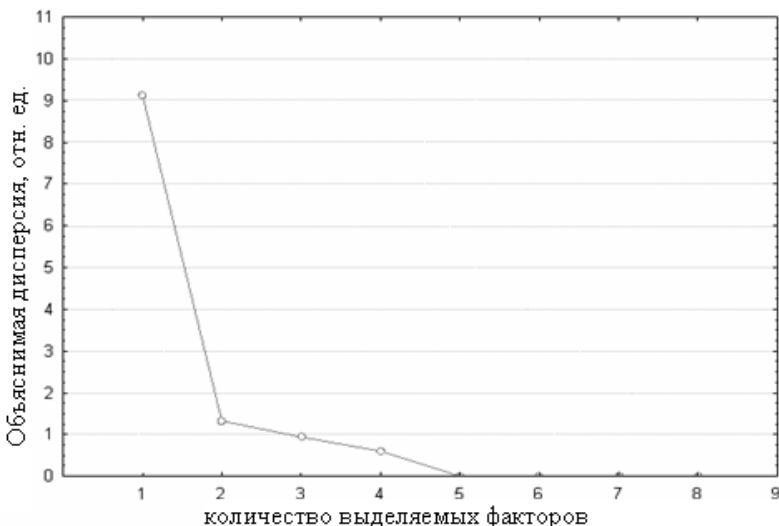


Рисунок 1 – Диаграмма собственных значений нормированного показателя объяснимой дисперсии

Использование 4-х факторной модели позволило получить более интересные результаты. Факторные нагрузки в рамках этой модели

представлены в табл. 2. В 1-й фактор попадают 5 сортов (один устойчивый Pongo и 4 чувствительных: Медикум 336, Jelen, NSGL1, Рубеж), во 2-й – (один устойчивый Donum), в 3-й – (два чувствительных: Мыть и Заветный) и в 4-й – (четыре устойчивых: Вятский, Тео, Заря, Симфония) (рис. 2). Таким образом, устойчивые сорта объединяются в 2 кластера, характеризующиеся сходной структурной организацией генома: сорта Вятский, Тео, Заря, Симфония в одном и сорт Donum в другом. Чувствительные сорта тоже объединились в 2 кластера: Медикум 336, Jelen, NSGL1, Рубеж в один, а Мыть и Заветный - в другой. При этом в 1-й из них попал устойчивый сорт Pongo. Уровень факторной нагрузки для него близок к таковым у попавших в кластер чувствительных сортов. Вероятно, устойчивость сорта Pongo к действию свинца определяется работой других энзимных систем, рассмотрение которых выходит за рамки настоящего исследования. Следует также отметить сорт Donum, который отделился от всех остальных сортов даже при использовании 2-х факторной модели. Видимо в генетическом отношении он весьма далек от всех остальных. Таким образом, нам удалось, основываясь исключительно на данных о генетическом полиморфизме, достаточно правильно классифицировать 12 контрастных по устойчивости к действию свинца сортов ячменя. Полученный результат подтверждает справедливость нашего предположения о генотипической природе внутривидового полиморфизма по устойчивости к свинцу и указывает на генетическое сходство близких по устойчивости сортов ячменя.

Таблица 2 – Результаты классификации 12 сортов ярового ячменя, контрастных по устойчивости к свинцу на основе данных изоферментного анализа

Группа	Название сорта	Факторные нагрузки			
		Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
Устойчивые	Вятский	0,1910	0,1154	0,4531	0,8631*
	Тео	0,5426	0,4413	0,2118	0,6826*
	Заря	0,4832	0,1258	0,1779	0,8479*
	Donum	0,0328	0,9942*	0,0323	0,0972
	Симфония	0,5811	-0,2560	0,2891	0,7164*
	Pongo	0,7487*	0,1313	0,5114	0,4010
Чувствительные	Медикум 336	0,7179*	0,1653	0,1725	0,6539
	Мыть	0,2333	0,0389	0,9493*	0,2070
	Jelen	0,6909*	0,1986	0,3597	0,5949
	NSGL1	0,8805*	-0,0799	0,3578	0,3007
	Заветный	0,4097	0,0184	0,8651*	0,2887
	Рубеж	0,7186*	0,1225	0,5549	0,4008

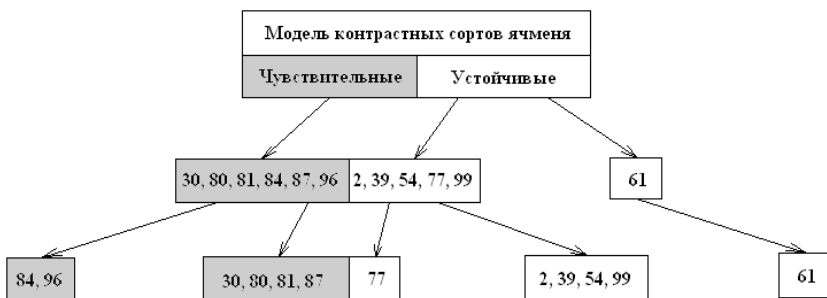


Рисунок 2 – Иерархия факторных решений, полученная при классификации 12 контрастных по устойчивости к свинцу сортов ярового двурядного ячменя (модель контрастных сортов) с использованием информации о тонкой структурной организации генома, маркированного изозимными вариантами 3-х ферментов

Анализ внутривидового полиморфизма по устойчивости ярового ячменя к действию свинца подтверждает, что этот признак имеет высокую изменчивость и на его основе можно выделить группы контрастных по устойчивости сортов. Полученные результаты свидетельствуют, что, используя принципы генетического маркирования, возможно доказать связь изоферментных локусов с полигенными системами, контролирующими устойчивость к негативным факторам среды. В перспективе это можно использовать для выявления систем генетического контроля и последующей хромосомной локализации структурных генов. Полученные нами результаты подтверждают высказанную гипотезу о том, что изучение биохимического полиморфизма контрастных по устойчивости сортов ячменя позволяет произвести генетическое маркирование полигенных систем растительного организма, контролирующих его реакции на техногенный стресс. Применение факторного анализа частот встречаемости факультативных изозимов открывает возможность выявлять контрастные сорта без использования данных по морфологическим характеристикам проростков и без реального наличия поллютанта в среде.

Показано, что существует принципиальная возможность получить удовлетворительное отображение тонкой структурной организации генетических систем, например, изоферментных, на фенотипические полигенные признаки растений. Достоинство факторного анализа в данном случае – это то, что он позволяет в сочетании с методами биохимической генетики прогнозировать уровни устойчивости растительных организмов к ТМ (и, возможно, другим загрязнителям среды) на основе сопряженных генетических систем, определяющих полиморфизм белков.

ВЫВОДЫ

С помощью метода факторного анализа рассмотрены частоты встречаемости редких изозимов у 12 контрастных по устойчивости к свинцу сортов ячменя. Эти сорта были отобраны ранее на основе исследования реакции растений на действие ТМ на морфологическом уровне. Было установлено, что контрастные сорта могут быть выявлены только на основе частот встречаемости редких изозимов 3 ферментов, связанных с устойчивостью к техногенному стрессу. Доказана предопределенность развития устойчивости растения к действию свинца биохимическими, а в конечном счете генетическими особенностями организма. Это позволяет прогнозировать устойчивость сортов сельскохозяйственных растений, пользуясь относительно малотрудоемкими методами, и без реального наличия поллютанта в среде. Исследованы родственные связи в группах контрастных по устойчивости сортов и показана генетическая близость вариантов со сходными уровнями устойчивости к свинцу.

УДК575.11: 582.282.23

ВЛИЯНИЕ ПЛОИДНОСТИ КЛЕТОК НА ПРОЯВЛЕНИЕ ОТДАЛЕННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Е.С. Евстратова, М.Ю. Подобед, А.Н. Филимонова

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал
ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, Обнинск, Россия
e-mail: ekevs7240@mail.ru

Отдаленные наследуемые радиационные повреждения проявляются задержанным формированием клеток, выжившими после облучения. Изучена задержка формирования колоний дрожжевыми клетками разного генотипа. Показано, что этот эффект определяется ploidy клеток, а не формой кривой доза-эффект, как это традиционно предполагалось.

Long-term radiation damages are manifested by the delayed formation of colonies produced by cells surviving after irradiation. The delayed formation of colonies by yeast cells of different genotypes has been studied. It was shown that this effect is determined by cell ploidy but not the form of the dose-effect curve, as it is traditionally assumed.

К проявлениям генетической нестабильности наряду с дестабилизацией хромосом, соматическими мутациями, изменением чувствительности к действию ионизирующих излучений и других вредных факторов относят отсроченную репродуктивную гибель клеток [1,2]. Индуцированная ионизирующим излучением геномная

нестабильность может наблюдаться в отдаленных потомках клеток, выживших после облучения [3,4]. Следует отметить, что генетическая нестабильность клеток является предметом интенсивных современных исследований с точки зрения участия этого эффекта в формировании онкологических заболеваний, которые являются глобальной проблемой человечества. Известно, что генетическая нестабильность, проявляющаяся в позднем формировании макроколоний выжившими после облучения клетками, в значительно большей степени выражена для диплоидных клеток, характеризующихся сигмоидной формой кривой выживаемости, чем для гаплоидных клеток с экспоненциальной формой кривой выживания [5]. Однако, не исключено, что эффект позднего формирования колоний связан не с формой кривой выживания, а полностью детерминируется пloidностью клеток. Для проверки этого предположения в данной работе приводятся новые результаты по эффекту позднего появления колоний радиочувствительными гаплоидными и диплоидными дрожжевыми клетками, неспособными к пострадиационному восстановлению.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В данной работе использованы гаплоидные и диплоидные штаммы *Saccharomyces cerevisiae* дикого типа (S288C и XS800) и наиболее чувствительные к действию ионизирующего излучения гаплоидные и диплоидные мутанты, гомозиготные по локусам *rad51*: штаммы XS774-4d (*rad51*), XS806 (*rad51/rad51*). Для облучения в стационарной стадии роста диплоидные дрожжи выращивали в течение 3–5 сут, а гаплоидные – в течение 15–20 сут на твердой питательной среде при 30 °С. Продолжительность предрадиационного культивирования определяли по времени прекращения почкования клеток. Суспензии для облучения готовили на стерильной дистиллированной воде. В качестве ионизирующего излучения использовали γ -кванты ^{60}Co (0,2 кэВ/мкм, 20 Гр/мин), установка «Исследователь» (Радон, Россия). Подсчёт количества макроколоний в чашках Петри производили спустя 22 ч и соответственно каждые 2–6 ч до тех пор, пока не прекращалось появление колоний клетками облученной популяции. Последний подсчёт позднего появления колоний производили по прошествии 4 суток. Выживаемость клеток определяли сразу после облучения путем подсчета колоний, образованных после 5-суточной инкубации на твердой питательной среде при 30 °С. Каждый опыт повторяли 3–5 раз.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 представлена зависимость позднего формирования колоний, образованных выжившими после облучения гаплоидными (кривая 1) и диплоидными (кривая 2) дрожжевыми клетками дикого типа, от дозы облучения ионизирующим излучением. Видно, что с возрастанием дозы облучения доля выживших диплоидных дрожжевых

клеток, формирующих колонии позже контроля, увеличивается и практически достигает 100%.

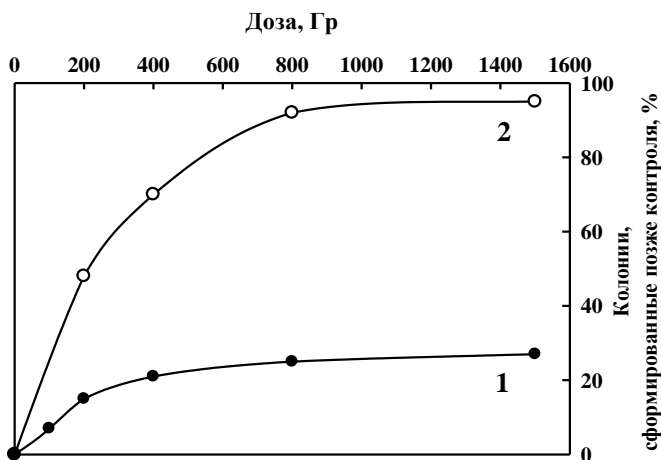


Рисунок 1 – Кривые позднего формирования колоний гаплоидными S288C (кривая 1) и диплоидными XS800 (кривая 2) дрожжевыми клетками *Saccharomyces cerevisiae* дикого типа, облученных в стационарной стадии роста γ -квантами ^{60}Co

Это свидетельствует о том, что с увеличением дозы облучения ионизирующим излучением увеличивается число клеток, содержащих неэффективные для инактивации радиационных повреждений (субповреждения), которые ответственны за более медленное размножение клеток и соответствующее этому процессу более позднее по сравнению с контролем формирование колоний. Отметим, что гаплоидные дрожжевые клетки, в отличие от диплоидных, значительно более чувствительны к действию ионизирующего излучения и характеризуются экспоненциальной формой кривой выживаемости, в то время как диплоидные клетки значительно резистентнее гаплоидных и характеризуются сигмоидной кривой доза-эффект. Это обусловлено способностью диплоидных клеток восстанавливаться от радиационно-индуцированных двойных разрывов ДНК. Экспоненциальная форма кривой выживаемости гаплоидных клеток указывает на меньшую эффективность формирования в этих клетках некоторых субповреждений, ответственных за сигмоидную форму кривых выживаемости диплоидных клеток. Тогда следовало ожидать менее выраженного эффекта позднего появления колоний для выживших после облучения гаплоидных клеток, что и продемонстрировано в данном исследовании. В этом случае максимальный эффект позднего дорастания

колоний составлял 20% после действия редкоизирующего излучения. Следовательно, эффект генетической нестабильности выражен в значительно меньшей степени для гаплоидных клеток, неспособных к пострадиационному восстановлению, чем для диплоидных.

Как было отмечено выше, не исключено, что эффект позднего формирования колоний связан не с формой кривой выживания, а полностью детерминируется ploидностью клеток. Для проверки этого предположения на рис. 2 представлены результаты по зависимости позднего появления колоний радиочувствительными гаплоидными (кривая 1) и диплоидными (кривая 2) дрожжевыми клетками, неспособными к пострадиационному восстановлению.

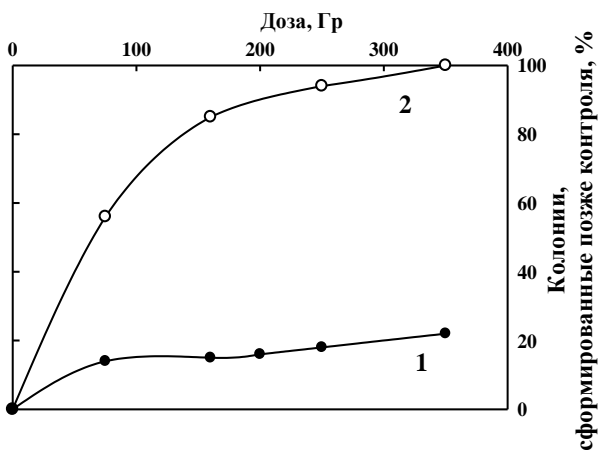


Рисунок 2 – Кривые позднего формирования колоний радиочувствительными гаплоидными *rad51* (кривая 1) и диплоидными *rad51/rad51* (кривая 2) дрожжевыми клетками *Saccharomyces cerevisiae*, облученных в стационарной стадии роста γ -квантами ^{60}Co

Результаты, представленные на этом рисунке, демонстрируют ярко выраженную генетическую нестабильность для радиочувствительных диплоидных мутантов с экспоненциальными кривыми выживаемости. На этом основании можно сделать вывод, что индуцированная ионизирующим излучением генетическая нестабильность детерминируется ploидностью клеток, а не сигмоидной формой кривой выживаемости и способностью клеток восстанавливаться от радиационных повреждений, как это традиционно предполагалось для дрожжевых клеток.

Список литературы

1. Little J.B. Radiation-induced genomic instability // Int. J. Radiat. Biol. 1998. V. 74. № 6. P. 663–671.

2. Мазурик В.К., Михайлов В.Ф. Радиационно-индуцируемая нестабильность генома: феномен, молекулярные механизмы, патогенетическое значение // Радиационная биология. Радиоэкология. 2001. Т. 41. № 3. С. 272–289.
3. Saenko A.S., Zamulaeva I.A. Features of somatic gene mutagenesis in different age groups of persons exposed to low dose radiation // Multiple stressors: a Challenge for the Future / Eds. C. Mothersill, I. Mosse, C. Seymour. Springer. 2007. P. 343–349.
4. Воробцова И.Е. Трансгенная передача радиационно-индуцированной нестабильности генома и предрасположенность к канцерогенезу // Вопросы онкологии. 2008. Т. 54. № 4. С. 490–493.
5. Korogodin V.I., Bliznik K.M., Kapultceвич Yu.G., Korogodina V.L. et al. Cascade mutagenesis: regularities and mechanisms // Proc. 2-nd Int. N.W. Timoffeev-Ressovsky Conference. Dubna, 2007. V. 1. P. 419–447.

УДК 582.475.4:575.113.2:539.1.047: 577.15:614.876

ПОЛИМОРФИЗМ ФЕРМЕНТОВ ГЛЮКОЗО-6- ФОСФАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ, МАЛАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ И ЛЕЙЦИНАМИНОПЕПТИДАЗЫ В ХРОНИЧЕСКИ ОБЛУЧАЕМЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Е. А. Казакова, П. Ю. Волкова, С. А. Гераськин

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: elisabethafeb19@gmail.com

Исследован полиморфизм катаболических и анаболических ферментов в популяциях сосны обыкновенной, произрастающих на территории Брянской области, загрязнённой в результате аварии на ЧАЭС. Оценена частота мутаций в изоферментных локусах, генетическая структура и дифференциация исследуемых популяций, а также активность изучаемых ферментов.

Polymorphism of the catabolic and anabolic enzymes was studied in Scots pine populations growing in the sites of Bryansk region, that were contaminated as the result of the Chernobyl accident. Frequency of mutations in isozyme loci, the genetic structure, differentiation of studied populations and the activities of studied enzymes were studied.

Огромные территории лесных массивов были затронуты радиоактивным следом аварии на Чернобыльской АЭС. До настоящего времени эти леса произрастают в условиях хронического облучения. При этом существует недостаточно данных о долгосрочных биологических последствиях хронического радиационного воздействия для природных популяций. С помощью электрофоретических методов анализа изоферментного полиморфизма представляется возможным оценить последствия хронического низкодозового облучения для генетической

структуры популяций и выяснить, как лесные популяции адаптируются к техногенному стрессу.

Объект исследования – сосна обыкновенная. Данный вид рекомендован Международной комиссией по радиационной защите в качестве референтного при оценке последствий облучения для природных экосистем.

Для проведения работ по определению уровней загрязнения радионуклидами и изоферментного анализа на четырёх радиоактивно загрязнённых участках Брянской области (7.0–129.9 мГр/год) были отобраны пробы почвы и шишек. В качестве контроля выбраны два участка с фоновым уровнем радиоактивного загрязнения. Почвы всех экспериментальных участков оказались близки по основным физико-химическим характеристикам, а содержание тяжёлых металлов, как в почвенных образцах, так и в шишках не превышало допустимых уровней. Поглощённая генеративными органами сосны доза была оценена с помощью специально разработанной дозиметрической модели.

Популяционно-генетическими маркерами в данном исследовании служили изоферменты глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа (G6PD), малатдегидрогеназа (MDH) и лейцинаминопептидаза (LAP). Ферменты экстрагировали из эндоспермов семян сосны обыкновенной. Полученные гомогенаты центрифугировали. Электрофоретический анализ ферментов проводили в вертикальных пластинах 7.5% полиакриламидного геля. Аллозимы идентифицировали по их относительной электрофоретической подвижности. Было проанализировано 6380 локус-тестов. Оценено аллельное разнообразие, частота мутаций в изоферментных локусах, основные показатели, характеризующие генетическое разнообразие, подразделённость и дифференциация популяций, а также отклонение от ожидаемой сегрегации.

В сочетании с анализом изоферментного полиморфизма, в семенах сосны обыкновенной была оценена активность изучаемых ферментов методом спектрофотометрии.

Статистическая обработка результатов проводилась методами параметрической статистики в программах Microsoft Office Excel 2007 и Statistica 10.0.

В исследуемых популяциях сосны обыкновенной глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа представлена продуктами двух различающихся по электрофоретической подвижности локусов. При анализе локусов в каждом из них выявлено три аллеля. У малатдегидрогеназы идентифицированы пять полиморфных локусов, а у лейцинаминопептидазы – один. В генетическом локусе малатдегидрогеназы *mdh-1* выявлены восемь аллелей, в локусах *mdh-2*, *mdh-3* и *mdh-5* по два аллеля, а в локусе *mdh-4* – один. В локусе лейцинаминопептидазы идентифицированы одиннадцать аллелей.

Установлено, что с ростом мощности дозы хронического облучения (7.0–129.9 мГр/год) статистически значимо возрастает общая частота мутаций в изоферментных локусах (рис. 1). Из трёх типов мутаций, детектируемых на зимограммах (нуль-мутации, дупликации и изменения электрофоретической подвижности) основной вклад в общую частоту мутаций вносят нуль-мутации.

Полиморфность ферментных локусов в изучаемых популяциях высока и составляет от 70.00 до 93.33%. Однако, уровень полиморфизма не зависит от мощности дозы хронического облучения.

Оценка гетерозиготности экспериментальных популяций показала, что значения как ожидаемой, так и наблюдаемой гетерозиготности на самом загрязнённом участке (129.9 мГр/год) статистически значимо выше, чем в контроле. При этом наблюдаемая гетерозиготность на всех исследуемых участках выше ожидаемой. Это позволяет сделать вывод об избытке гетерозигот в изучаемых популяциях (индекс фиксации Райта на всех участках имеет отрицательные значения).

Статистически значимой корреляции доли редких аллелей с уровнем радиоактивного загрязнения не обнаружено. На самом загрязнённом участке (129.90 мГр/год) хроническое радиационное воздействие приводит к увеличению эффективного числа аллелей по сравнению с контрольными участками. При этом внутривидовое разнообразие характеризуется высоким и средним уровнем изменчивости.

Для полиморфных локусов LAP, MDH и G6PD были рассчитаны основные показатели F-статистики Райта. Среднее значение коэффициента F_{st} для всех популяций равнялась 0.060, то есть 94% генетической изменчивости у сосны сосредоточено внутри популяций (высокий процент внутривидовой изменчивости является характерным для хвойных растений), а 6% приходится на межвидовую составляющую. Отрицательные величины показателей F_{is} и F_{it} свидетельствуют о том, что популяции сосны обыкновенной испытывают избыток гетерозигот.

Ни в контрольных, ни в произрастающих на радиоактивно загрязнённых участках популяциях, нарушение сегрегации по исследуемым локусам не обнаружено.

На основании полученных значений коэффициентов генетической дистанции кластерный анализ разделил изучаемые популяции на две чётко различающиеся группы. Первая группа включала в себя популяции произрастающие на двух наиболее загрязнённых радионуклидами участках, а во вторую группу вошли популяции с менее загрязнённых участков.

Активность ферментов LAP, MDH и G6PD в семенах сосны обыкновенной с ростом уровня радиоактивного загрязнения не изменяется.

Исследуемые популяции отличаются высоким уровнем полиморфизма, средними и высокими уровнями внутривидового разнообразия и избытком гетерозигот на всех экспериментальных участках. Изучаемые ферменты выполняют в организме важные метаболические функции, и изменения в их аллельной структуре может быть рискованным для популяции, поэтому они имеют высокие уровни аллельного разнообразия, а, следовательно, и высокие значения показателей, характеризующих генетическое разнообразие.

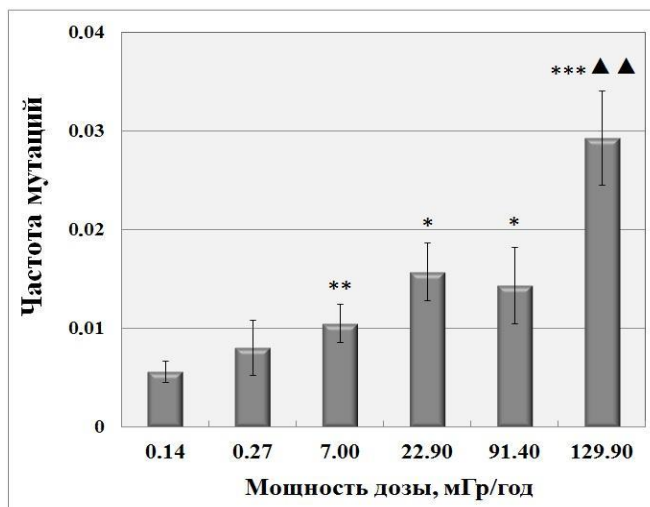


Рисунок 1 – Общая частота мутаций в эндоспермах семян сосны обыкновенной по всем локусам изученных ферментов * Различия значимы по сравнению с контролем (мощность дозы 0.14 мГр/год), $p < 0.05$; ** Различия значимы по сравнению с контролем (мощность дозы 0.14 мГр/год), $p < 0.01$; *** Различия значимы по сравнению с контролем (мощность дозы 0.14 мГр/год) $p < 0.001$; ▲▲ Различия значимы по сравнению с контролем (мощность дозы 0.27 мГр/год), $p < 0.01$)

Тем не менее, значимое увеличение частоты мутационных событий в облучённых популяциях; гетерозиготности и эффективного числа аллелей на самом загрязнённом участке, а также кластеризация популяций на две группы, резко отличающихся по уровню радиоактивного загрязнения, говорит о том, что наблюдаемые мощности дозы могут рассматриваться как фактор, способный модифицировать генетическую структуру популяций.

Таким образом, хроническое радиационное воздействие увеличивает общую частоту мутационных событий в локусах изучаемых ферментов, но так как мутационные события относительно редки, активность ферментов не зависит от уровня радиационного воздействия.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАРУШЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ МЫШЕЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ Г-КВАНТОВ ^{60}Co

**И.А. Колесникова^{1,2}, Н.Н. Буденная^{1,2}, Ю.С. Северюхин², К.Н.
Ляхова²**

1 – ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна», Дубна, Россия

2 - Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

e-mail: innakolesnikova0793@gmail.com

Исследованы поведенческие реакции экспериментальных животных на установке «Открытое поле». Проведен количественный анализ морфологических изменений нейронов гиппокампа и показано развитие структурных изменений нейронов различной степени тяжести после облучения. Проведен количественный анализ разряженности клеток Пуркинье в мозжечке при действии γ -квантов ^{60}Co в дозе 5 Гр на 8 сутки.

В настоящее время одним из актуальных вопросов радиобиологии является проблема, связанная с обеспечением радиационной безопасности пилотируемых космических полетов, в том числе, планируемым полетом на Марс. Главной опасностью при межпланетных полетах может стать воздействие ионизирующих излучений (ИИ) на центральную нервную систему (ЦНС), приводящее к нарушению жизненно важных функций, способных сделать космическую миссию невыполнимой. С увеличением длительности и дальности полетов за пределы околоземной орбиты стоят такие риски как радиационные (возрастание вероятности гибели клеток) и эргономические (вероятность неверного выполнения полетных операций) [4]. Структурой мозга, выполняющей функцию хранилища кратковременной памяти и функцию перевода информации в долговременную, является гиппокамп. Ориентацией в пространстве мы обязаны также этому отделу головного мозга. Гиппокамп выделяет и удерживает в потоке внешних стимулов важную информацию, то есть выполняет ту же функцию, что оперативная память компьютера. Мозжечок — отдел головного мозга, отвечающий за координацию и регуляции произвольных, непроизвольных движений, в регуляции вегетативных и поведенческих функций. На клетки Пуркинье мозжечка проецируются практически все виды сенсорных раздражений: кожные, зрительные, слуховые, вестибулярные и др. [2].

Целью проведенных исследований являлось изучение влияния γ -излучения на поведенческие реакции экспериментальных животных и выявление морфологических изменений в гиппокампе и мозжечке на раннем сроке после воздействия. Известно, что через 3 месяца после

облучения они проявляются в выраженных нарушениях пространственной ориентации, угнетении когнитивных функций. Эксперимент проведен на 12 мышах CD-1 SPF категории, одного пола и возраста. Животные были разделены на 2 группы: интактный контроль и группа, облученная на установке Рокус-М в дозе 5 Гр γ -квантами ^{60}Co . Декапитация животных была проведена на 8 сутки после облучения. Обработка биологического материала и приготовление препаратов проходила в соответствии со стандартной гистологической техникой. Гистологические срезы окрашивались крезил-виолетом по методу Ниссля. Животные были протестированы на установке «Открытое поле» на 8-сутки после облучения. В ходе эксперимента были посчитаны показатели эмоционального статуса (ЭС) и суммарной двигательной активности (СДА), ориентировочно-исследовательская поведенческая реакция (ОИПР). Для оценки степени тяжести структурных нарушений в нейронах гиппокампа мышей использована количественная методика оценки морфологических изменений клеток. В препарате от каждого животного анализировали все клетки гиппокампа полей CA1, CA2, CA3, CA4. В зависимости от степени структурных нарушений выделяли три группы клеток: неизмененные нейроны, клетки с признаками морфофункциональных или компенсаторно-приспособительных изменений и дистрофически измененные нейроны [3]. В мозжечке был посчитан показатель разряженности клеток Пуркинью. В препаратах от каждого животного в 100 полях зрения посчитано полное количество клеток Пуркинью. Статистическую обработку всех данных выполняли по критерию t-Стьюдента с помощью программы excel.

Анализ проведенных наблюдений показал, что после облучения γ -квантами ^{60}Co произошло незначительное увеличение двигательной активности у облученных мышей: СДА выше и ЭС больше, чем у контрольной группы. ОИПР у животных обеих групп совпадает (рис.1).

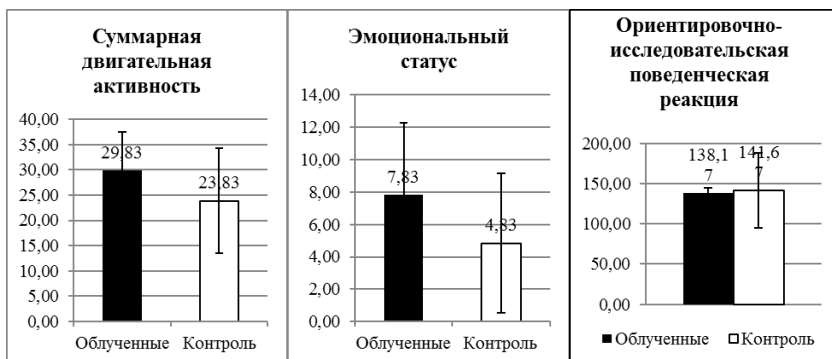


Рисунок 1 – Результаты теста «Открытое поле»

Проведенный качественный и количественный анализ морфологического состояния нейронов выявил, что количество нормальных клеток в интактной группе больше, чем у облученных мышей; количество функционально-измененных нейронов у облученных животных превышает число таких клеток у необлученных, хотя дистрофически-измененных клеток одинаково в обеих группах (рис.2).

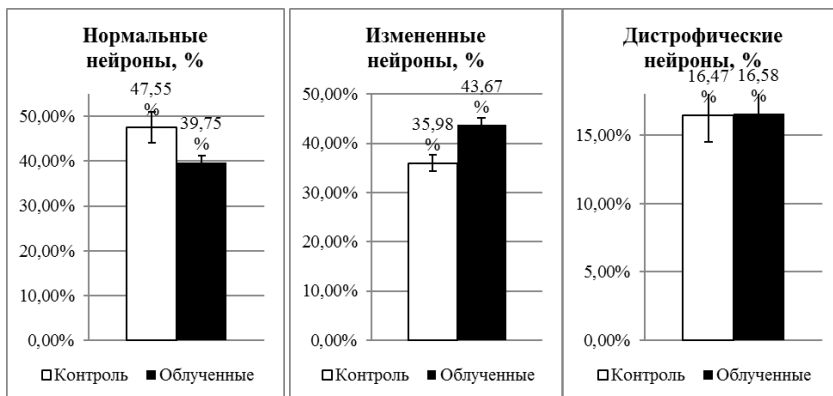


Рисунок 2 – Результаты количественного анализа морфологических изменений нейронов в гиппокампе

В мозжечке облученных животных наблюдается разреженность клеток Пуркинью (рис.3).



Рисунок 3 – Разреженность клеток Пуркинью в мозжечке

Проведенное в данной работе исследование позволяет приблизиться к получению информации о влиянии излучения на ЦНС и поведение. Однако требуется дальнейшее изучение воздействия ИИ на отделы мозга в разные сроки с учетом факторов, действующих в открытом космосе.

Список литературы

1. Афанасьев Р.В., Гундарова О.П., Ильичева В.Н., Маслов Н.В. Отдаленные структурно–функциональные эффекты в головном мозге после воздействия ионизирующего излучения в малых дозах // Вестник Российской военно-медицинской академии: – 2008. – Т. 23, № 3. – С. 116 – 117
2. Давыдова Ирина Секреты мозга, Эксмо, 2010, С.-320
3. Ташкэ К. Введение в количественную цито-гистологическую морфологию, издательство академии социалистической республики Румынии 1980, С.-191
4. Федоренко Б.С. «Радиобиологические эффекты корпускулярных излучений», Москва «Наука», 2006, С. 6-17, 25-38

УДК 615.849.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ ВЫХОДНЫХ ДОЗ, СОЗДАВАЕМЫХ ПУЧКАМИ ФОТОНОВ В УСЛОВИЯХ ПОЛУБЕСКОНЕЧНОЙ И БАРЬЕРНОЙ ГЕОМЕТРИЙ ВОДНОЙ СРЕДЫ

М.А. Колыванова^{1,2}, В.А. Климанов^{1,2,3}

1 – ФГБНУ «ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия

2 – МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

3 – НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия

e-mail: Kolyvanova@physics.msu.ru, VAKlimanov@mephi.ru

С помощью метода Монте-Карло и комплекса EGSnrs выполнен расчет поправочных факторов для определения значений выходной дозы из данных для полубесконечной геометрии в сравнении с барьерной геометрией человека для пучков фотонов с энергией 1.25, 6, 15 и 18 МэВ и предложено аппроксимационное аналитическое выражения для расчета значений этих факторов при разных поперечных размерах пучков и толщин слоев воды.

Article include results of Monte-Carlo calculation in EGSnrs program of correction factor for exit dose which used semi-infinity geometry dosimetry data compare with human barrier geometry dosimetry data for photon beam with energy 1,25, 6, 15, 18 MV. The approximation analytical expressions are proposed for calculating the values of these factors for beam with different cross section and water layers' thicknesses.

Введение

В настоящее время в лучевой терапии пучками фотонов для расчета дозовых распределений внутри тела пациента используются системы 3-мерного дозиметрического планирования. В таких системах в большинстве случаев применяются методы расчета доз, основанные на

моделях тонкого и дифференциального тонкого лучей (например, XIO и Monaco фирмы Elekta или Eclipse фирмы Varian) и алгоритмах свертки/суперпозиции (Convolution/Superposition) [1,2]. Дозовые распределения (дозовые ядра) для этих элементарных источников обычно получают предварительно, используя метод Монте-Карло или набор экспериментальных дозовых распределений поглощенной дозы в водной среде в полубесконечной геометрии. В процессе ввода в эксплуатацию параметры исходных моделей планирующей системы адаптируются применительно к каждому конкретному клиническому ускорителю или радионуклидному аппарату. Дозовые ядра корректируются с помощью экспериментальных данных (профилей радиационного пучка, процентной глубинной дозы, факторов выхода и т.д.), измеряемых в водном фантоме также фактически в полубесконечной геометрии. Фантом имеет стандартные размеры 40-50 см, а глубина, на которой производятся измерения не превышает 35см, то есть фантом можно назвать гомогенной полубесконечной средой. Однако, пациент имеет конечные размеры и тело пациента при облучении ближе соответствует барьерной геометрии, вследствие чего возникает погрешность при расчете «выходной дозы» (доза на выходе пучка вблизи границы тела).

Доза в точке детектирования состоит из двух компонентов: первичной дозы и дозы от рассеянного излучения. В обоих компонентах определенный вклад создает излучение (вторичные электроны и рассеянные фотоны), приходящее в окрестности точки детектирования после взаимодействия с той частью среды, которая расположена дальше по пучку (на большей глубине), чем точка детектирования. Поэтому вблизи границы раздела вода (ткань)-воздух при дистанционном облучении возникает область нарушения электронного равновесия, в которой уменьшается как первичная, так и доза от рассеянного излучения по сравнению со случаем полубесконечной геометрии.

Таким образом, в случаях поверхностного расположения опухоли в теле человека при изоцентрическом облучении может возникнуть неточность в расчете реальной дозы в мишени в связи с тем, что значения дозовых ядер определяются, исходя из данных, изначально полученных о дозовом распределении в полубесконечной водной среде. По этой же причине при изоцентрическом облучении будет создаваться погрешность в расчете дозы на кожу, которая относится к группе критических органов.

Анализ литературных данных показывает большое количество публикаций, посвященных исследованию поверхностной дозы в области build-up (например, [3 – 5]). В тоже время проблема выходной дозы исследована совершенно недостаточно. В литературе имеется только одна достаточно давняя статья, посвященная изучению этого вопроса [6]. В ней подтверждается уменьшение значений выходных доз вблизи границы раздела воздух-вода по сравнению с дозовым распределением в полубесконечной геометрии для пучков фотонов с энергиями 1.25 МэВ и

25 МВ. Однако детального анализа проблемы данная работа не содержит [6]. Таким образом, исследование возмущения дозового распределения в воде из-за наличия границы раздела воды с воздухом является актуальной задачей.

Учитывая выше сказанное, в настоящей работе проведен расчет поправочных факторов для определения значений выходной дозы из данных для полубесконечной геометрии для пучков фотонов с энергией 1.25 МэВ и со спектром тормозного излучения с максимальной энергией 6, 15 и 18 МэВ и предложено аппроксимационное аналитическое выражения для расчета значений этих факторов при разных поперечных размерах пучков и толщин слоев воды.

Материалы и методы

Расчет поправочных факторов для определения выходной дозы был проведен для мононаправленных дисковых источников в геометрии, показанной на рис. 1. Значения поправочного фактора для полной и рассеянной выходной дозы определялись из соотношения

$$CF(d-z, R) = D_{rp}(d-z, R) / D_{\infty}(z, R), \quad (1)$$

где $D_{rp}(d-z, R)$ – значение дозы (полной или рассеянной) на глубине z на оси пучка для толщины фантома d (т.е. вблизи границы раздела вода-воздух)

d – толщина водного слоя, см, (рис. 1а);

z – глубина точки детектирования, см, (рис. 1а);

D_{∞} – доза в той же точке в геометрии полубесконечной водной среды.

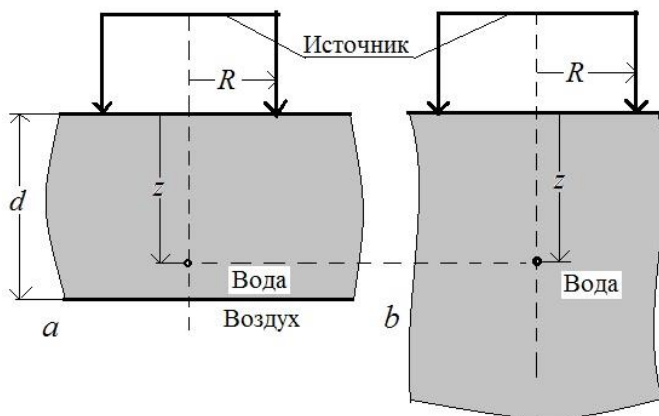


Рисунок 1 – Схема модельного расчета: а – барьерная среда (вода-воздух), б- полубесконечная водная среда. Z – глубина точки детектирования, d – глубина водной среды на рис. 1а. R – радиус радиационного пучка

Значения поглощенной дозы в геометрии полубесконечной и барьерной среды определялись с помощью метода Монте-Карло в

программном модуле EGSnrs. Для исследований было выбрано четыре толщины барьерной среды d : 15, 20, 30 и 40 см. Расчет проводился для четырех спектров фотонов (1,25, 6, 15 и 18 МэВ) и для шести различных радиусов пучка R (0,5, 1, 2, 5, 10 и 20 см). Точки детектирования располагались на оси пучка через каждые 5мм. Расчет в каждом случае выполнялся для 30^7 историй со статистической погрешностью для рассеянной дозы $\leq 1-2\%$. В настоящей работе анализируются результаты, полученные для значений поправочного фактора для рассеянного излучения, как более чувствительного к влиянию границы раздела.

Анализ результатов расчета поправочных факторов показал, что их зависимость от разности между положением точки детектирования и толщиной фантома ($d-z$) можно описать аппроксимационным выражением в виде:

$$CF = a_1 + a_2(1 - e^{-a_3(d-z)}), \quad (2)$$

где a_1, a_2, a_3 – коэффициенты аппроксимационной формулы, зависящие от толщины слоя воды и данных спектра и поперечных размеров пучка. При такой аппроксимации коэффициент a_1 по физическому смыслу представляет собой значение поправочного фактора при $d-z = 0$. Коэффициенты a_2 и a_3 определяют поведение кривой и скорость ее выхода на плато.

Результаты

На рис. 2 показан примеры зависимости фактора CF для рассеянной компоненты дозы от переменной ($d-z$) для разных спектров и размеров пучков.

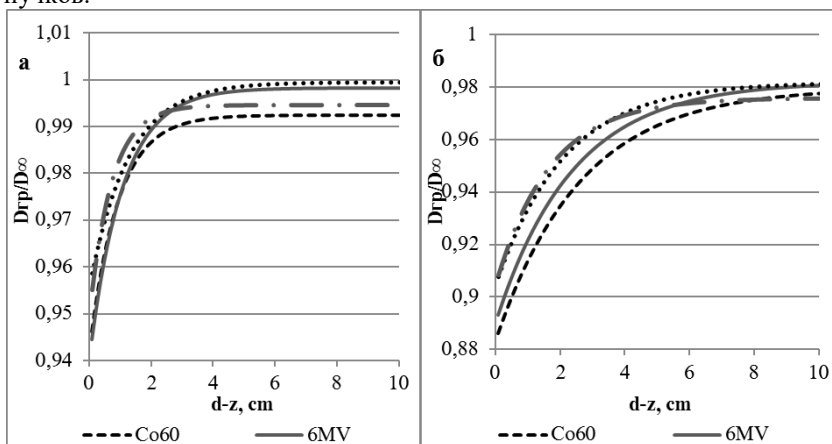


Рисунок 2 – Зависимости поправочного фактора для рассеянной компоненты дозы от переменной ($d-z$) для различных спектров фотонов (1,25, 6, 15 и 18 МэВ) при глубине водной среды $d=20$ см и радиусе пучка R в случае а) 2 см, б) 10 см.

Поведение кривых определяется в основном конкуренцией двух эффектов: с одной стороны, с увеличением средней энергии пучка увеличивается направленность рассеянного излучения вперед, что уменьшает возмущающее влияние границы раздела; с другой стороны, увеличение средней энергии увеличивает средний пробег фотонов и среднюю энергию рассеянного излучения, что увеличивает расстояние от границы, на котором это возмущающее влияние имеет существенное значение. Как и следовало ожидать, увеличение радиуса пучка приводит к более медленному выходу кривой на плато и к увеличению вклада рассеянного излучения для полубесконечной среды.

Заключение

Современная лучевая терапия требует повышения суммарной точности расчета и подведения дозы к пациенту до 3-5%. Это требует совершенствования методики расчета дозы при переходе от гомогенной водной среды к гетерогенной и ограниченной в поперечных размерах геометрии человеческого тела. Адекватность экспериментальных данных, вводимых в планирующие системы и используемых для корректировки исходных дозовых ядер, и дозовых распределений в привязке к конкретным ускорителям, является одной из множества составляющих гарантии качества лучевой терапии. Эти экспериментальные данные измеряются в условиях полубесконечной геометрии, в то время как облучение пациентов производится в геометрии более близкой к барьерной.

При моделировании методом Монте-Карло процесса прохождения пучка фотонов различной энергии и размеров через водную среду было установлено, что при наличии границы раздела вода-воздух в реальных условиях облучения вклад от обратного рассеяния может достигать 4% для малых размеров полей до 11% при максимальном размере поля. Не учет этого эффекта является особенно значимым для расчета дозовых распределений при изоцентрическом облучении опухолей, расположенных близко к поверхности пациентов, и проверке соответствия кожной дозы толерантным значениям. Точность расчета дозовой нагрузки на кожу является одним из показателей выбора толерантной дозы, и ее переоценка приводит к снижению возможной дозы на мишень. На практике введение поправочных факторов на выходную дозу можно рекомендовать, например, при дозиметрическом планировании лечения рака молочной железы или головы – шея, для которых особенно критичны дозы вблизи поверхности и на коже пациента.

Список литературы

1. Mayles P., Nahum A., Rosenwald J.C. Handbook of radiotherapy physics. Theory and Practice, 2007.
2. Климанов В.А. Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии. Часть 1/ М.: изд. НИЯУ МИФИ, 2011.

3. J. Olch, Lee Gerig, Heng Li, et.al. Dosimetric effects caused by couch tops and immobilization devices: Report of AAPM Task Group 176 // Med. Phys., 2014, 41, No. 6.
4. Alashrah S, Kandaiya S, Maalej N, El-Taher A. Skin dose measurements using radiochromic films, TLDS and ionization chamber and comparison with Monte Carlo simulation. // Radiat. Prot. Dosimetry, 2014, 162, P. 338-44
5. Seppala J.K., Kulmala J.A. Increased beam attenuation and surface dose by different couch inserts of treatment tables used in megavoltage radiotherapy. // J. Appl. Clin. Med. Phys., 2011, 12, P. 15-23.
6. Woo M.K. Analysis of photon beam exit dose using photon point kernels // Phys. Med. Biol., 1994, 39, P. 687-702.

УДК 581.5; 57.084.2; 575.224.23

ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ПОПУЛЯЦИЯХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

А.Г. Кузьменков, Д.В. Васильев

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: hakker@mail.ru

*Представлены результаты многолетних (2003 – 2013 гг.) исследований цитогенетических нарушений в популяциях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающих в условиях хронического радиационного воздействия. В интактных популяциях цитогенетические показатели подчинялись циклическим изменениям во времени. В импактных популяциях закономерности, присущие интактным популяциям, нарушаются.*

*The results of long-term (2003 - 2013 gg.) studies of cytogenetic violations in the populations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), growing in the conditions of chronic radiation exposure. In intact populations of cytogenetic indices obey cyclical changes over time. The populations of impact regularities inherent intact populations are violated.*

Важно иметь представление о процессах, происходящих в популяциях основных лесобразующих пород, произрастающих на радиоактивно загрязнённых территориях, знать о том, как происходит их адаптация к новым условиям, снижается ли выраженность негативных эффектов облучения с ходом естественного радиоактивного распада. Для решения этой задачи необходимо проведение комплексных, долговременных исследований популяций растений в естественных условиях их обитания. Однако на настоящее время подобных исследований очень мало, в связи, с чем существует острый дефицит

информации об отдаленных последствиях хронического радиационного воздействия для популяций растений и скорости их адаптации к радиационному фактору. Особый интерес представляют исследования на территориях, пострадавших в результате радиационных катастроф, таких как авария на Чернобыльской АЭС.

В связи с этим нами проведено комплексное многолетнее исследование, позволившее проследить временную динамику мутационного процесса в природных хронически облучаемых популяциях сосны в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС.

Для аппроксимации изменения цитогенетических нарушений во времени использовали регрессионный анализ. Для регрессионного анализа описания зависимости средних значений частоты АК в корневой меристеме проростков от времени наблюдения применялись девять моделей. После получения аппроксимирующих уравнений проводили сравнение качества их аппроксимационных свойств. Во-первых, оценивали, насколько хорошо выбранная функция описывает экспериментальные данные, для чего использовали основные критерии дисперсионного анализа: остаточная сумма квадратов SSR ; статистика Фишера F ; и множественный коэффициент корреляции R^2 . Во-вторых, при помощи критерия структурной идентификации T , а также при помощи информационного критерия Акаике, учитывали ухудшение прогностических свойств моделей при увеличении числа свободных параметров n , требующих верификации. И, наконец, проверяли значимость достигнутого с помощью выбранной модели улучшения качества аппроксимации, для чего использовали критерий Хайека. В табл. 1 представлены результаты применения девяти моделей для описания зависимости средних значений частоты АК в корневой меристеме проростков сосны обыкновенной из шести изученных популяций от времени наблюдения.

Таблица 1 – Сравнение качества аппроксимации разными математическими моделями зависимости частоты цитогенетических нарушений в корневой меристеме проростков семян сосны от времени

Модель	n	1 этап			2 этап		3 этап	
		$SSR, 10^{-3}$	F	$R^2, \%$	$T, 10^{-3}$	AIC	H	an
К								
M1	2	53,43	0,29	3,1	11,87	-22,15	-	-
M2	3	49,15	0,17	4,0	18,43	-20,26	0,29	0,61
M3	4	44,48	0,36	13,3	25,42	-19,38	1,03	0,83
M4	5	35,79	0,66	30,7	29,82	-19,84	1,89	0,95
M5	2	52,97	0,35	3,7	11,77	-22,22	0,24	0,59
M6	2	49,51	0,38	4,0	11,00	-22,25	0,29	0,61
M7	3	48,87	0,21	5,1	18,33	-22,15	0,44	0,66
M8	2	56,28	0,25	2,7	12,51	-22,10		

Модель	n	1 этап			2 этап		3 этап	
		SSR, 10 ⁻³	F	R ² , %	T, 10 ⁻³	AIC	H	аН
M9	3	33,43	2,16	35,1	12,54	-24,56	2,11	0,96
К1								
M1	2	32,82	0,56	7,4	10,94	-15,32	-	-
M2	3	28,28	0,72	19,3	16,97	-14,42	0,94	0,81
M3	4	21,24	1,10	39,8	21,24	-14,77	1,80	0,95
M4	5	9,77	2,62	72,4	16,28	-19,01	3,76	0,996
M5	2	33,71	0,34	4,6	11,24	-15,08		
M6	2	34,50	0,16	2,2	11,50	-14,88		
M7	3	31,32	0,37	10,9	18,79	-15,33	0,49	0,68
M8	2	39,03	0,01	0,13	13,01	-14,72		
M9	3	13,28	4,94	62,2	7,97	-20,48	2,95	0,99
В1УА								
M1	2	131,87	12,48	58,1	29,30	-11,50	-	-
M2	3	115,07	6,84	63,1	43,15	-10,92	1,10	0,85
M3	4	68,09	8,37	78,2	38,91	-14,71	2,88	0,99
M4	5	22,52	19,33	92,8	18,77	-24,86	6,59	≥0,9995
M5	2	131,53	12,58	58,3	29,23	-11,57	0,21	0,58
M6	2	148,89	9,87	52,3	33,09	-10,10		
M7	3	131,32	5,55	58,1	49,24	-12,08		
M8	2	501,50	3,57	28,4	111,44	-5,61		
M9	3	258,45	0,84	17,3	96,92	-2,04		
СБ								
M1	2	168,95	0,23	2,5	37,54	-9,18	-	-
M2	3	157,44	0,22	5,3	59,04	-7,50	0,52	0,69
M3	4	157,55	0,13	5,3	90,03	-5,50	0,52	0,69
M4	5	148,88	0,17	10,2	124,06	-4,09	0,88	0,80
M5	2	169,07	0,30	3,2	37,57	-9,26	0,26	0,60
M6	2	160,32	0,34	3,6	35,63	-9,31	0,32	0,62
M7	3	162,08	0,10	2,5	60,78	-9,19		
M8	2	170,69	0,30	3,2	37,93	-9,26	0,26	0,60
M9	3	160,65	0,14	3,3	60,24	-7,27	0,27	0,60
ЗП								
M1	2	113,25	1,29	12,5	25,17	-13,40	-	-
M2	3	81,61	2,21	35,6	30,60	-14,77	1,80	0,95
M3	4	80,85	1,32	36,1	46,20	-12,85	1,82	0,95
M4	5	70,57	1,18	44,1	58,81	-12,32	2,26	0,97
M5	2	108,06	1,84	17	24,01	-13,98	0,70	0,75
M6	2	100,13	2,35	20,7	22,25	-14,48	0,96	0,82
M7	3	110,44	0,57	12,5	41,41	-13,48		
M8	2	121,48	2,42	21,2	27,00	-14,54	1,00	0,83
M9	3	111,28	0,54	11,9	41,73	-11,31		
ЗК								
M1	2	77,86	6,76	42,9	17,30	-14,27	-	-
M2	3	72,31	3,46	46,4	27,12	-12,90	0,77	0,77
M3	4	66,98	2,38	50,5	38,27	-11,70	1,18	0,86

Модель	n	1 этап			2 этап		3 этап	
		SSR, 10 ⁻³	F	R ² , %	T, 10 ⁻³	AIC	H	α _H
M4	5	66,68	1,54	50,7	55,56	-9,74	1,19	0,87
M5	2	76,22	7,13	44,2	16,94	-14,50	0,46	0,67
M6	2	78,09	6,57	42,2	17,35	-14,15		
M7	3	77,04	3,01	42,9	28,89	-14,43		
M8	2	138,89	3,80	29,7	30,86	-12,19		
M9	3	133,55	0,05	1,2	50,08	-6,79		

Примечание. n – число параметров модели; SSR – остаточная сумма квадратов; F – статистика Фишера; R² – коэффициент множественной корреляции; T – критерий структурной идентификации; AIC – информационный критерий Акаике; H, α_H – значение и уровень значимости критерия Хайека. Жирным шрифтом выделены значения критериев, согласно которым качество аппроксимации данной модели превосходит возможности линейной модели M1.

Модели:

$$M1 - a + b \cdot t$$

$$M2 - a + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2$$

$$M3 - a + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3$$

$$M4 - a + b_1 \cdot t + \dots + b_4 \cdot t^4$$

$$M5 - a + b \cdot \sqrt{t}$$

$$M6 - a + b \cdot \ln(t)$$

$$M7 - a + b \cdot e^{tc}$$

$$M8 - a + b/t$$

$$M9 - a + b \cdot \sin(t + c)$$

Для контрольных популяций К и К1 полиномиальные (M3-M4) и синусоидальная (M9) модели показывают лучшее соответствие экспериментальным данным (табл. 1). При помощи критерия структурной идентификации T, который учитывает штраф за сложность, установили, что добавление членов 3-й и 4-й степени (модели M3 и M4, популяции К и К1) не приводит к улучшению аппроксимационных свойств модели, компенсирующему её усложнение. Критерий Хайека показал высокий уровень значимости для синусоидальной (M9) и полиномиальной модели четвертого порядка (M4), и на участке К1 для полиномиальной модели третьего порядка (M3) близок к критическому.

Анализ качества аппроксимации теми же моделями временных зависимостей в произрастающих в условиях хронического радиационного воздействия популяциях сосны ВИУА, ЗП и ЗК показал, что большая часть нелинейных моделей (за исключением синусоидальной) способны обеспечить лучшее приближение экспериментальных данных, чем линейная модель, исключением стал участок СБ, на котором ни одна из моделей не показала хорошего качества аппроксимации. Критерий структурной идентификации T показывает, однако, что полученное улучшение аппроксимационных свойств не компенсирует увеличение числа свободных параметров в популяциях на участках ВИУА (за исключением полинома 4-й степени – модель M4), ЗП и ЗК. Неплохие качества продемонстрировала модель M5 на всех импактных участках, а

также модель М6 на участке ЗП. Экспоненциальная модель М7 на всех импактных участках была полностью сопоставима с линейной моделью, но уступала ей по Т критерию. Применение критерия Хайека показало, что достоверное улучшение качества аппроксимации частоты цитогенетических нарушений достигается полиномиальными моделями 3-й и 4-й степени (М3 и М4) на участках ВИУА и ЗП. А имевшая преимущество в интактных популяциях циклическая синусоидальная модель М9 оказалась худшей по качеству аппроксимации в импактных популяциях.

Изучение временной динамики частоты цитогенетических нарушений в корневой меристеме проростков семян сосны обыкновенной в течение 11 лет показало, что в интактных популяциях частота АК может быть описана математическими моделями, которые отражают циклический характер изменения биологических параметров во времени. Так же замечена тенденция увеличения частоты АК, что, скорее всего, связано с ростом антропогенного воздействия (рис. 1).

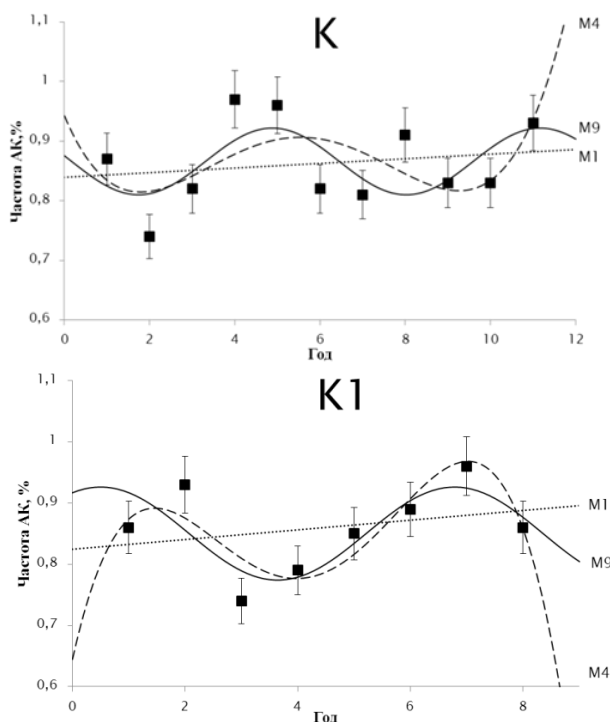


Рисунок 1 – Частота aberrантных клеток (%) в корневой меристеме проростков сосны обыкновенной на контрольных участках (К и К1) в зависимости от года наблюдения: аппроксимация линейной (М1), полиномиальной (М4) и синусоидальной (М9) моделями

В произрастающих в условиях хронического радиационного воздействия популяциях преимущества циклических функций пропадают. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что длительное обитание в условиях хронического радиационного воздействия приводит к нарушению естественных закономерностей популяционных показателей. Так же на импактных участках, в отличие от контрольных, наблюдается снижение частоты АК, что, скорее всего, связано с естественным радиоактивным распадом (рис. 2).

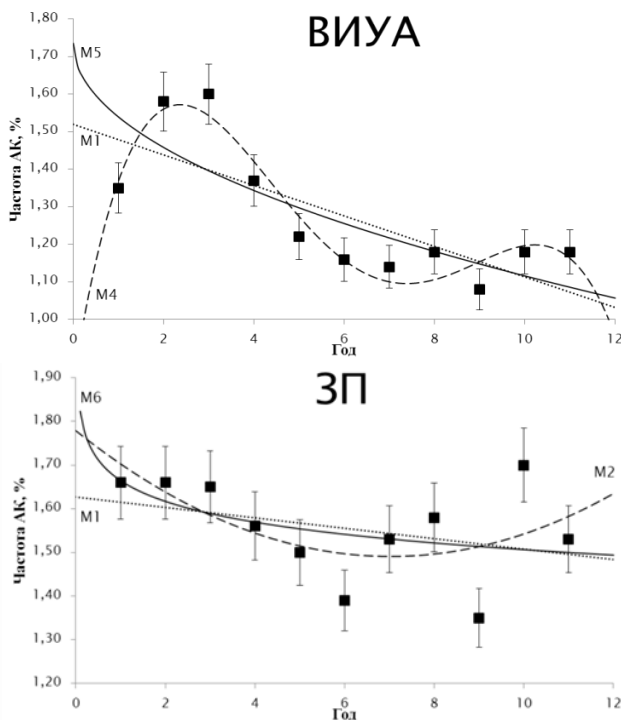


Рисунок 2 – Частота aberrантных клеток (%) в корневой меристеме проростков сосны обыкновенной на импактных участках (ВИУА и СБ) в зависимости от года наблюдения: аппроксимация линейной (M1), полиномиальной (M2, M4), корневой и логарифмической (M5, M6) моделями

ТИПЫ ИНАКТИВАЦИИ КЛЕТОК *CHLORELLA VULGARIS* ПОСЛЕ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗНОГО КАЧЕСТВА

Е.Р. Ляпунова

Обнинский институт атомной энергетики – филиал НИЯУ МИФИ
г. Обнинск, Российская Федерация
e-mail: lyapunovae@gmail.com

*В статье представлены данные о разных типах инактивации клеток зеленой одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* после действия ионизирующего излучения разного качества: гибель «под лучом», апоптотическая гибель после нескольких делений и некротическая гибель, как до деления, так и после нескольких делений. Проведена оценка соотношения между типами гибели клеток после облучения и показано, что гибель клеток, облученных ионизирующим излучением, мало зависит от стадии роста.*

То, что ионизирующая радиация является мощным фактором воздействия на рост, развитие и обмен веществ живых организмов было установлено в результате первых исследований радиобиологов [1,4]. Под влиянием облучения у растений, животных или микроорганизмов меняется сбалансированный обмен веществ, ускоряется или замедляется (в зависимости от дозы) течение физиологических процессов, наблюдаются сдвиги в росте, развитии [1,4]. Плотнойонизирующие излучения, характеризующиеся более высокими значениями линейных потерь энергии (ЛПЭ) более эффективны по многим показателям [1]. Для правильной интерпретации механизмов летального действия излучения на живые организмы решающее значение имеет изучение закономерностей гибели облученных клеток, а для понимания отдаленных последствий облучения – изучение выживших после облучения клеток.

Поэтому представляло интерес изучить разные формы гибели клеток хлореллы, облучаемых в различных стадиях роста альфа-частицами ^{239}Pu (ЛПЭ = 125 кэВ/мкм) и гамма-квантами ^{60}Co (ЛПЭ = 0,2 кэВ/мкм). Такие данные могут представить интерес, как с теоретической точки зрения, так и при интерпретации норм радиационной безопасности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Выбор объектом исследований одноклеточной зеленой водоросли *Chlorella vulgaris* обусловлен рядом преимуществ. Культивирование хлореллы нетрудно в лабораторных условиях. Размер взрослых клеток диаметром 6-9 мкм, позволяет наблюдать их с помощью светового микроскопа. Размножение хлореллы - бесполое, автоспорами, деление

происходит 1-6 раз в сутки [3, 6]. Клетки делятся на 2-8, реже 16 автоспор, за счет чего культура водоросли на протяжении длительного времени сохраняется альгологически чистой без применения специальных приемов очистки и стерилизации. Хлорелла – удобный объект биологического мониторинга состояния природных экосистем [6], поскольку имеет широкий ареал распространения в водоемах и на почвах. С использованием хлореллы получена уникальная информация о мутагенных и летальных эффектах высоких доз внешнего облучения, продуктов ядерного деления ^{235}U разного возраста [6], ^{232}Th [2] неорганических и органических соединений в модельных растворах [9], компонентов природных и промышленных вод [6].

В экспериментах по хроническому облучению большого числа поколений хлореллы и высших растений была разработана математическая модель накопления и элиминации мутаций в облучаемых природных популяциях [6–8].

Для клеток хлореллы характерны несколько типов инактивации: гибель на стадии молодой клетки, при облучении – гибель «под лучом»; гибель на стадии материнской клетки с автоспорами [3–5]; образование патологической микроколонии после нескольких споруляций.

Культивирование хлореллы проводилось на 50% жидкой среде Тамия следующего состава: $\text{KNO}_3 - 5.0$; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O} - 2.5$; $\text{KH}_2\text{PO}_4 - 1.25$, $\text{FeSO}_4 - 0.003$ г/л. Для протококковых водорослей, к которым относится хлорелла, эта питательная среда считается [2] наиболее пригодной. Нарращивание культуры водоросли велось в специальном культиваторе КВМ – 05. Засев водоросли производится с начальной плотностью 0,1-0,15 единиц оптической плотности (Р), значение которой постоянно регистрируется в процессе культивирования измерителем плотности суспензии ИПС – 03. При оптимальных условиях культивирования клетки выходят на стационарную фазу на 8 сутки с последующим постепенным замедлением эффективности роста.

Облучение проводили гамма-квантами ^{60}Co (установка «Исследователь», мощность дозы 28,3 Гр/мин) и альфа-частицами ^{239}Pu (ЛПЭ = 125 кэВ/мкм) по следующему принципу: небольшую каплю суспензии (0,1 мл) концентрацией 10^6 кл/мл (подсчитывается в камере Горяева) помещали на поверхность голодного агара, после чего жидкая среда выпаривалась, а оставшийся монослой клеток подвергали воздействию излучения.

Действие излучения оценивали по выживаемости и типам инактивации клеток методом микроколоний. Выживаемость определялась по количеству клеток, сохранивших способность к делению относительно контрольного образца. Выжившими для репродуктивной формы гибели считали клетки, образовавшие микроколонии из 10 и более клеток. Для теста гибель клеток без деления – погибшими считали клетки,

не поделившиеся ни одного раза, а выжившими – клетки, поделившиеся за сутки хотя бы один раз.

Результаты исследований обрабатывали и оценивали с применением методов вариационной статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Интересно было проанализировать разные формы гибели клеток микроводоросли, а именно, гибель без деления, гибель клеток, прошедших одну, две и более споруляций, и их соотношение после облучения. Ранее исследования облученных дрожжевых клеток методом микроколоний показали [3, 4], что разные клетки, погибающие после облучения в одной и той же дозе, гибнут не одинаково и образуют микроколонии, содержащие разное количество клеток (разные формы инаktivации). В ходе нашего исследования зафиксированы разные типы инаktivации клеток хлореллы (рис. 1). Из рисунка видно, что для облученных клеток хлореллы характерна гибель «под лучом», апоптотическая гибель после нескольких делений (рис. 1В, Г) и некротическая гибель, как до деления (рис. 1А), так и после нескольких делений (рис. 1Б).

Эти данные хорошо соотносятся с данными представленными другими учеными [6, 7], полученными после действия тяжелых металлов и некоторых химических препаратов на культуру водоросли.

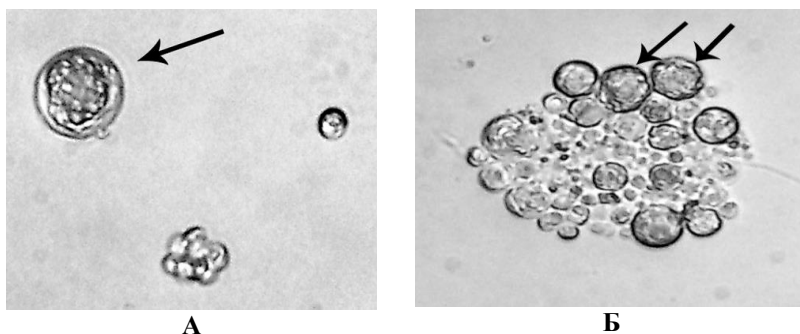


Рисунок 1. А-Б – Вторая стадия некроза – набухание мембранных органоидов, лизис хроматина ядра (кариолизис) до деления клетки (А), после нескольких делений (Б). Увеличение 10х40

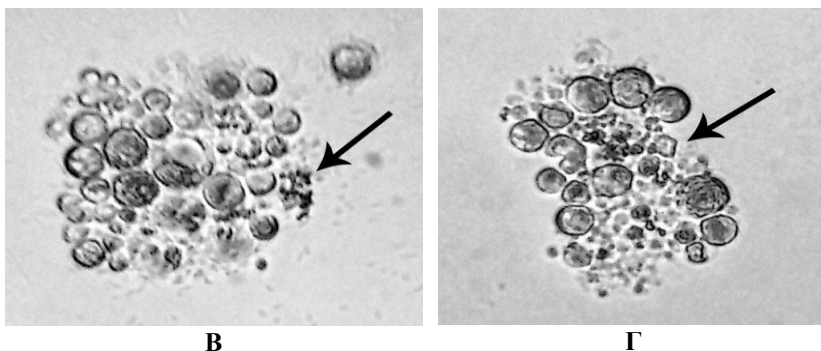


Рисунок 1. В-Г – Третья стадия апоптоза – фрагментация тела клетки на ряд апоптических телец после нескольких делений. Увеличение 10х40

Нами было оценено соотношение между типами гибели клеток после облучения, кроме того представляло интерес выяснить зависит ли это соотношение от стадий культивирования клеток водоросли. На рис. 2 представлены результаты, демонстрирующие выход клеток, находящиеся на разных стадиях культивирования, погибших без деления, после облучения клеток микроводоросли гамма-квантами и альфа-частицами.

Видно, что при облучении клеток микроводоросли, находящиеся на стационарной стадии роста в дозах от 10 до 50 Гр выход клеток, погибших без деления, превышает выход таких клеток, облученных в логарифмическую стадию роста. При облучении клеток в дозах 150–250 Гр выход клеток, погибших без деления, не зависит от стадии роста хлореллы.

Количественное соотношение типов инактивации менялось с увеличением дозы облучения. Так, при дозах от 10 до 50 Гр преобладала гибель после второго деления, а при дозах от 100 до 300 Гр – гибель клеток до деления (рис. 2). Это согласуется с данными, полученными ранее другими исследователями [4–6], показавшими, что при облучении хлореллы редкоизионизирующим излучением гибель после первой споруляции преобладала вплоть до дозы в 250 Гр.

Видно, что гибель клеток без деления, после облучения альфа-частицами превышает выход таких же клеток после гамма-излучения примерно в два раза, при этом, как и в случае с гамма-квантами, гибель клеток мало зависит от стадии роста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе проведенных экспериментальных исследований выявлены разные формы гибели клеток водоросли после действия на них ионизирующего излучения, оценено соотношение между разными типами гибели клеток. Показано, что гибель клеток хлореллы, облученных ионизирующим излучением разного качества, мало зависит от стадии роста.

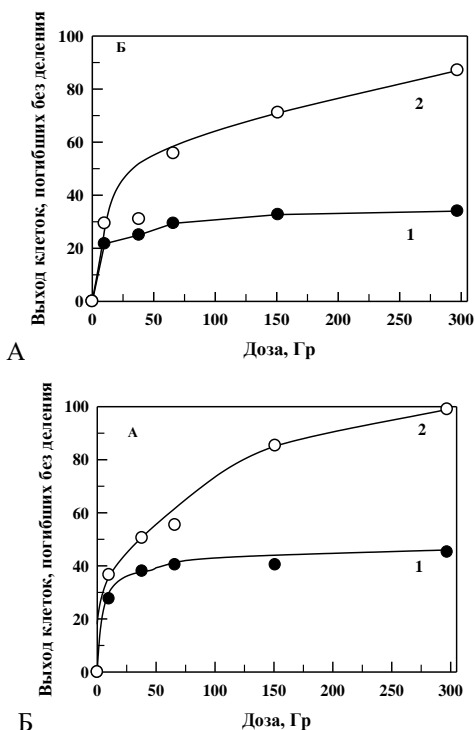


Рисунок 2 – Зависимость поражения клеток хлореллы, облученных в стационарной (панель А) и логарифмической (панель Б) стадиях роста, от дозы различных видов ионизирующих излучений. Кривая 1 – гибель клеток после облучения γ -квантами, кривая 2 – гибель клеток после облучения α -частицами

Список литературы

1. Гродзинский Д.М., Гудков И.Н. Защита растений от лучевого поражения – М., Атомиздат, 1973, 232 с.
2. Евсева Т. И., Майстренко Т. А., Гераськин С. А., Белых Е. С. Механизмы действия ^{232}Th и Ce (III) на *Chlorella vulgaris* Beijer. Оценка вклада радиационного воздействия ^{232}Th в индуцируемый эффект // Радиационная биология. Радиоэкология. 2008, Т. 48, С. 370-377
3. Жмур Н.С., Орлова Т.Л. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водоросли / Федеральный реестр. Фр. 1.39.2001.00284. – М.: «Акварос», 2001. – 44 с.
4. Капутьевич Ю.Г. Количественные закономерности лучевого поражения клеток. – М.: Атомиздат, 1978. – 230 с.
5. Капутьевич Ю. Г., Корогодин В. И., Петин В.Г. Анализ радиобиологических реакций дрожжевых клеток // Радиобиология. – 1972. – Т.12, №2. – С. 267 – 274.

6. Шевченко В.А. Радиационная генетика одноклеточных водорослей. – М.: Наука, 1979. – 256 с.
7. Шевченко В.А., Визгин В.П., Алексеенко А.Я. О мутационном процессе в популяциях одноклеточных водорослей при остром и хроническом облучении ионизирующей радиацией // Генетика. – 1969. – №9. – вып.5. – С.61-73
8. Шевченко В.А., Абрамов В.И., Кальченко В.А., Федотов И.С., Рубанович А.В. Генетические последствия для популяций растений радиоактивного загрязнения окружающей среды в связи с Чернобыльской аварией // Радиационная биология. Радиоэкология. 1996. Т. 36. С. 531-545.
9. Wong M.H. Effects of cobalt and zinc to *Chlorella pyrenoidosa* in soft and hard water // Microbiosis. – 1980. – V. 28. – P. 19–25

УДК 539.1.047: 582.475.4

ОЦЕНКА АНОМАЛИЙ ПЫЛЬЦЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Е.С. Макаренко¹, А.А. Удалова^{1,2}

1 – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», Обнинск, Россия

2 – Обнинский институт атомной энергетики – филиал НИЯУ «МИФИ», Обнинск, Россия

e-mail: makarenko_ek_obninsk@mail.ru

Изучены аномалии пыльцы сосны обыкновенной, произрастающей на радиоактивно загрязнённых территориях Брянской и Гомельской областей, через 30 лет после аварии на ЧАЭС. В большинстве популяций, испытывающих радиационное воздействие, частота аномальных пыльцевых зёрен значительно превышает контрольный уровень.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС в наибольшей степени подверглись радиоактивному загрязнению территории Республики Беларусь и Украины, а в Российской Федерации – Брянской области. Среди древесных растений хвойные породы наиболее чувствительны к действию ионизирующего излучения и, как следствие, удобны для оценки состояния природных популяций, находящихся в условиях хронического радиационного воздействия. Сосна обыкновенная является классическим объектом популяционной генетики и экологии и, благодаря своей высокой чувствительности, имеет длинную историю экологических и радиобиологических исследований. Наиболее чувствительны к воздействию широкого спектра антропогенного воздействия репродуктивные органы хвойных растений. Формирование зачатков микростробиллов начинается в год, предшествующий «цветению», после окончания линейного роста побегов, что позволяет данным органам накопить достаточную поглощенную дозу. На сосне обыкновенной нашей научной группой уже были изучены многочисленные биологические

показатели, такие, как частота аберрантных клеток и спектр цитогенетических нарушений в корневой меристеме проростков семян и в интеркалярной меристеме хвои, радиочувствительность семян, репродуктивный потенциал популяций, морфометрические параметры хвои, частота мутаций и полиморфизм изоферментных локусов.

Целью настоящей работы являлась оценка влияния хронического радиационного воздействия на частоту аномальных пыльцевых зёрен сосны обыкновенной.

Исследование проводилось в Новозыбковском, Клинцовском, Красногорском, Выгоничском и Унечском районах Брянской области, а также в Хойникском и Брагинском районах Гомельской области. На территории 30-километровой зоны ЧАЭС в 1988 г. был создан Полесский государственный радиационно-экологический заповедник. В биогеоценозах заповедника сконцентрировано около трети выпавшего на территорию Беларуси радиоактивного цезия, более 70% стронция и 97% плутония – основных дозообразующих элементов, вследствие чего здесь отмечаются наиболее высокие уровни радиоактивного загрязнения территории. Плотность загрязнения ^{137}Cs достигает в настоящее время 1350 Ки/км^2 , ^{90}Sr – 70 Ки/км^2 , изотопами $^{238,239,240}\text{Pu}$ – 5 Ки/км^2 , ^{241}Am – 3 Ки/км^2 . На территории данного заповедника были заложены экспериментальные площадки вблизи бывших населенных пунктов (бнп) Кожушки, Масаны и Кулажин. Удельная активность ^{137}Cs в почве на глубине 0-5 см на территории экспериментальных площадок Брянской и Гомельской областей составляет 36-66300 Бк/кг. Согласно проведенным в 2016 г. измерениям, средняя мощность экспозиционной дозы (МЭД) на радиоактивно загрязнённых участках меняется в пределах 34-359 мкР/ч, на референтных участках – 10-12 мкР/ч. Расчетные значения мощности поглощённой дозы в кронах сосновых деревьев на изучаемых участках представлены в табл. 1. Все пробные площадки характеризуются гомогенным древостоем и однородными климатическими условиями.

Таблица 1 – Мощность поглощённой дозы кронами сосны обыкновенной на экспериментальных участках в 2015 г.

Участок	D_{γ} , мГр/год	D_{β} , мГр/год	D_{sum} , мГр/год
К (контроль)	0,02	0,004	0,02
К1(контроль)	0,22	0,006	0,23
ВИУА	9,9	0,09	10,0
Кожушки	3,8	14,2	18,0
СБ	19,2	0,17	19,4
ЗП	32,3	0,80	33,1
ЗК	38,0	0,57	38,6
Масаны	37,4	13,5	50,9
Кулажин	62,6	4,0	66,6

Пыльцу сосны собирали с 12 по 16 мая 2016 г. с 15 деревьев по 10 стробилов с дерева, хранили в холодильнике с CaCl_2 . Исследование проводили на микроскопе SK-14 при увеличении в 120 раз. Просматривали по 750 пыльцевых зёрен (п.з.) с каждого дерева, суммарное количество проанализированных пыльцевых зёрен на участке 11250 штук.

Статистическую обработку экспериментального материала проводили с помощью пакета прикладных компьютерных программ "Microsoft Office Excel 2003". Данные были проверены на наличие выбросов, которые были исключены из дальнейшего рассмотрения. Для определения значимости различий между средними значениями использовали t-критерий Стьюдента.

В норме пыльцевое зерно сосны обыкновенной имеет тело и 2 воздушных мешка (в.м.), образующихся в результате расхождения слоёв экзины, пространство между которыми у сформированного зерна заполнено воздухом. Мешки симметрично расположены и одинаковы по размеру. При изучении аномалий развития пыльцы сосны обыкновенной были выявлены распространённые тератоморфные формы: п.з. линзовидной формы, деградирующая пыльца, п.з. с сильно редуцированными в.м., п.з. с редуцированным телом, пыльца с утончённой экзиной. Помимо распространённых нарушений были обнаружены и более редкие формы: п.з. с тремя, четырьмя или одним в.м., п.з. воротничковой формы, разномешковые п.з., гипертрофированное (диплоидное) пыльцевое зерно.

Частоты аномалий всех типов в референтных популяциях К и К1 в 2016 г. составляли $5,4 \pm 1,4\%$ и $3,1 \pm 0,4\%$, соответственно, и статистически значимо не различались. Данный уровень тератогенеза, согласно литературным данным, находится в диапазоне спонтанного уровня нарушений у сосны обыкновенной (3–7%). На радиоактивно загрязнённых участках частота аномальных пыльцевых зёрен менялась в пределах от $3,4 \pm 0,4\%$ до $14,9 \pm 2,5\%$ (рис. 1). При этом на большинстве участков, испытывающих радиационное воздействие, частота аномальных пыльцевых зёрен значимо превышала уровень референтной популяции К1 ($p < 0,05$), а на участке Кожушки – и более высокий референтный уровень популяции К ($p < 0,01$).

Корреляционный анализ показал отсутствие зависимости частоты всех типов тератоморфной пыльцы от D_{sum} ($r=0,45$, $p>0,05$), МЭД ($r=0,33$, $p>0,05$), удельной активности ^{137}Cs в разных слоях почвы. Обнаружена высокозначимая корреляция с D_{β} ($r=0,91$, $p<0,001$). Возможно, достаточно высокое содержание ^{90}Sr в кроне и концентрация его в делящихся клетках повлияли на результаты данной работы. Анализ каждого типа аномалий пыльцы отдельно не выявил какой-либо зависимости от уровня радиационной нагрузки.

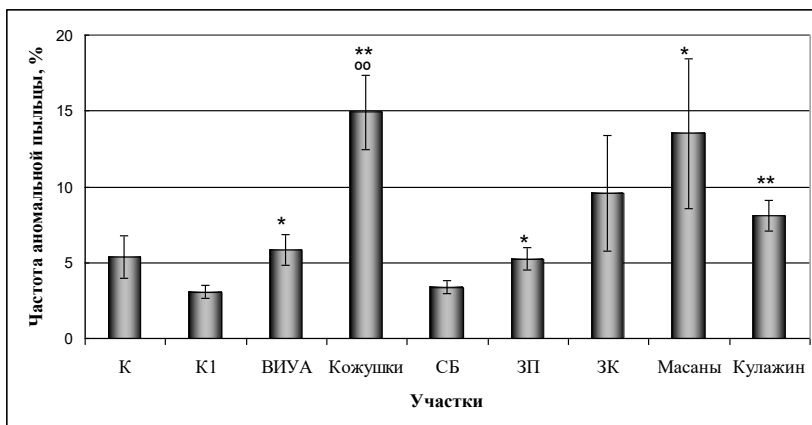


Рисунок 1 – Частота встречаемости тератоморфных пыльцевых зёрен (%) на пробных площадках (^{oo} - значимые отличия от контроля К, $p < 0,01$; * и ** - значимые отличия от контроля К1, $p < 0,05$ и $p < 0,01$)

Известно, что качество пыльцы сильно меняется в зависимости от многих факторов: погодных условий, состояния и генотипических особенностей дерева, а также от сроков сбора стробилов. В нашем исследовании пыльцы, наиболее вероятно, вышеперечисленные факторы оказали некоторое влияние. Результаты работы в 2016 г. по оценке состояния пыльцы сосны в условиях хронического радиационного воздействия находятся в соответствии с ранее полученными данными о повышенных уровнях цитогенетических нарушений и генетической изменчивости в популяциях сосны обыкновенной, произрастающих на радиоактивно загрязнённых территориях.

УДК 613.648:633.16; 581.19; 581.14; 551.58

ДЕЙСТВИЕ ХРОНИЧЕСКОГО УФ-В ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И РОСТ ЯЧМЕНЯ

К.В. Манин, Ю.А. Рыбалко, Е.А. Тыщик

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: maninkv83@mail.ru

Новые закономерности влияния агроклиматических факторов установлены в полевых условиях. Характер зависимостей «доза-эффект» при хроническом УФ-В-облучении ярового ячменя выражен в величинах гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова. Показатели фотосинтеза и неэнзиматические маркеры

антиоксидантной защиты использовались в эксперименте. Положительная корреляция дозы УФ-облучения с изучаемыми показателями выявлена при увеличении ГТК до 0,7. Отрицательная корреляция данных параметров с дозой УФ-облучения отмечена при снижении ГТК до 2,5.

New regularities of the effects of agroclimatic factors have been established in the field. The pattern of the dose-response dependences in chronic UV-B irradiation of spring barley is expressed in terms of the Selyaninov hydrothermal coefficient (SHC). The photosynthetic parameters and non-enzymatic antioxidant defense markers were used in the experiment. The positive correlation between the dose of UV radiation and the parameters studied has been found with the SHC increasing to 0.7. The negative correlation between these parameters and UV radiation dose is reported at SHC lowering to 2.5.

Изменения содержания атмосферного озона и интенсивности УФ-В излучения часто наблюдались в последние тридцать лет. Значительное истощение стратосферного озонового слоя наблюдали в арктическом регионе весной 2011 г., которое приводило к образованию так называемой «озоновой дыры» над Арктикой [1]. Дополнительное УФ-В облучение представляет потенциальную опасность для сельскохозяйственных культур в средних и высоких широтах Северного полушария. Максимальные значения уровней УФ-В радиации (280-320 нм) наблюдаются весной и летом, и могут влиять на урожай культурных растений. Увеличение интенсивности УФ излучения в коротковолновой области солнечного спектра способно вызывать существенное воздействие на рост и развитие многих видов растений [2,3].

По мнению ряда авторов, [2,3,4] влияние агроклиматических факторов на проявления биологических эффектов под действием УФ-В радиации описано недостаточно полно. Состояние и функционирование системы антиоксидантной защиты освещены еще в меньшей мере.

Цель настоящей работы заключалась в оценке влияния повышенных уровней УФ-В радиации и климатических факторов на формирование биохимических показателей и рост ячменя.

Результаты. Рассчитаны значения гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК) при использовании агроклиматических данных (осадки и сумма активных температур) [5] согласно выражению:

$$GTK = \frac{\sum r[mm]}{0.1 \times \sum T_{>10^{\circ}C}} \quad (1)$$

где: r – сумма осадков за определенный период времени, мм,
 $\sum T_{>10^{\circ}C}$ – сумма суточных активных температур, превышающих $10^{\circ}C$, за определенный период времени.

Содержание фотосинтетических пигментов в полевых условиях моделировалось погодными условиями – от угнетения до стимуляции. Угнетение продуцирования хлорофилла *a* и каротиноидов наблюдалось в дождливый период 2006 г. (ГТК = 2,5) при увеличении дозы УФ-В излучения. Стимуляция образования хлорофилла *a* и каротиноидов выявлена в сухой период (2007 г.) (рис. 1).

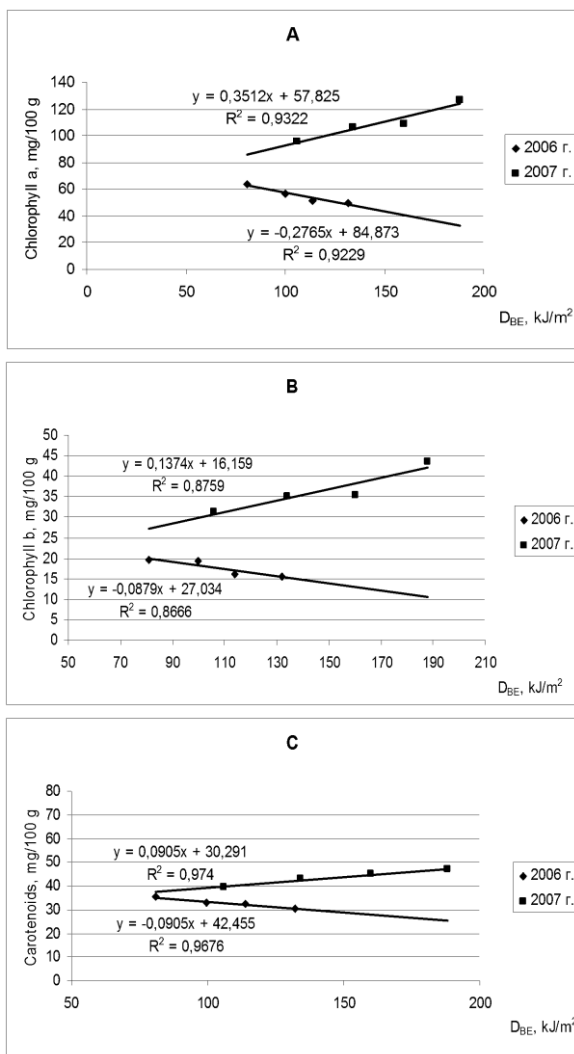


Рисунок 1 – Модификация агроклиматическими условиями зависимостей содержания фотосинтетических пигментов от биологической эффективной дозы УФ-В излучения (D_{BE}): А) - хлорофиллов а, В) – хлорофиллов b, С) – каротиноидов

Изменения интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) в листьях ячменя зависело от климатических условий и дозы УФ-В радиации. Содержание МДА во всех вариантах опыта достоверно превышало контроль в среднем в 1,3 раза ($p < 0,05$) в дождливый период 2006 г. (ГТК = 2,5). Снижение уровня МДА на 19% ($p < 0,05$) наблюдалось при дозе УФ-В облучения 188 кДж/м² в засушливом 2007 г. (таблица).

Таблица 1– Effects of UV-B radiation on content MDA, free proline, flavonoids in leaves of barley, as well as on changes morphological parameters (leaf area, stem height and biomass plants)

Supplemental daily doses biologically effective, kJ/m ²	Doses biologically effective, kJ/m ²	MDA, nMol/g fresh weight	Free proline, μMol/g fresh weight	Flavonoids, mg/100 g	Leaf area, cm ²	Stem height, cm	Biomass, g
(2006 г.)							
0	Control (81)	66,8±4,5	-	1,4±0,1	35±1	54,04±0,52	0,702±0,020
0,8	100	92,5±4,7*	-	1,67±0,09	43±2*	57,1±0,3	0,859±0,030*
1,4	113	92,7±5,7*	-	1,89±0,09*	40±2*	50,8±0,5	0,720±0,025
2,16	132	88,0±2,5*	-	2,15±0,14*	39±1*	51,0±0,5	0,596±0,023*
(2007 г.)							
0	Control (106)	127,2±2,6	1,06±0,02	1,3 ± 0,1	29,6 ± 1,5	56,0±0,5	1,57±0,081
0,9	134	128,4±13,3	1,0±0,1	1,36 ± 0,02	30,6 ± 1,5	59,83 ± 0,34**	1,763±0,068
1,77	160	121,0±8,1	1,44±0,04*	1,34 ± 0,04	30,6 ± 1,7	59,17 ± 0,33*	1,790±0,06
2,75	188	107,8±4,0*	1,37±0,03*	1,41 ± 0,03	35,2 ± 2,4	58,98 ± 0,34*	1,892±0,058**
Significantly different from control value * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$							

Накопление свободного пролина в листьях ячменя происходило в ответ на окислительный стресс. Увеличение концентрации свободного пролина при действии УФ-В радиации в дозах 160 и 188 кДж/м² установлено в условиях сухого 2007 года в среднем в 1,3 раза ($p < 0,05$) (таблица).

Накопление в листьях растений фенольных соединений является защитной реакцией на воздействие повышенных уровней УФ-В излучения [6,7]. Повышение содержания флавоноидов при высоких значениях ГТК = 2,5 и при дозах УФ-В излучения 113 и 132 кДж/м² установлено в 2006 г. в среднем 1,5 раза ($p < 0,05$) (таблица).

Морфофизиологические показатели изменялись так же, как и биохимические, т.е. направленность эффектов зависела от погодных условий. Высокая корреляционная зависимость ($R^2 \approx 0.7$) была выявлена на основе полученных данных между двумя показателями (листовая поверхность и конечная биомасса). Уменьшение биомассы растений ячменя наблюдали с увеличением дозы УФ-В радиации в 2006 г на 23-ьи сутки. Увеличение площади листьев и биомассы растений наблюдали в 2007 г. на 30-е сутки (таблица).

Агроклиматические условия 2006 и 2007 гг. определяли направленность эффектов биохимических и морфофизиологических маркеров. Зависимость «доза-эффект» в полевом опыте 2006 г. определялась в основном климатическими условиями среды, тогда как в 2007 г. - световыми и термическими режимами.

Список литературы

1. Небывалая убыль стратосферного озона в Арктике весной 2011 года. World Meteorology Organization. Press release. ВМО № 912. Женева. 5 апреля 2011 года.
2. Caldwell M.M., Ballare C.L., Bormman J.F., Flint S.D., Bjorn L.O., Teramura A.H., Kulandaivelu G., Tevini M. Terrestrial ecosystems increased solar radiation and interactions with other climatic factors. // *Photochem. Photobiol. Sci.*, 2003, 2, pp. 29-38 (doi: 10.1039/b211159b).
3. Стржижовский А.Д. Влияние ультрафиолетовой радиации повышенной интенсивности на растения: вероятные последствия разрушения стратосферного озона. // *Радиационная биология. Радиоэкология*, 1999, том 39, №6, с. 683-692;
4. Кравец Е.А., Гродзинский Д.М., Гуца Н.И. Влияние УФ-В- облучения на репродуктивную функцию растений *Hordeum vulgares L.* // *Цитология и генетика*, 2008, том 5, с. 9-15.
5. Selyaninov T.G. On the agricultural estimation of climate. *Proc. Agricultural Meteorology*, 1928, vol. 20, pp. 165–177.
6. Close D.C., McArthur C. Rethinking the role of many plant phenolics – protection from photodamage not herbivores? // *Oikos*, 2002, Vo. 99, pp. 166-172. (ISSN 0030-1299).
7. Прусакова Л.Д., Кефели В.И., Белопухов С.Л., Вакуленко В.В., Кузнецова С.А. Роль фенольных соединений в растениях. // *Агрехимия*, 2008, №7, с. 86-96.

ДЕЙСТВИЕ γ -, УФ- И СВЧ-ОБЛУЧЕНИЯ НА КЛУБНИ КАРТОФЕЛЯ

А.В. Тихонов, А.Е. Крюков

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: ti_@list.ru

Разработка новых технических приемов использования электромагнитного излучения разных диапазонов для создания экологически чистых энергосберегающих технологий в возделывании и хранении картофеля.

Картофель – одна из самых популярных сельскохозяйственных культур, используемая как в свежем виде, так и для переработки на картофелепродукты. Суммарный годовой урожай картофеля в России 37 млн. т. В настоящее время насчитывается около 30 наиболее распространенных болезней, ежегодные потери урожая от которых составляют от 10 до 60 % [1]. Для сохранения сельскохозяйственной продукции используются различные химические средства, опасные для здоровья человека и окружающей среды. Фунгицидная обработка овощей и фруктов эффективна и увеличивает сроки их хранения. Однако такая обработка становится со временем менее действенной, так как патогены развивают иммунитет к ней. В связи с этим нами были исследованы возможности разработки экологически чистых технологий, использующих физические факторы, а именно - ионизирующее излучение и электромагнитные излучения УФ- и СВЧ-диапазонов.

Методика: В качестве источников бактерицидного ультрафиолетового излучения использовались безозоновые лампы низкого давления фирмы Philips типа TUV-75, излучающие ультрафиолет С с максимумом на 254 нм, бактерицидный поток одной лампы – 20 Вт. Количество ламп – 20 шт. Облучение происходило на расстоянии 0,2 м, при рассчитанной мощности облучения по центру ~ 148 Вт/м², по краю ~ 76 Вт/м². Равномерность облучения всей поверхности клубня обеспечивалась роликовым транспортером, на котором монтировалась УФ-камера. Диаметр ролика транспортера – 50 мм, скорость движения – 1-20 см/сек, рабочая площадь стола: длина – 2200 мм, ширина-1070 мм [2].

Для обработки клубней электромагнитным СВЧ полем в качестве источника использовался СВЧ генератор не модулированного микроволнового поля частотой 2,45 ГГц мощностью 0,4 - 2 кВт на базе магнетрона ОМ-75 с рупорным излучателем разработанным специально для данного опыта в программе HFSS 9. Количество генераторов: 2 шт.

Рассчитанная мощность потока СВЧ излучения по центру ~ 100 мВт/см². Высота рупора над роликовым транспортером 0,5 м. Равномерность облучения СВЧ полем картофеля контролировалось тепловизором SDS HotFind-LT.

Так же в опыте производилось обработка гамма излучением на гамма установке радиационного облучения (ГУР-120), заряженной источниками ионизирующего излучения кобальт-60 типа ГИК-7-4. Экспозиционная доза измерялась прибором ДКС-101. Величина дозы варьировалась расстоянием до источника.

В экспериментах использовались клубни картофеля сорта «Сантэ», которые отбирали согласно ГОСТ 7001-66 по массе от 35 до 100 г (стандарт 1 класса). Перед посадкой клубни картофеля были рассортированы по поражению фитопатогенами: паршой обыкновенной, паршой серебристой и кольцевой гнилью, для посадки отбирались клубни со степенью поражения 4-6 баллов по шкале Эббота. Изучение влияния предпосевного ЭМИ на рост, развитие, зараженность фитопатогенами, урожай проводили в условиях мелкоделяночного полевого эксперимента на поле ГНУ ВНИИСХРАЭ. Агротехника возделывания картофеля общепринятая для данного региона, без внесения органических удобрений. Урожай учитывали на каждой делянке. После уборки в поле проводили анализ клубней полученного урожая на пораженность фитопатогенами в институте картофелеводства им. Лорха.

Результаты и обсуждение: Результат воздействия предпосевного ЭМИ на картофель зависит как от характера облучения (УФ, СВЧ, гамма), так и от вида фитопатогена.

Пораженность клубней картофеля кольцевой гнилью после уборки урожая представлена на рисунке 1. Предпосевное СВЧ-облучение клубней в дозе 10 кДж/м² достоверно ($p < 0,05$) снизило на 35% (Рис. 1а) распространенность кольцевой гнили в урожае 2012 года. Для проверки дозой зависимости в 2013 году были выбраны другие уровни СВЧ-облучения. После уборки урожая в варианте с облучением мощностью 15 кДж/м² достоверно ($p < 0,05$) снизилось на 80% (Рис. 1б) распространенность кольцевой гнили, а в варианте с облучением мощностью 6 кДж/м² изменений не произошло, что дает возможность предположить, что пик максимального эффекта может приходиться на большие экспозиционные дозы. Это возможно обуславливается меньшей стойкостью патогена к самому физическому воздействию СВЧ-обработки либо ингибирование развития кольцевой гнили подвержено больше тепловому влиянию от ЭМИ. Достоверного влияния на пораженность клубней картофеля кольцевой гнилью предпосевное гамма-облучение не оказало.

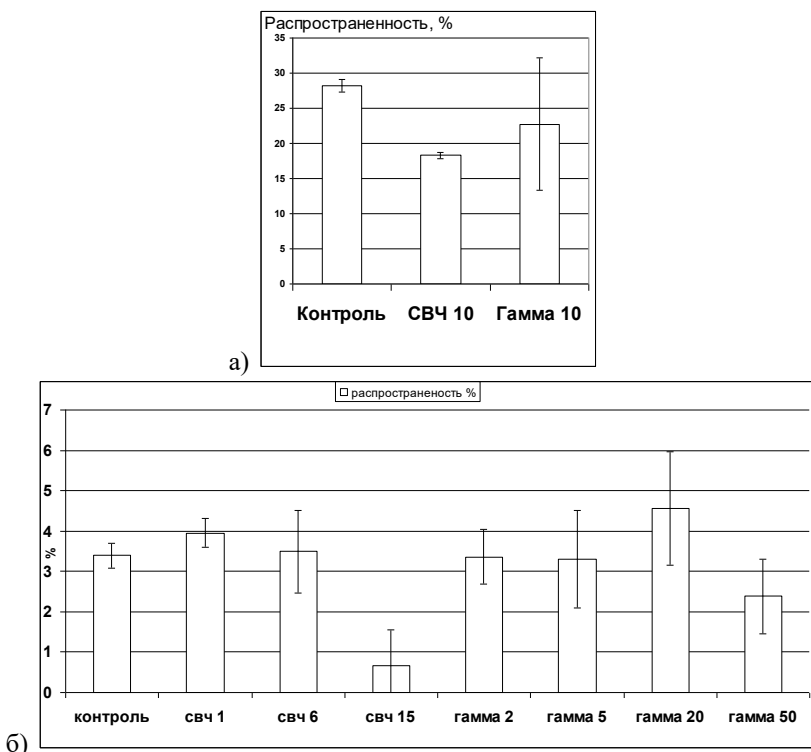


Рис. 1. Распространенность пораженных кольцевой гнилью клубней после уборки урожая: а) в 2012 году, б) в 2013 году.

Бактерицидное воздействие УФ на паршу серебристую и паршу обыкновенную заметно при анализе полученных результатов за 2012 – 2013 года, причем если ингибирование распространения и развития парши обыкновенной происходит при 10 кДж/м² (Рис. 2), то для парши серебристой для эффективного воздействия требуется большая доза - 15 кДж/м² (Рис. 3). Возможно это обуславливается более глубоким нахождением спор парши серебристой. Но дальнейшее увеличение мощности дозы может привести к нарушению баланса взаимодействием двух процессов – подавления микроорганизмов при облучении и снижению естественной устойчивости клубней, что может спровоцировать развитие как парши, так и других болезней [3] при дальнейшем механическом воздействии на клубни.

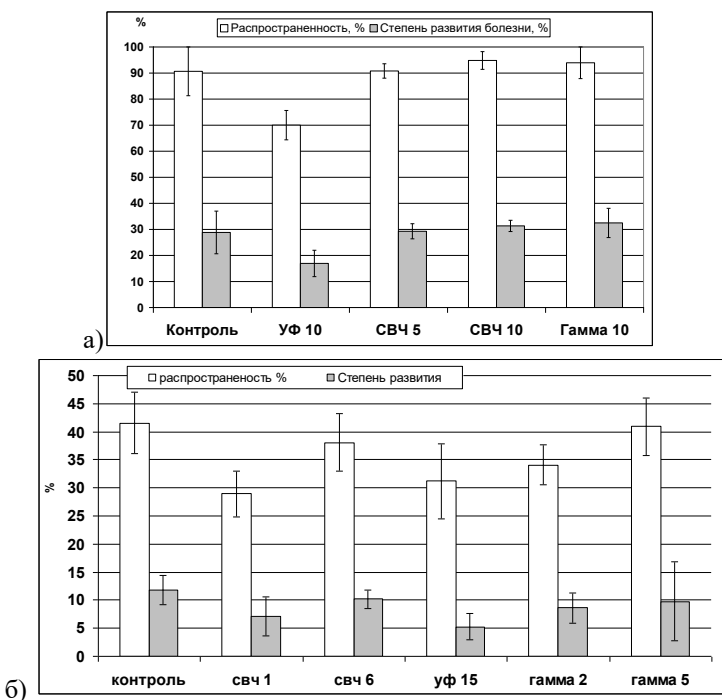


Рис. 2. Распространенность и степень развития парши обыкновенной после уборки урожая: а) в 2012 году, б) в 2013 году.

При анализе клубней картофеля урожая 2012 года, подвергнутых предпосевному СВЧ воздействию, было выявлена резистивность парши обыкновенной к выбранным экспозиционным дозам в размере 5 и 10 кДж/м² (Рис. 2а). В следующем году экспозиционная доза в 6 кДж/м² (Рис 2б) так же не оказала заметного влияния, что подтвердило резистивность парши к данному дозовому диапазону СВЧ воздействия. Но доза в 1 кДж/м² (Рис 2б) оказала сильное ингибирующее воздействие на паршу обыкновенную, что возможно объясняется стимулированием защитных процессов небольшими дозами и подтверждается при таком же дозовом СВЧ воздействии на паршу серебристую. Так же при небольших дозах, как показали опыты по СВЧ воздействию при хранении, происходит стимуляция ростовых процессов клубней и ростки картофеля развиваются быстрее пораженной клубень грибницы, что приводит к уменьшению дальнейшего заражения новых клубней.

После предпосевого СВЧ воздействия на клубни парша серебристая так же резистивно отозвалась на дозу в 5 кДж/м² (Рис. 3а), но доза в 10 кДж/м² (Рис. 3а) оказала ингибирующее воздействие, поэтому увеличение дозы возможно даст более эффективное воздействие [4]. В последующей

серии опыта при воздействии дозы в 6 кДж/м² подтвердилось отсутствие заметного влияния на развитие парши. Доза в 1 кДж/м² оказала ингибирующее воздействие на паршу серебристую как в развитии, так и в распространении.

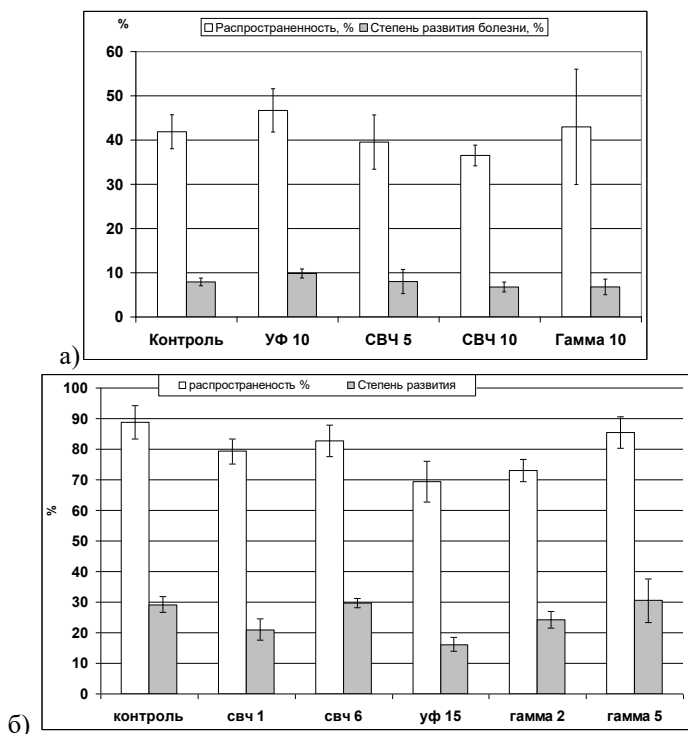


Рис. 3. Распространенность и степень развития парши серебристой после уборки урожая: а) в 2012 году, б) в 2013 году.

Предпосевное ЭМИ облучение клубней картофеля, пораженного различными фитопатогенами, в использованных нами дозах не оказало достоверного отрицательного воздействия в полевом опыте на общую урожайность.

Выводы:

1. Предпосевная СВЧ обработка показала свою эффективность для парши обыкновенной и для парши серебристой в малых экспозиционных дозах (1 кДж/м²), а для кольцевой гнили эффект ингибирования происходил при больших дозах (15 кДж/м²), но максимальный эффект по воздействию на кольцевую гниль в клубне возможен еще при больших значениях СВЧ обработки.

2. Воздействие УФ на паршу серебристую и паршу обыкновенную эффективно и максимального эффекта так же нужно искать в дозах больше 15 кДж/м².

3. Предпосевное ЭМИ облучение клубней картофеля, пораженного различными фитопатогенами, не сказалось отрицательно на общей урожайности.

Список литературы

1. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков/ Б.В. Анисимов, Г.Л. Белов, В.Н. Зейрук и др., М.: Картофелевод, 2007, 272 с.
2. Использование ультрафиолетового излучения для обработки клубней картофеля // Зейналов А.А., Ипатов А.Г., Летова А.Н., Глухов А.П. Доклад Российской академии с.х. наук. 2005. № 2.
3. Лукьянов А. А. Влияние СВЧ- и КВЧ-излучения на гетеротрофных и фототрофных партнеров смешанных культур микроорганизмов. Автореферат диссер. на соискание уч. степени канд. биологических наук. Москва 2007, 24 с.
4. Юсупова Г. Г. Обеспечение микробиологической стабильности и безопасности зерна, продуктов его переработки и хлеба. Автореф. диссер. на соискание уч. степени доктора сельскохоз. наук. Москва, 2008, 36 с.

УДК 633.16:581.14:577.15:539.1.047:632.118.3

ВЛИЯНИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ

Р.С. Чурюкин

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия

e-mail: r.churyukin@mail.ru

Определен диапазон доз и параметры γ -облучения при которых наблюдается стимуляция развития растений ячменя (8-20 Гр, 60 Гр/ч). Изучена реакция семян ячменя на воздействие γ -излучения по морфофизиологическим показателям, оценена динамика изменения ключевых ферментов в проростках. Проведена серия полевых экспериментов по оценке влияния предпосевного γ -облучения на качество и параметры урожая.

Identified the range of doses and the parameters γ -irradiation in which stimulation of barley plants observed (8-20 Gy, 60 Gy/h). Studied the reaction of barley seeds to the impact of γ -radiation on morphophysiological parameters, estimates dynamics of changing the key enzymes in seedlings. Made a series of field experiments to evaluate the effect of pre-sowing γ -irradiation on the quality and yield parameters.

Одной из адаптивных реакций живых организмов на действие ионизирующего излучения в малых дозах является эффект гормезиса. Существование феномена при воздействии на представителей всех царств живой природы разнообразных физических и химических факторов в низких дозах и концентрациях подтверждает множество научных исследований. В тоже время вопрос о механизмах формирования этого эффекта до настоящего времени остается открытым. Это определяет актуальность изучения механизмов формирования эффекта гормезиса и его модификации условиями проведения эксперимента.

В качестве *объекта исследований* выбран яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.), который является важной сельскохозяйственной культурой и хорошо изученным биологическим объектом. *Облучение семян* проводили на установке “ГУР 120” (^{60}Co) (ВНИИРАЭ, Обнинск). Для исследования зависимости доза–эффект использовали дозы 2, 4, 6, 8, 10, 13, 16, 20, 25 и 50 Гр (мощность дозы 20, 60 и 350 Гр/ч). Облученные и контрольные семена проращивали в рулонах фильтровальной бумаги согласно ГОСТ 12038-84 и рекомендациям Р.С. Бабаян. Для оценки активности ферментов использовали дозы 8, 10, 13, 16, 20 и 50 Гр, а для полевого эксперимента дозы 8, 16, 20 и 50 Гр.

Влияние воздействия γ -излучения на всхожесть, длину корня и роста

Исследование зависимости доза–эффект по показателям длина корня и длина ростка было выполнено в трех независимых экспериментах на двух сортах ячменя (Нур и Грейс). Был исследован широкий диапазон доз: 2–50 Гр. Качественный характер кривых по обоим показателям – длина корня и длина ростка – полностью воспроизвелся в трех независимых экспериментах на двух сортах ячменя, а максимальное проявление эффекта гормезиса во всех этих случаях наблюдалось при облучении в дозе 20 Гр. Это указывает на то, что установленная в наших экспериментах форма кривой доза–эффект определяется не случайными флуктуациями, а отражает качественные особенности ответной реакции растений ячменя на радиационное воздействие. Всхожесть семян практически не зависела от дозы во всем исследованном диапазоне. Действие на семена γ -излучения в стимулирующих дозах не вело к их более раннему прорастанию. Показано, что обнаруженное нами увеличение размеров корня и ростка при облучении в стимулирующих дозах происходит за счет увеличения темпов развития, а не более раннего прорастания.

Модификация эффекта облучения мощностью дозы, сортовым качеством семян, их влажностью и сроком хранения

Условия облучения (мощность дозы, сортовое качество семян и их влажность, сроки хранения семян после облучения и др.) могут существенным образом влиять на рост и развитие растений. Действительно, облучение семян как с низкой (20 Гр/ч), так и с высокой

(350 Гр/ч) мощностью дозы не стимулировало развитие корня. Более того, снижение мощности дозы γ -излучения до 20 Гр/ч привело к статистически значимому ингибированию развития корня при дозе 16 Гр. Еще более ярко эта закономерность проявилась в отношении развития ростка: увеличение мощности дозы до 350 Гр/ч вело к статистически значимому ингибированию развития ростка при дозах 13–20 Гр, а снижение мощности дозы до 20 Гр/ч – к ингибированию развития ростка при облучении в дозах 8–20 Гр. Наиболее ярко эффект гормезиса проявлялся у семян более низкого качества. Фактически облучение семян первой репродукции в оптимальной дозе выводило их развитие на уровень, характерный для семян элиты и суперэлиты в контроле. Повышенная влажность, как правило, увеличивает чувствительность семян к облучению. Действительно, облучение семян с влажностью 35–40% даже с оптимальной мощностью дозы 60 Гр/ч вело к статистически значимому подавлению развития как корня, так и ростка. Хранение облученных семян в течении семи дней после облучения в большинстве случаев негативно сказывается на проявлениях стимулирующих эффектов предпосевного облучения.

Анализ активности ферментов

Возникает вопрос о причинах наблюдавшегося в нашем эксперименте статистически значимого ускорения развития проростков, выросших из семян ячменя, облученных в дозах 8–20 Гр. Одно из возможных объяснений данного явления связано с увеличением активности ферментов в проростках, выросших из облученных в стимулирующих дозах семян. Важный фермент окислительного пентозофосфатного цикла, *глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа*, статистически значимо увеличивает активность при дозах 16 и 20 Гр на 3-й день проращивания. На 5-й день проращивания активность фермента в проростках, выросших из облученных дозой 20 Гр семян, была статистически значимо ниже контрольного значения. В остальных вариантах активность Г6ФДГ не отличалась от контроля.

Активность *пируваткиназы* максимальна на 3-й день после облучения и не зависит от дозы хотя резкое увеличение активности при дозе 50 Гр обусловило появление положительной корреляции между дозой облучения и активностью фермента ($r^2 = 0.62, p < 0.05$). Дозы 8 и 13 Гр снижают активность пируваткиназы на 3-й день проращивания. На 5-й и 7-й дни проращивания активность этого фермента в выращенных из облученных семян проростков превышает контрольный уровень, за исключением доз 13 и 50 Гр на 5-й день проращивания. Необходимо отметить, что активность пируваткиназы в проростках как контрольных, так и облученных семян на 5-й и 7-й дни проращивания существенно ниже, чем на 3-й день.

Активность *гваяколовой пероксидазы* на 3-й день проращивания статистически значимо ($r^2 = 0.59, p < 0.05$) возрастает с дозой облучения. На 5-й день проращивания зависимость активности пероксидазы от дозы отсутствует ($r^2 = 0.00001, p > 0.05$), тем не менее, при дозах 13, 16 и 50 Гр активность этого фермента превышает контрольный уровень. В противоположность этому, на 7-й день проращивания все дозы облучения, за исключением максимальной (50 Гр), статистически значимо подавляют активность пероксидазы.

Активность *каталазы*, одного из основных ферментов, участвующих в утилизации перекиси водорода, не демонстрирует зависимости от дозы ($r^2 = 0.23, p > 0.05$, 3-й день; $r^2 = 0.22, p > 0.05$, 5-й день; $r^2 = 0.30, p > 0.05$, 7-й день) и характеризуется широким разбросом значений. Статистически значимое увеличение активности этого фермента было выявлено только на 7-й день проращивания при дозе 16 Гр.

Полевой эксперимент

Так же возникает вопрос о том, как полученное на ранних этапах онтогенеза преимущество реализуется в ходе дальнейшего развития растений и формирования урожая. Таким образом, была проведена оценка динамики роста и развития растений, выросших из облученных семян ячменя, в условиях полевого эксперимента и закономерностей модификации этих процессов условиями произрастания.

По результатам сравнения фаз онтогенеза ячменя в эксперименте 2015 г. следует отметить сокращение фазы «всходы» у семян, облученных перед посадкой дозой 16, 20 и 50 Гр. Облученные этими дозами семена, вероятно, имели преимущество в развитии корневой системы, что привело к более раннему появлению полноценных всходов. Необходимо отметить, что подобное преимущество имели и проростки, выросшие из семян, облученных дозой 50 Гр, которая не относится к стимулирующим, и улучшения морфофизиологических показателей в лабораторных условиях не дала. За счет преимущества в фазе «всходы» у растений наблюдалось более раннее наступление фаз «кущение» и «выход в трубку». Однако фаза колошения у всех облученных семян наступила одновременно. Далее, за счет уменьшения времени прохождения фаз «цветение, молочная, восковая и полная спелость» у растений, выросших из семян, облученных дозой 20 Гр, и фаз «цветение, молочная и восковая спелость» у растений, выросших из семян, облученных дозой 16 Гр, полная спелость у растений наступала на 7 и 5 суток раньше.

Результаты оценки структуры урожая в 2014 г. показали статистически значимое увеличение высоты стеблей растений, выросших из облученных дозой 8 Гр семян. Урожай 2015 г. характеризовался статистически значимым увеличением длины растений при облучении во всем диапазоне доз. Лучшие показатели были у растений, облученных

дозами 8-20 Гр. С увеличением дозы облучения семян масса колосьев и соломы возрастает. Однако статистически значимые различия наблюдаются лишь при облучении дозами 8 (солома) и 20 (колосья) Гр в 2014 г. и при облучении дозой 16 Гр (колосья) в 2015 г. Статистически значимое увеличение массы 1000 зерен было обнаружено у растений, выросших из семян, облученных дозами 16 и 20 Гр в 2014 г. и при облучении дозой 20 Гр в 2015 г.

В 2014 г. зафиксировано увеличение на 37, 34 и 38% урожая растений, выросших из облученных дозами 8, 16 и 20 Гр семян ячменя соответственно, а в 2015 г. - на 8, 29 и 26% при облучении семян дозами 8, 16 и 20 Гр. Обнаруженное увеличение урожая не является статистически значимым, однако то, что увеличение урожайности воспроизвелось в двухлетнем полевом эксперименте при облучении семян одними и теми же дозами, свидетельствует о положительном влиянии предпосевного облучения на величину урожая. Отмеченное нами увеличение урожая произошло за счет увеличения числа продуктивных стеблей и увеличения массы зерна. Результаты выполненного нами биохимического анализа урожая не позволяют сделать вывод о качественном изменении состава зерна и соломы - все исследованные нами показатели состава зерна и соломы находятся в пределах нормы, а аппроксимация данных, полученных в ходе наших полевых экспериментов, моделями «*Brain-Cousens*» и «*Cedergreen-Ritz-Streibig*» в среде математического программирования «*R*», показала что, такие параметры урожая, как длина стеблей, масса 1000 зерен, а так же некоторые другие объединенные результаты, статистически значимо лучше описываются моделями, учитывающими эффект гормезиса.

УДК 502.171; 502.174

ENVIRONMENTAL TECHNICAL SPECIFICATION FOR NUCLEAR POWER PLANTS

Debbabi Khaled

Tunisian Company of Electricity and Gas (STEG) /Nuclear power plant project
e-mail: kdebbabi@steg.com.tn

Keywords: Tunisian Nuclear Power Plant Project- Environmental Impact Assessment

We are currently performing feasibility study for the evaluation of the candidate sites for NPP project. Among the various tasks that are in progress, we are considering carefully the radiological environmental monitoring program.

Implementation of a quality assurance system according to ISO-17025 requirements is an important factor for producing reliable and valid analytical results for radiological environmental monitoring. With this regard, the main pillars of any laboratory quality system are the proper implementation of method validation and estimation of measurement results uncertainty [1]. The results of the radiological environmental monitoring are intended to supplement the results of the radiological effluent monitoring by verifying that the measurable concentrations of radioactive materials and levels of radiation are not higher than expected on the basis of the effluent measurements and modeling of the environmental exposure pathways. Thus, the specified environmental monitoring program provides measurements of radiation and of radioactive materials in those exposure pathways and for those radionuclides which lead to the highest potential radiation exposures of individuals resulting from the station operation. The initial radiological environmental monitoring program should be conducted for the first three years of commercial operation (or other period corresponding to a maximum burnup in the initial core cycle). Following this period, program changes may be proposed based on operational experience [2].

The specified detection capabilities are state-of-the-art for routine environmental measurements in industrial laboratories. Many limiting conditions must be imposed on plant effluents and operating practices which may have an adverse impact upon the environment. Plant discharges and operations which may require a limiting condition for operation should be discussed.

- Thermal
- Hydraulic
- Chemical

- Radioactive Effluents

The objective of the environmental surveillance program is to determine the nature and extent of changes in the ecosystem that may result from plant operation. The program should cover elements of the ecosystem for which a causal relationship between plant operation and adverse change is established or strongly suspected. The listing of environmental parameters to be monitored in the surveillance program in this section is illustrative and not all-inclusive [3]. Periodic evaluation of the findings of the surveillance program will provide the basis for modification of the program to ensure that the surveillance effort is sufficient and justified when compared to current assessment of the effect that plant operation is having on the environment. Any modification of surveillance programs should be accompanied by submission of a formal change in the environmental technical specifications.

References

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Convention on Nuclear Safety, Legal Series No. 16, IAEA, Vienna (1994).
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, INFCIRC/546, IAEA, Vienna (1997).
3. International Atomic Energy Agency, Convention on Nuclear Safety, 5 July 1994, INFCIRC/449, online: www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/Others/inf449.shtml.

УДК 631.821; 63631.438; 63631.445.24; 63631.442.1; 63631.445.124

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТИ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ ПОДВИЖНОСТЬ ^{137}Cs В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПЕСЧАНОЙ И ТОРФЯНОЙ ПОЧВАХ

Н.В. Андреева, Н.В. Белова, В.К. Кузнецов, Н.И. Санжарова

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия

e-mail: nva2803@yandex.ru

В лабораторных вегетационных экспериментах на двух типах почв изучено влияние известкования на накопление ^{137}Cs в ячмене. Биологическая подвижность ^{137}Cs существенно снижалась во всех вариантах опытов. Выявлен значительно больший переход цезия в растения на болотно-торфяной почве по сравнению с дерново-подзолистой супесчаной, что подтверждает выводы предыдущих исследований. Мероприятие имело выраженное последствие – минимальный переход радионуклидов в растения наблюдался на 3-й год.

Одним из наиболее эффективных приемов снижения биологической доступности ^{137}Cs на кислых почвах является известкование, применение

которого снижает переход радионуклида в сельскохозяйственную продукцию в 1,5-5,4 раза [1].

Действие известки основано на нейтрализации кислотности почвенного раствора, вытеснении ионов водорода из почвенно-поглощающего комплекса и насыщении его кальцием [2].

Известковые удобрения слабо растворяются и медленно взаимодействуют с почвой, благоприятная реакция среды после их внесения устанавливается не сразу, поэтому действие известки на улучшение почвенных характеристик проявляется постепенно [3]. Максимальный эффект наблюдается только на второй или на третий год после внесения известки.

Исследования показали, что при внесении известковых удобрений изменялись агрохимические показатели почвы (снизилась кислотность почвенного раствора, повысилась сумма обменных оснований, увеличилось содержание обменного кальция), что в свою очередь отразилось на распределении форм ^{137}Cs в почве: уменьшилось содержание радионуклида в обменной форме, и возросла доля радионуклида в фиксированном состоянии. Таким образом, известка оказывает влияние на подвижность и доступность радионуклидов для растений. Точный механизм этих процессов недостаточно ясен.

Целью данной работы является изучение механизмов, происходящих в почве при внесении агромелиорантов и их влияние на поведение радионуклидов в различных экосистемах.

Исследования проводили в вегетационном опыте на двух типах почв: дерново-подзолистой супесчаной и на болотно-торфяной почвах в сосудах вместимостью 3 кг и 1,5 кг соответственно, в 3-х кратной повторности. Агрохимические характеристики почвы: для дерново-подзолистой супесчаной $\text{pH}_{(\text{КСI})} - 5,7$; гидролитическая кислотность $- 1,9$ мг-экв/100г; подвижный фосфор 10,2 мг/100г; обменный К $- 0,31$ мг-экв/100г; обменный Mg $- 0,7$ мг-экв/100г; обменный Ca $- 2,67$ мг-экв/100г; сумма обменных оснований $- 3,5$ мг-экв/100г, гумус 1,8%; болотно-торфяной соответственно: $\text{pH}_{(\text{КСI})} - 4,78$; гидролитическая кислотность $- 26,2$ мг-экв/100г; подвижный фосфор 13,1 мг/100г; обменный К $- 0,13$ мг-экв/100г; обменный Mg $- 0,8$ мг-экв/100г; обменный Ca $- 4,0$ мг-экв/100г; сумма обменных оснований $- 17,1$ мг-экв/100г, органическое вещество 25,5%.

^{137}Cs был внесен в виде азотнокислого раствора в количестве $56,4 \cdot 10^4$ Бк/сосуд. Удельная активность ^{137}Cs в почве составляла $18,8 \cdot 10^4$ Бк/кг для дерново-подзолистой и $37,6 \cdot 10^4$ для болотно-торфяной.

Агромелиоранты были внесены в почву через 2 недели после внесения радионуклида. Известку вносили в виде доломитовой муки.

Схема опыта: 1. Контроль без NPK; 2. Контроль фоновый (N70P70K70); 3. Известкование (0,5 Нг)+фон; 4. Известкование (1 Нг)+фон; 5. Известкование (2 Нг)+фон.

В опыте использовался ячмень сорта «Зазерский-85». Влажность почвы в вегетационных сосудах поддерживалась на уровне 60% от полной влагоемкости. Известь внесли в начале опыта и в течение трех лет оценивали ее последствие. Внесение фоновых доз минеральных удобрений проводилось ежегодно.

Определение различных форм нахождения радионуклидов в почве проводилось путем последовательных вытяжек.

Основные агрохимические показатели определялись общепринятыми методами: pH_{KCl} – потенциметрическим методом; гидrolитическую кислотность – по Каппену; содержание гумуса – по Тюрину; сумму обменных оснований – по методу Каппена-Гильковича, содержание подвижного фосфора и калия – по Кирсанову [4].

В образцах почв и растений гамма-спектрометрическим методом определяли содержания ^{137}Cs на программируемой спектрометрической системе на базе многоканального программируемого анализатора типа IN-1200 фирмы "Интертехника" в сочетании с полупроводниковым детектором из сверхчистого Ge (High PG) с энергетическим разрешением 1,8 КэВ по γ - линии 1332 КэВ радионуклида ^{60}Co . Ошибка измерений составляет не более 10%.

Концентрацию стабильных элементов K, Ca, Mg измеряли методом атомной абсорбции в воздушно-ацетиленовом пламени на приборе Varian SpectrAA 250+.

Для оценки накопления ^{137}Cs в растениях рассчитывался коэффициент накопления ^{137}Cs как отношение накопления цезия в растениях к его содержанию в почве: $K_n = (B_k / \text{кг растения}) / (B_k / \text{кг почвы})$.

Для оценки распределения радионуклида определяли коэффициент распределения (K_p) между твердой и жидкой фазами почв, который характеризует поведение радионуклида в системе почва-раствор.

Статистическая обработка информации проводилась при помощи «Excel'00» и «Статистика 5.5». Для оценки взаимной связи параметров почв и влияния их на переход радиоцезия в растения рассчитывались коэффициенты парной корреляции между показателями.

Абсолютные значения K_n во всех вариантах опыта значительно выше на торфяной почве, чем на дерново-подзолистой табл.1.

Внесение известки заметно снижает переход ^{137}Cs в растения, причем эффективность мелиоранта выше на второй и третий год опыта. При внесении максимальной дозы известки в дерново-подзолистую почву накопление радионуклида в соломе ячменя снижалось в 1,3 раза по сравнению с фоновым вариантом в первый год, а во второй и третий год – в 1,5 раза.

Действие известкования на торфяной почве было меньше и последствие агро-мелиоранта ниже, чем в первый год внесения. Это можно объяснить тем, что на торфяных почвах известкование усиливает разложение органического вещества, которое является фактором,

препятствующим фиксации ^{137}Cs в следствии экранизации поверхности минеральных частиц, а также образования Cs-органических соединений, которые могут быть более доступны для растений.

Таблица 1 – Динамика Кн в соломе на разных типах почвы

Вариант	Кн1	Кн2	Кн3
дерново-подзолистая глеевая супесчаная почва			
Контроль без NPK	1,097±0,12	0,92±0,08	0,833±0,167
Контроль с NPK	1,022±0,596	0,75±0,29	0,617±0,123
CaCO ₃ - 0,5Нг	0,960±0,054	0,66±0,14	0,589±0,118
CaCO ₃ - 1Нг	0,915±0,084	0,535±0,01	0,436±0,087
CaCO ₃ - 2Нг	0,749±0,017	0,515±0,02	0,420±0,084
болотно-торфяная почва			
Контроль без NPK	7,73±1,71	1,16±0,28	2,616±0,52
Контроль с NPK	6,82±1,01	1,85±1,24	2,104±0,42
CaCO ₃ - 0,5Нг	3,9±1,5	1,28±0,1	2,269±0,36
CaCO ₃ - 1Нг	6,15±1,22	4,61±1,8	1,961±0,39
CaCO ₃ - 2Нг	4,87±1,0	1,502±0,6	1,654±0,8

И на дерново-подзолистой и на болотно-торфяной почвах известкование приводило к повышению содержания обменных форм калия и кальция, снижению величин Кр, а также уменьшению содержания подвижных форм цезия в почве.

Корреляционный анализ выявил высокое достоверное влияние содержания обменных катионов калия и кальция на существование радиоцезия в доступной и подвижной формах в почве. На дерново-подзолистой почве проявилась прямая зависимость коэффициента перехода в растения от количества обменного кальция и обратная зависимость от калия.

Такие результаты позволяют сделать вывод о различиях в механизме действия извести на двух типах почв. На дерново-подзолистой почве внесение извести способствует снижению доступности радиоцезия путем снижения содержания его подвижных форм в почве за счет фиксации, при этом катионы кальция в почвенном растворе способствуют этому процессу, а свободные катионы калия наоборот, препятствуют.

На болотно-торфяной почве переход радионуклидов в растения зависит от Кр, т.е. от количества прочно сорбированных в твердой фазе радионуклидов, а также от содержания подвижных форм ^{137}Cs в почве. Причем, видимо, на торфяной почве на фиксацию цезия в твердой фазе не влияет концентрация обменного калия и кальция, что показывает отсутствие всяких корреляций между этими параметрами, а вот содержание подвижных форм ^{137}Cs зависит и от извести, и от калия.

Эти результаты объясняются оптимизацией кислотно-щелочного режима почв и соответственно созданием оптимальных условий для растений при внесении извести на дерново-подзолистых почвах. Поэтому определенно можно выявить несколько основных механизмов действия

известии в качестве контрмеры: эффект «разбавления», увеличение количества сорбционных мест за счет фиксации краевых областей крупными катионами кальция и за счет растворения прослоек гидроксида алюминия в минералах группы почвенных хлоритов, конкурентное действие обменного калия при поступлении в растения, насыщения почвенно-поглощающего комплекса катионами кальция, приводящим к снижению активности катионов цезия.

Выявлено и последствие внесения известии на снижение поступления ^{137}Cs в растения. Максимум снижения величины Кп на обоих типах почв пришелся на третий год эксперимента.

Список литературы

1. Алексахин Р. М., Моисеев И. Т., Тихомиров Ф. А. Поведение ^{137}Cs в системе почва-растение и влияние внесения удобрений на накопление радионуклида в урожае. // Агрехимия. – № 8. – 1992. – С. 127–138.
2. Кузнецов В. К., Санжарова Н.И., Аксенова С.П., Котик Ж.А. снижение накопления ^{137}Cs в сельскохозяйственных культурах под воздействием мелиорантов // Агрехимия, 1995, №4. – с.74-79
3. Поникарова Т.М., Ефимов В.Н., Дричко В.Ф., Рябцева М.Е. Роль органического вещества и минеральной части торфов в сорбции радиоцезия // Почвоведение, 1995, №9, с. 1096-1100.
4. Агрехимические методы исследования почв. – М.: «Наука», 1975.

УДК 581.5:577.346+633.321;631.895;631.445.24

НАКОПЛЕНИЕ ^{137}CS В УРОЖАЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СУПРОДИТА М И ГЕОТОНА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

О.Ю. Баланова, А.Н. Ратников

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: animaleco15@rambler.ru

Приведены результаты исследований по влиянию новых видов удобрений СУПРОДИТ М и ГЕОТОН на подвижность ^{137}Cs в урожае.

The results of researches on the impact of new types of SUPRODIT and GEOTON fertilizers on mobility of ^{137}Cs in the yield are presented.

Загрязнение почв радионуклидами техногенного происхождения приводит к увеличению их содержания в сельскохозяйственной продукции, особенно при сокращении объема проведения реабилитационных мероприятий. Получение экологически безопасной продукции на радиоактивно загрязненных пахотных угодьях лимитируется низким уровнем их плодородия [1]. Агрехимические примы в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур,

направленные на повышение плодородия загрязненных ^{137}Cs почв, способствуют снижению накопления радионуклида в продукции растениеводства [2].

Снижение производства и применение минеральных удобрений из-за нестабильной экономической ситуации в стране диктует необходимость изыскания дополнительных средств для поддержания плодородия почв в условиях их радиоактивного загрязнения.

Перспективным приемом сохранения плодородия почв и роста урожайности зерновых культур является применение новых видов агромелиорантов и разработанных на их основе комплексных удобрений. На основе трепела Зикеевского месторождения (Калужская область) и низинного торфа разработано новое комплексное органо-минеральное удобрение - Супродит М, которое защищено патентом Российской Федерации № 242671 [Авторское свид-во. № 19505]. Супродит М содержит: N - 11,4%; P_2O_5 - 12,0%; K_2O - 18,0%; Ca - 0,33%; Mg - 0,9%; Mo - 0,18%; B - 0,14%, органическое вещество от 30-40% и биологически активное вещество - гумат калия.

Для повышения урожайности сельскохозяйственных культур и улучшения плодородия почв в ФГБНУ ВНИИРАЭ был разработан и апробирован совместно со специалистами Калужского института сельского хозяйства органо-минеральный комплекс - Геотон. Геотон представляет собой комплексный универсальный жидкий концентрат темного цвета с содержанием азота (N) - 9-14%, фосфора (P_2O_5) - 23-25%, калия (K_2O) - 23-29%. Содержание органического вещества 32-45%, в том числе гумата калия 9-12%. Геотон не имеет запаха, безвреден при использовании, хорошо растворим в воде, совместим с большинством используемых минеральных удобрений и средств защиты растений. Геотон защищен патентом Российской Федерации № 2490241.

Цель исследований - изучить влияние Супродита и Геотона на продуктивность яровой пшеницы и снижение накопления ^{137}Cs в урожае.

Исследования проводили в вегетационном опыте, который закладывали по общепринятой методике в сосудах, вмещающих 5 кг дерново-подзолистой супесчаной почвы. Почва имела до закладки опыта следующие показатели: pH_{KCl} - 4,8; гидролитическая кислотность - 2,56 мг×экв/100 г почвы; содержание гумуса - 1,12; содержание подвижного фосфора - 86 мг/кг; содержание обменного калия - 74 мг/кг.

Питательные элементы вносили из расчета 0,8 г N, 0,85 г P_2O_5 и 1,25 г K_2O на сосуд. В качестве контроля служил вариант с внесением простых минеральных удобрений в растворимом виде NH_4NO_3 , KH_2PO_4 и K_2SO_4 - $\text{N}_{0,16}\text{P}_{0,17}\text{K}_{0,25}$. Доза внесения Супродита М - 1,5 г/кг почвы, АЗФК (16:16:16) - 1 г/кг почвы. В варианте с азофоской недостающее количество калия добавляли KCl до содержания K_2O - 0,25 г/кг почвы.

Влажность почвы в сосудах в течение вегетации растений поддерживали на уровне 60% от полной капиллярной влагоемкости.

Опытная культура- яровая пшеница, сорт Любава. ^{137}Cs вносили в почву в виде раствора хлорида ^{137}Cs в количестве $93,5 \pm 3,3$ кБк/кг почвы. Обработка вегетирующих растений Геотоном проводилась дважды в фазу выхода в трубку яровой пшеницы и через неделю после первой обработки.

Агрохимические показатели почвы определяли по общепринятым методикам [4]. Содержание ^{137}Cs в почве, растительном материале измеряли методом полупроводниковой гамма-спектрометрии с использованием детектора из сверхчистого германия (HPGe, ORTEC) и анализатора спектра IN1200 (INTERTECHNIQUE, Франция).

Результаты исследований. Применение простых форм минеральных удобрений, содержащих N, P_2O_5 , K_2O в легкодоступной для растений форме (контроль) на слабокультуренной дерново-подзолистой почве, позволило получить максимальный урожай зерна яровой пшеницы – 25,2 г/сосуд (таблица 1). Урожай зерна при использовании СУПРОДИТ М на 7,0% ниже, чем на контроле. При внесении азофоски урожай зерна составляет 70,0% от контроля. Продуктивность яровой пшеницы в варианте с Супродит М на 32,0% выше, чем при внесении Азофоски.

Обработка вегетирующих растений Геотоном оказала влияние на формирование продуктивности: на всех фонах применения минеральных удобрений и Супродит М увеличилась продуктивная кустистость колоса (табл.1).

Таблица 1 – Влияние Супродита М и Геотона на продуктивность яровой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве

Вариант опыта	Масса зерна, г/сосуд	Продукт. кустист., штук растений	Соотн. <u>Зерно</u> <u>Солома</u>	Масса 1000 зерен, г
$\text{N}_{0,16}\text{P}_{0,17}\text{K}_{0,25} + ^{137}\text{Cs}$	25,2	1,3	0,68	42,3
$\text{N}_{0,16}\text{P}_{0,17}\text{K}_{0,25} + ^{137}\text{Cs}$ + обработка Геотоном	29,3	1,4	0,73	46,8
Супродит М(1,5 г/кг) + ^{137}Cs	23,4	1,2	0,74	42,7
Супродит М + ^{137}Cs + обработка Геотоном	27,8	1,3	0,79	45,5
Азофоска+ ^{137}Cs	17,7	1,1	0,65	40,6
Азофоска+ ^{137}Cs + обработка Геотоном	19,6	1,2	0,71	42,8
НСП ₀₅				

Обработка растений Геотоном в варианте с внесением питательных элементов в растворимом виде ($\text{N}_{0,15}\text{P}_{0,16}\text{K}_{0,25}$) привела к увеличению числа зерен в 1 колосе с 21,5 до 24,2, массы зерна с 1 колоса на 0,08-0,25 г. Внесение Супродит М в почву и применение Геотона увеличило число зерен с 1 колоса с 23,4 до 26,1, массу зерна с 1 колоса на 0,09-0,22г по сравнению с вариантом без обработки растений препаратом. Действие Геотона на фоне азофоски проявилось слабее, чем при совместном использовании Супродита М и Геотона: число зерен в колосе возросло с

15,0 до 16,7. Масса 1000 зерен при внесении Супродит М и простых форм минеральных удобрений в растворимом виде на контроле - одинаково (табл. 1).

Масса 1000 зерен в варианте с азофоской на 5,0% ниже, чем при внесении Супродит М. Обработка растений Геотоном повышала размер и выполненность зерна, соотношение зерно/солома как на контроле, так и при внесении Супродит М и азофоски. Масса 1000 зерен с использованием Геотона на контроле увеличилась на 10,6%, в вариантах с Супродит М на 6,5%, на фоне азофоски - 5,4%.

Применение Геотона на фоне $N_{0,15}P_{0,16}K_{0,25}$ обеспечивает повышение урожая зерна на 16,3% по сравнению с вариантом без обработки. Урожай зерна яровой пшеницы на фоне азофоски при обработке вегетирующих растений Геотоном повышался на 11,9%. Соотношение зерно/солома при внесении в почву Супродита М и использовании Геотона возросла с 0,74 до 0,79, а урожай зерна на 18,8% выше, чем в варианте без обработки.

Агрохимические приемы в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур оказывает влияние не только на показатели почвенного плодородия, но и на прочность закрепления радионуклидов в почве [Сельскохозяйственная радиоэкология, 1991].

Биологическая доступность радионуклидов растениям зависит, в первую очередь, от содержания радионуклида в обменной форме, т.е. количества, вытесняемого из почвы растворами нейтральных солей [1].

Применение Супродита М снизило содержание обменного ^{137}Cs в дерново-подзолистой супесчаной почве на 5,1% по сравнению с контролем. Количество подвижного ^{137}Cs (вытяжка 1н HCl) при этом уменьшилось на 8,0%. При внесении Супродита М содержание в почве кислоторастворимого ^{137}Cs (вытяжка 3н HCl) на 3,1%, а доля прочно связанного на 10,0% выше, чем на контроле. Использование азофоски снижает подвижность ^{137}Cs в почве, но в меньшей степени, чем Супродит М. Суммарное количество обменного и подвижного ^{137}Cs в почве в варианте с азофоской на 1,9% ниже, чем на контроле. При этом доля прочносвязанного ^{137}Cs (не извлекается раствором 3н HCl) увеличилась на 1,2%. Снижение подвижности ^{137}Cs в почве при внесении плодородия почвы ведет к ограничению перехода радионуклида из почвы в растения.

Наибольшее содержание ^{137}Cs в зерне и соломе яровой пшеницы отмечено на контроле, где количество обменного и подвижного ^{137}Cs в почве составляет 34,5%. Супродит М снижает поступление ^{137}Cs из почвы в растения по сравнению с контролем в 1,1-1,6 раза. $K_n^{137}Cs$ (Бк/кг раст.)/(Бк/кг почвы) зерном при внесении азофоски в 1,2 раза ниже, чем на контроле. Эффективность Супродита М, обладающего свойствами сорбента, по снижению аккумуляции ^{137}Cs в зерне в 1,3 раза выше, чем азофоски (табл. 2).

Таблица 2 – Коэффициенты накопления и вынос ^{137}Cs с урожаем яровой пшеницы $\text{Кн}^{137}\text{Cs}$ (Бк/кг раст.)/(Бк/кг почвы)

Вариант опыта	$\text{Кн}^{137}\text{Cs}$, $\mu \times 10^{-2}$		Вынос ^{137}Cs с урожаем, Бк/сосуд	
	зерно	солома	зерно	солома
$\text{N}_{0,16}\text{P}_{0,17}\text{K}_{0,25} + ^{137}\text{Cs}$	9,7±0,8	50,0±1,2	240,8	1809,0
$\text{N}_{0,16}\text{P}_{0,17}\text{K}_{0,25} + ^{137}\text{Cs}$ + обработка Геотоном	6,4±0,6	37,8±1,1	181,5	1469,4
Супродит М(1,5 г/кг) + ^{137}Cs	6,2±0,4	43,6±0,4	145,6	1401,3
Супродит М + ^{137}Cs + обработка Геотоном	4,3±0,8	31,7±1,2	126,2	1164,2
Азофоска+ ^{137}Cs	8,3±0,7	55,0±2,5	148,1	1497,8
Азофоска+ ^{137}Cs + обработка Геотоном	5,8±0,5	44,0±5,0	118,3	1237,5
НР ₀₅			13,5	140,0

Применение Геотона в варианте с внесением питательных элементов в растворимом виде приводит к снижению содержания ^{137}Cs в зерне в 1,5 раза, а в соломе - в 1,3 раза. Коэффициент накопления ^{137}Cs зерном при обработке вегетирующих растений Геотоном на фоне Супродита М в 1,4 раза ниже, чем без обработки. Положительный эффект совместного использования Геотона и азофоски по снижению накопления ^{137}Cs составляет в зерне-1,4 раза, в соломе-1,2 раза.

Вынос ^{137}Cs с урожаем яровой пшеницей в зависимости от видов применяемых удобрений составляет 0,24-0,34% от количества радионуклида, находящегося в почве, при этом вынос ^{137}Cs с зерном - 0,02-0,04%. Наибольший вынос ^{137}Cs с урожаем получен на фоне $\text{N}_{0,16}\text{P}_{0,17}\text{K}_{0,25}$ - на контроле. При обработке вегетирующих растений Геотоном вынос ^{137}Cs с зерном и соломой на контроле в 1,4 раза ниже, чем без обработки (табл.2). Различия по выносу ^{137}Cs с урожаем пшеницы при использовании Супродита М и Азофоски недостоверны. Положительный эффект Геотона по снижению выноса ^{137}Cs с урожаем зерна и соломы в вариантах с Супродитом М и азофоской одинаков и составляет 15,4-16,6%.

Применение Супродита М при возделывании яровой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве позволяет уменьшить вынос ^{137}Cs с урожаем зерна в 1,7 раза по сравнению с внесением простых форм минеральных удобрений. Вынос ^{137}Cs с урожаем зерна в варианте с азофоской в 1,8 раза ниже, чем на фоне $\text{N}_{0,16}\text{P}_{0,17}\text{K}_{0,25}$. Обработка посева Геотоном способствует не только повышению урожайности яровой пшеницы, но и приводит к снижению выноса ^{137}Cs с зерном при использовании Супродита М в 1,2 раза, промышленных минеральных удобрений в 1,2-1,3 раза.

Результаты исследований в вегетационном опыте показали, что применение Супродита М при выращивании яровой пшеницы на дерново-подзолистой супесчаной почве позволяет получать зерно с наименьшим содержанием ^{137}Cs . Эффективность Супродита М по снижению

накопления ^{137}Cs в урожае зерна в 1,3 раза выше, чем Азофоски. Обработка вегетирующих растений Геотонном обеспечивает снижение поступления ^{137}Cs в растения и накопления в зерне пшеницы на фоне внесения простых форм минеральных удобрений в 1,5 раза, на фоне Супродита М– в 1,4 раза по сравнению с вариантами без обработки препаратом.

Список литературы

1. Сельскохозяйственная радиоэкология (под ред. Алексахина Р.М., Корнеева Н.А.). М.: Экология, 1991.- 396 с.
2. Белова Н.В., Кузнецов В.К., Санжарова Н.И. и др. Применение органических удобрений на радиоактивно загрязненных угодьях. Плодородие №1,2007, стр.37-39.
3. Авторское свидетельство № 19505 на Супродит М от 22.05.2012г о депонировании произведения - результата интеллектуальной деятельности
4. Практикум по агрохимии/ Под ред. академика РАСХН Минеева В.Г. М.: Изд-во Московского университета, 2001.

УДК 004.4

МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКАЯ БАЗА ДАННЫХ - АРХИВ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ (АРДЭКС)

В.В. Володин, Р.И. Мироненко, В.Г. Епимахов

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: VolodinV94@ya.ru

Представлено описание базы данных (БД) «АРДЭКС», предназначенной для накопления, систематизации, обобщения и анализа информации по воздействию ионизирующих излучений, миграции и действию радионуклидов и тяжелых металлов на компоненты агроэкосистем в модельных экспериментах и полевых исследованиях с учетом различных сопутствующих факторов

The abstract presents the description of database “ARDEKS” designed for accumulation, systematization and analysis of information on the effects of ionizing radiation, migration and impact of radionuclides and heavy metals to the components of agroecosystems in model experiments and field studies with consideration for various associated factors.

Для выполнения работ на современном уровне в разных областях радиобиологии и агроэкологии все большее применение находят информационные технологии и компьютерные средства обработки данных, такие как системы управления базами данных, базы знаний, геоинформационные, информационно-справочные и информационно-

поисковые базы данных. На протяжении многих лет во ВНИИРАЭ проводится работа по сбору информации о действии ионизирующих излучений, радионуклидов и тяжелых металлов на растения, животных и микробиоценозы. Результаты этой деятельности представлены в 11 базах данных, на которые получены свидетельства о государственной регистрации:

- Миграция тяжелых металлов в системе почва – сельскохозяйственные растения;
- Миграция радионуклидов в системе почва – сельскохозяйственные растения;
- Миграция радионуклидов в системе рацион – сельскохозяйственные животные;
- Миграция тяжелых металлов в системе рацион – сельскохозяйственные животные;
- Воздействие тяжелых металлов на сельскохозяйственные растения;
- Воздействие тяжелых металлов на сельскохозяйственных животных;
- Действие электромагнитных излучений разных диапазонов на сельскохозяйственные растения;
- Воздействие ионизирующих излучений на сельскохозяйственных животных;
- Воздействие ионизирующих излучений на сельскохозяйственные растения;
- Воздействие тяжелых металлов на почвенный микробиоценоз;
- Воздействие ионизирующих излучений на почвенный микробиоценоз

Для обеспечения доступа пользователей к информации, представленной в перечисленных базах данных, при помощи программного пакета Microsoft Access разработана многопользовательская база данных АРДЭКС (Архив Данных Экспериментов), главной особенностью которой является работа в сети.

БД «АРДЭКС» - это программный продукт, который включает в себя собственно библиотеку разных экспериментов, набор процедур, позволяющий проводить соответствующую обработку результатов этих исследований и большое количество справочников (41). БД предназначена для научных сотрудников, занимающихся планированием и проведением экспериментов, аналитиков, специалистов по обобщению и анализу научной информации, руководителей научных проектов. Разрабатывается во ВНИИРАЭ и по состоянию на 1 июня 2016 года содержит 93000 записей по 1400 документам, с каждым годом дополняется и растет.

Хотя в большинстве случаев описания проведения экспериментов и обсуждения их результатов можно найти в опубликованных документах (книгах, монографиях, статьях), а некоторые документы можно найти в Интернете, вряд ли эта информация будет отличаться полнотой сведений,

надежностью и достоверностью без подробного описания проведения экспериментов. На этот счёт альтернативы АРДЭКС нет, поскольку БД включает в себя огромный массив тщательно отобранных, уникальных по выполнению научно-исследовательских работ с подробным их описанием, в том числе из фонда ВНИИРАЭ, в котором за много лет накопилось достаточно много источников информации, которые ждут своего часа для обработки, анализа и переосмысления.

Вся информация в базе АРДЭКС надежна и достоверна. Организация и структура базы предоставляют возможность оперативного её пополнения и предоставления новой информации для научных сотрудников. Предусмотрены возможности для быстрого поиска необходимых данных и их анализа. Накопление результатов научных исследований в АРДЭКС позволяет делать их оценку, анализ и обобщение, изучать представленный материал, получать дополнительные знания и сведения.

Практически все разработчики научных поисковых систем сталкиваются с необходимостью расширения возможностей своих проектов. Чтобы добиться этого, иногда приходится полностью менять технологию построения и структуры базы и практически создавать БД заново. Всё зависит от того, насколько правильно и грамотно была поставлена перед разработчиком задача создания подобной базы, насколько она ориентирована на конечного пользователя и предусмотрен ли удобный интерфейс работы с ней, будет ли она многопользовательской.

При создании АРДЭКС разработан удобный и понятный для пользователей интерфейс, что значительно упрощает работу с БД. Предусмотрена возможность расширения АРДЭКС путем добавления новых БД с использованием макетов операторских форм ввода данных и разработанных таблиц-справочников с большим количеством информации по радиобиологическим тематикам.

Наряду с этим в АРДЭКС реализованы такие возможности как:

- регистрация пользователей. Учет пользователей и их рост является количественной объективной оценкой предназначения АРДЭКС;

- разные уровни доступа в БД. Поскольку база данных располагает важными экспериментальными данными и доступ к этой информации предоставлен для достаточно большого количества пользователей для защиты и сохранения целостности АРДЭКС предусмотрены уровни доступа для пользователя, оператора и администратора;

- журнал учета посетителей. Просмотр и анализ посещаемости БД служит основанием обеспечения функционирования АРДЭКС, необходимости её существования, развития и пополнения научно-технической информацией.

К преимуществам АРДЭКС можно отнести:

- уникальность информационного массива;

- сотни документов: статьи, брошюры, книги, публикации, монографии, отчеты;
- доступ - оперативно и достоверно;
- непрерывное поступление новых документов;
- удобный интерфейс позволяет легко и быстро находить необходимые документы по запросу и подробно анализировать полученную информацию;
- надежная система, отвечающая всем требованиям, предъявляемым к программному обеспечению.
- качественный сервис направлен на максимальное удовлетворение потребностей пользователей и быстрое решение любых вопросов, связанных с функционированием БД.

Дальнейшая работа базы АРДЭКС покажет необходимость внесения или расширения новых возможностей, что позволит повысить её быстродействие, расширит функциональность этой системы и существенно облегчит работу пользователей.

УДК 631.438:631.445

ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ⁹⁰Sr В РАСТЕНИЯ

И.В. Гешель, Д.В. Крыленкин

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: igeshel@yandex.ru

Изучено влияние различных доз сернокислого аммония на подвижность ⁹⁰Sr в дерново-подзолистой почве и его биологическую подвижность. Применение азотного удобрения привело к изменению почвенных характеристик и, как следствие, к увеличению содержания доступных форм ⁹⁰Sr в почве, что вызвало увеличение накопления радиостронция в проростках ячменя.

The influence of various ammonium sulphate rates on ⁹⁰Sr mobility in sod-podzolic soil and its biological mobility has been studied. The application of the nitrogen fertilizer has led to change in soil characteristics and, therefore, increase in content of available ⁹⁰Sr forms in soil, which has caused increase in radiostrontium accumulation in barley germs.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС в зону загрязнения попали территории полей, почвенный покров которых представлен преимущественно дерново-подзолистыми почвами, характеризующимися низкой обеспеченностью элементами минерального питания и, в первую очередь, азотом. В связи с этим возделывание сельскохозяйственных

культур на этих почвах невозможно без использования азотных удобрений. Однако, в ряде исследований было показано, что применение азотных удобрений приводит к увеличению перехода радионуклида в сельскохозяйственную продукцию. В связи с этим на радиоактивно-загрязненных территориях должны быть определены виды удобрений, в наименьшей степени влияющие на переход радионуклида, а также установлены их оптимальные дозы.

В данном исследовании в качестве азотного удобрения было выбрано часто применяемое в агрономии удобрение – аммоний сернокислый.

Исследования по изучению подвижности ^{90}Sr и его биологической доступности при применении азотных удобрений проводились на дерново-подзолистой легкосуглинистой крупнопылеватой-песчаной почве со следующими агрохимическими характеристиками: $\text{pH}_{\text{кел}}$ – 6,9; гидролитическая кислотность по Каппену – 2,06 мг-экв/100 г; сумма обменных оснований по Каппену – 5,3 мг-экв/100 г; обменный калий и фосфор по Кирсанову – 105,0 и 165,9 мг/кг соответственно; гумус по Тюрину – 1,7 %.

^{90}Sr был внесен в виде раствора соли SrCl_2 из расчета 19 КБк/кг. Далее почва инкубировалась в течение 14 дней для достижения равновесия между ^{90}Sr и ^{90}Y .

Сернокислый аммоний вносился по следующей схеме: контроль, 25, 50, 100, 200 мг/кг. Влажность почвы поддерживали на уровне 60% ППВ.

Модельный эксперимент проводился в сосудах вместимостью 1 кг воздушно-сухой почвы по общепринятой для почвенных культур методике в контролируемых условиях (температура, влажность воздуха). Повторность опыта 4-х кратная. Опытная культура – ячмень сорта Зазерский 85. Пророщенные семена высевали из расчета 25 штук на сосуд. Через 21 день растения срезали, высушивали при температуре 105°C и размалывали.

Для определения форм нахождения радионуклидов в почве (водорастворимая, обменная и кислоторастворимая) использовали метод последовательных вытяжек.

Анализ результатов определения агрохимических характеристик показывает, что внесение азотного удобрения приводит к увеличению кислотности почвы (табл. 1).

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почвы

Форма азотного удобрения	доза N мг/кг	$\text{pH}_{\text{кел}}$	Легкогидр. азот мгN/кг	Обменные формы катионов			
				Ca	Mg	Na	K
				мг-экв/100г			
контроль	0	5,28	36,60	4,81	0,36	0,48	0,29
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	25	5,40	43,84	4,03	0,38	0,6	0,24
	50	5,25	43,28	4,14	0,52	0,51	0,22
	100	4,80	67,79	4,11	0,43	0,65	0,22
	200	4,83	135,16	4,33	0,41	0,54	0,20

Серноокислый аммоний оказывает влияние на снижение содержания обменного кальция, но практически не влияет на содержание обменного калия.

Внесение удобрения привело к изменению содержания легкогидролизуемого азота в почве. Анализ данных показывает, что максимальное увеличение содержания легкогидролизуемого азота (в 3,7раз) характерно для варианта с внесением $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в дозе 200 мгN/кг.

Изменение физико-химических свойств почвы, вызванное применением различных доз азотного удобрения, оказывает влияние на состояние ^{90}Sr в почве. При внесении $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в дозе 200 мгN/кг происходит увеличение содержания ^{90}Sr в водорастворимой форме в 56 раз по сравнению с контролем (табл. 2). Полученные результаты подтверждают литературные данные об увеличении содержания водорастворимого радиостронция с уменьшением pH почвы. Коэффициент корреляции между содержанием радионуклида в водорастворимой форме и pH составляет $R^2 > 0,63$.

Таблица 2 – Содержание различных форм ^{90}Sr в дерново-подзолистой почве при внесении удобрения, % от внесенного

Азотное удобрение	доза N мг/кг	водорастворимая	обменная	подвижная
Контроль		0,2	74,0	24,0
N_a $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	25	1,3	51,8	21,8
	50	2,6	56,3	27,1
	100	4,6	61,7	32,0
	200	11,2	54,6	28,0

^{90}Sr относится к группе элементов с обменным типом поведения. Во всех вариантах опыта радионуклид находится в почве преимущественно в обменной форме. Применение изучаемого удобрения приводит к снижению содержания обменной формы в 1,2-1,4 раза по отношению к контролю. Снижение содержания радионуклида в обменной форме вероятно связано с изменением катионного состава почвенного раствора, в частности с увеличением концентрации NH_4^+ . Преобладающим механизмом поглощения ^{90}Sr твердой фазой почв является ионный обмен; в связи с этим сорбция ^{90}Sr зависит от присутствия макроконцентраций катионов в почвенном растворе. Установлен следующий ряд влияния конкурирующих катионов на сорбцию ^{90}Sr : $\text{Al}^{3+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Ba}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$. Таким образом, увеличение концентрации ионов NH_4^+ обуславливает снижение доли обменного ^{90}Sr в почвах.

В результате проведенного эксперимента было выяснено, что концентрация азота в почвенном растворе существенно влияет на коэффициент распределения ^{90}Sr . Резкое снижение Kd наблюдается даже при внесении небольших концентраций азотного удобрения.

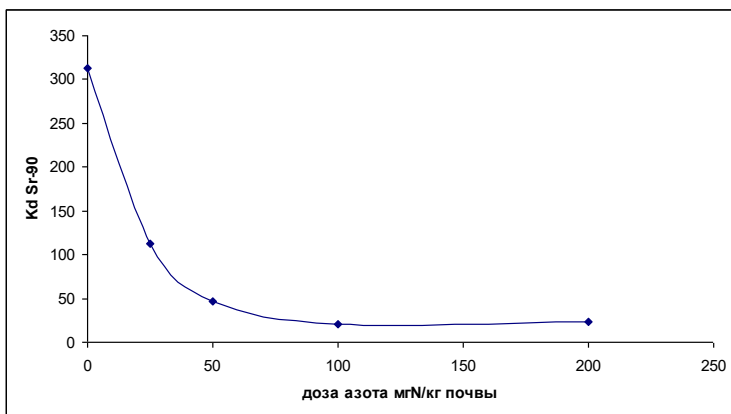


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента распределения K_d ^{90}Sr от дозы внесенного N

Продуктивность является интегральным показателем, отображающим влияние свойств почв на развитие растений и эффективность применения удобрений. Анализ результатов показывает, что применение сернокислого аммония приводит к снижению биомассы ячменя (табл. 3). Это объясняется высокой чувствительностью ячменя к подкислению почвенного раствора.

Таблица 3 – Влияние различных доз сернокислого аммония на биомассу проростков ячменя и коэффициент накопления ^{90}Sr

Доза азота мгN/кг почвы	Биомасса ячменя г/сосуд	КН ^{90}Sr
0	5,8	$10,88 \pm 1,69$
25	4,0	$15,08 \pm 2,33$
50	3,7	$15,54 \pm 1,04$
100	3,2	$20,99 \pm 0,91$
200	5,3	$16,56 \pm 1,32$

Полученные данные свидетельствуют о том, что азотные удобрения способствуют увеличению накопления ^{90}Sr в 1,3–2 раза. Вероятнее всего это связано с изменением почвенных характеристик, в первую очередь рН. Корреляционный анализ показывает, что между значениями КН и рН, Кн и Kd существует очень сильная корреляционная связь $R^2 = 0,5267$ и $R^2 = 0,7262$, соответственно.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что на дерново-подзолистых почвах внесение азотных удобрений в виде сернокислого аммония приводит к изменению почвенных характеристик и, как следствие, к увеличению содержания доступных форм ^{90}Sr в почве. В результате наблюдается увеличение накопления радионуклида в 21-дневных проростках ячменя. При недостатке азота в почве снижается урожай, но, с другой стороны, применение только азотных удобрений усиливает накопление не только радионуклида, но и нитратов в злаковых

травах. Таким образом, стратегии восстановления почв, загрязненных радионуклидом в результате антропогенного воздействия, должны быть сосредоточены на улучшении сорбционных свойств почв и регулировании состава почвенного раствора, чтобы обеспечить необходимый состав и концентрацию веществ, конкурирующих с радионуклидами при поглощении корневыми системами. Опыт реабилитации сельскохозяйственных земель после аварии на Чернобыльской АЭС показал, что необходимо применять азотные удобрения в оптимальных дозах и в комплексе с фосфорно-калийными удобрениями.

УДК 332.3

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ КАДАСТРОВОЙ СТОИМОСТИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ (НА ПРИМЕРЕ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ)

И.Ю. Гулина, А.Н. Ратников, А.В. Панов

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: 4_irishka@mail.ru

Представлена методология расчета кадастровой стоимости радиоактивно загрязненных территорий. Проведена оценка кадастровой стоимости сельскохозяйственных угодий, загрязненных радионуклидами, на примере Брянской области. Рассчитана кадастровая стоимость пашни, сенокосов и пастбищ Красногорского района, используемых для сельскохозяйственного производства.

The methodology of calculation of the cadastral value of the radioactive contaminated lands is presented. The assessment of cadastral value of the agricultural lands, contaminated by radionuclides, on the example of the Bryansk region is carried out. The cadastral value of arable land, hayfields and pastures of the Krasnogorsk district, used for agricultural production, is calculated.

Общая методология расчета кадастровой стоимости земель базируется на расчете нормативной урожайности и нормативных затрат на возделывание сельскохозяйственных культур, при этом формируется оптимальный оценочный севооборот, главным критерием которого является максимальная экологичность и доходность.

В соответствии с Правилами проведения государственной кадастровой оценки земель, такая оценка земель сельскохозяйственного

назначения рассчитывается доходным подходом [1]. Формула расчета кадастровой стоимости земель:

$$КС = \frac{(V_n \times PC - TZ - ЗПП - ПП),}{КК}, \quad (1)$$

где: $КС$ – кадастровая стоимость земельного участка (руб./га); V_n – нормативная урожайность сельскохозяйственных культур; PC – рыночная стоимость сельскохозяйственных культур; TZ – затраты на возделывание сельскохозяйственных культур, определяемые на основе технологических карт; $ЗПП$ – затраты на поддержание плодородия почв; $ПП$ – прибыль предпринимателя, определяется по субъекту РФ на основании данных доходности сельскохозяйственного производства по материалам Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, Министерства экономического развития Российской Федерации и запросам в территориальный орган Федеральной службы государственной статистики; $КК$ – коэффициент капитализации. Определение величины коэффициента капитализации осуществляется методами кумулятивного построения и рыночной экстракции. Коэффициент капитализации, определенный методом кумулятивного построения, включает безрисковую ставку и риск, связанный с ведением сельского хозяйства.

Нормативная урожайность (V_n) зерновых культур рассчитывается по формуле:

$$V_n = 33,2 \times 1,4 \times \frac{АП}{10,0} \times K1 \times K2 \times K3 \times K4 \quad (2)$$

где: $АП$ – величина агроклиматического потенциала ($АП$) по агроклиматической подзоне для зерновых культур; 10,0 – базовое значение величины $АП$; 33,2 – нормативная урожайность (ц/га) зерновых культур на эталонной почве, соответствующая нормам зональных технологий при базовом значении $АП$ (10,0); 1,4 – коэффициент пересчета на уровень урожайности при интенсивной технологии возделывания культур; $K1 \dots K4$ – поправочные коэффициенты: $K1$ – на содержание гумуса в пахотном слое; $K2$ – на мощность гумусового горизонта; $K3$ – на содержание физической глины в пахотном слое; $K4$ – на негативные свойства почв [2,3].

Коэффициенты $K1$, $K2$, $K3$ разработаны с использованием материалов IV тура экономической оценки земель.

При расчете кадастровой стоимости земель по формуле 1 для радиоактивно загрязненных территорий Брянской области использовались следующие региональные показатели:

$ПП$ – прибыль предпринимателя территории Брянской области; величину прибыли предпринимателя приняли равной 10%.

$КК$ – коэффициент капитализации для Брянской области принят равным 10%.

Расчетный уровень продуктивности земель установлен на основе урожайности зерновых культур по интенсивным зональным технологиям с коэффициентом освоенности технологии 0,7 (коэффициент определен по материалам Госсортсети);

U_n – переход от нормативной урожайности зерновых к нормативной урожайности других сельскохозяйственных культур проводился в соответствии с применением коэффициентов перевода.

PC – рыночные цены реализации сельскохозяйственных культур в Брянской области были взяты следующие (по данным на 2015 г.): зерновые культуры – 790 руб./ц, картофель – 940 руб./ц, сено – 350 руб./ц.

В качестве объектов оценки были выбраны 3 зональные почвы, наиболее широко распространенные в радиоактивно загрязненных юго-западных районах Брянской области:

1) Дерново-подзолистые песчаные, супесчаные почвы с содержанием гумуса – 1,5%, мощностью гумусового горизонта – 15 см, содержанием физической глины – 19%.

2) Дерново-подзолистые легко-, среднесуглинистые почвы с содержанием гумуса – 2,5%, мощностью гумусового горизонта – 15 см, содержанием физической глины – 30%.

3) Торфяно-болотные почвы.

Изменения кадастровой стоимости сельскохозяйственных угодий на основании базовых показателей Брянской области, территория которых загрязнена ^{137}Cs в результате аварии на ЧАЭС, представлены в таблице 1 для основных типов почв и сгруппированы по видам производимой продукции (растениеводство, кормопроизводство) [4].

Таблица 1 – Изменение кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения Красногорского района Брянской области при радиоактивном загрязнении, руб./га (%)

Почвы	Плотность загрязнения ^{137}Cs , кБк/м ²	Величина кадастровой стоимости, руб./га (%)	
		использование под пашню	использование под кормовые угодья
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	37-185	не рентабельно	40200 (100%)
	185-555	не рентабельно	33300 (82%)
	555-740	не рентабельно	22200 (56%)
Дерново-подзолистые суглинистые	37-185	32600 (100%)	63900 (100%)
	185-555	22400 (69%)	48700 (77%)
	555-740	не рентабельно	37800 (60%)
Торфяные	37-185	95200 (100%)	105700 (100%)
	185-555	83400 (87,6%)	88500 (84%)
	555-740	37300 (39,1%)	71200 (67%)

Кадастровая стоимость сельскохозяйственных земель, подвергшихся воздействию от аварии на Чернобыльской АЭС, рассчитывалась для Красногорского района Брянской области и включала определение

удельных показателей их кадастровой стоимости, а также определение кадастровой стоимости земельных участков (удельный показатель, умноженный на площадь), занятых под сельскохозяйственное производство.

Кадастровую стоимость сельскохозяйственных угодий, загрязненных радионуклидами, рассчитали для пашни на основе зонального севооборота (зерновые, картофель, однолетние травы), и для участков пастбищно-сенокосного использования (многолетние травы).

Проведенные расчеты на региональном уровне показали, что кадастровая стоимость 1 га пашни, загрязненной ^{137}Cs , в Красногорском районе варьирует в пределах 23-59 тыс. руб. в зависимости от уровней радиоактивного загрязнения и характеристик почвенного покрова (табл. 2).

Таблица 2 – Кадастровая стоимость сельскохозяйственных угодий в хозяйствах Красногорского района Брянской области

Хозяйство	Средняя удельная кадастровая стоимость пашни, тыс. руб./га	Кадастровая стоимость всей пашни, млн. руб.	Средняя удельная кадастровая стоимость сенокосов и пастбищ, тыс. руб.	Кадастровая стоимость всех сенокосов и пастбищ, млн. руб.
СПК Большевик	44,85	84,77	81,78	112,36
СПК Вернигор	52,09	167,22	83,87	83,03
СПК Грибанова	23,12	58,27	75,49	98,14
СПК Ерченко	59,34	163,53	85,96	137,97
СПК Ефименко	52,09	50,43	83,87	61,81
СПК Кожемяко	52,09	84,60	83,87	98,97
СПК Красногорская	30,37	52,23	77,59	127,09
СПК Лотаки	52,09	88,66	83,87	62,48
СПК Нива	59,34	87,46	85,96	145,97
СПК Прогресс	52,09	240,47	83,87	121,02
СПК Родина	52,09	83,61	83,87	48,56
СПК Рудая	37,61	63,90	79,68	23,27
СПК Танцуй	23,12	58,36	75,49	113,31
СПК Чапасава	37,61	113,01	79,68	90,36
СПК Шлома	44,85	104,68	81,78	149,65

Расчитанная кадастровая стоимость всех участков, занятых под пашню в каждом хозяйстве Красногорского района варьирует в диапазоне 50-240 млн. руб.

Кадастровая стоимость 1 га радиоактивно загрязненных сенокосов и пастбищ в Красногорском районе на дерново-подзолистой суглинистой почве составляет около 75 тыс. руб., а на дерново-подзолистой песчаной почве несколько выше – 86 тыс. руб. Рассчитанная кадастровая стоимость всех радиоактивно загрязненных участков, используемых в

Красногорском районе под сенокосы и пастбища, варьирует для каждого хозяйства в пределах 23-150 млн. руб.

Список литературы

1. Ратников А.Н., Сапожников П.М., Санжарова Н.И., Свириденко Д.Г., Жигарева Т. Л., Попова Г.И., Панов А.В., Козлова И.Ю. Методика оценки кадастровой стоимости радиоактивно загрязненных земель сельскохозяйственного назначения / Свидетельство о депонировании результата интеллектуальной деятельности №22521 от 18.02.2015 г.
2. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации (под общей редакцией: Сапожникова П.М., Носова С.И.). Москва: ООО «НИПКЦ Восход – А», 2012.
3. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения. 3 тур. (под общей редакцией: Сапожникова П.М., Носова С.И.). Москва: НП «Кадастр-оценка», 2011.
4. Методические указания по оценке кадастровой стоимости радиоактивно загрязненных земель сельскохозяйственного назначения, Обнинск, 2013 г. 47 с.

УДК 57.084.2; 581.5; 574.2

ИЗУЧЕНИЕ РЕПРОДУКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КЛЕВЕРА, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ЦЕНТРА ПО ОБРАЩЕНИЮ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

О.А. Гусева¹, А.А. Удалова^{1,2}

1 – ИАТЭ НИЯУ «МИФИ», г. Обнинск, Россия

2 –ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия

1. e-mail: gusevakseniya.2010@mail.ru

Изучены репродуктивные показатели клевера гибридного, произрастающего в условиях хронического внешнего облучения. Достоверное снижение энергии прорастания и всхожести семян обнаружено в трех местообитаниях из восьми, однако, корреляция с МЭД не выявлена. Острое провокационное облучение семян клевера в дозе 1700 Гр привело к снижению репродуктивных показателей, т.е. радиоадаптация в изученных популяциях отсутствует.

Reproductive indexes are studied in clover populations experiencing external chronic radiation exposure. Significant decrease of germination energy and germination rates is found in three of eight variants, but there is no correlation with exposure dose rates. Acute provocative irradiation of seeds at 1700 Gy inhibits both reproductive indexes, which means an absence of radioadaptation in clover populations.

Развитие атомной промышленности создает опасность радиоактивного загрязнения окружающей среды, в случае которого радиационному воздействию могут подвергаться все живые организмы, в первую очередь – растения, которые нередко произрастают в непосредственной близости к радиационно-опасным объектам. В данной работе исследования проводились в зоне влияния такого радиационно-опасного предприятия – Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами (ДВЦ «ДальРАО»). Хроническое воздействие ионизирующих излучений на растения на этой территории происходит как в результате попадания радионуклидов в почвы на технической площадке контрольного пункта радиационной защиты (КПРЗ) предприятия, так и вследствие внешнего облучения вблизи хранилища радиоизотопных термоэлектрических генераторов (РИТЭГов). В предыдущих работах, выполненных на ДВЦ «ДальРАО», было обнаружено снижение фертильности пыльцы у фиалки восточной и нарушение стабильности развития клевера ползучего [1], а также повышенная цито- и генотоксичность подземных вод в ряде контрольных скважин на территории предприятия [2].

При изучении влияния облучения на фитоценозы одним из важных показателей последствий радиационного воздействия является состояние репродуктивной функции растений, от которой напрямую зависит уровень воспроизводства потомства, его жизнеспособность и дальнейшее существование популяции. Поэтому целью настоящей работы являлось изучение энергии прорастания и всхожести семян клевера из природных популяций, подвергающихся хроническому радиационному воздействию на территории ДВЦ «ДальРАО», и оценка их адаптационного потенциала методом провокационного облучения.

Материалы и методы. Семена клевера гибридного из природных популяций отбирали в зоне влияния ДВЦ «ДальРАО» с восьми местообитаний (варианты «КПРЗ», «РИТЭГ 1» – «РИТЭГ 7»). В качестве контрольных использовали семена, собранные в г. Обнинск. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) на экспериментальных площадках в зоне влияния ДВЦ «ДальРАО» варьировала в диапазоне от 0,025 Р/ч до 0,354 Р/ч.

Для изучения дозовой зависимости проводили острое облучение семян клевера ползучего (интактных) на гамма-установке ГУР-120 (ВНИИРАЭ) в дозах 600, 900, 1300, 1700, 2100 и 3000 Гр при мощности дозы 200 Гр/ч. Для провокационного облучения семян клевера с территории ДВЦ «ДальРАО» использовали дозу 1700 Гр при мощности дозы 200 Гр/ч.

Определяли энергию прорастания (на 3-и сут. проращивания) и всхожесть (на 7-ые сут. проращивания) семян клевера по стандартной методике [3].

Репродуктивные показатели клевера с территории ДВЦ «ДальРАО». Результаты оценки всхожести и энергии прорастания семян клевера гибридного с территории хранилища РАО представлены на рис. 1, из которого видно, что процент проросших семян на 3-и и 7-ые сут. практически одинаков во всех вариантах. Выявлено снижение репродуктивных показателей по сравнению с контролем, которое было статистически достоверным, в вариантах «РИТЭГ 6», «РИТЭГ 2» и «РИТЭГ 5», где МЭД составляла 0,029, 0,067 и 0,354 Р/ч, соответственно.

Также было отмечено низкое качество семян исследуемых вариантов «РИТЭГ 1» - «РИТЭГ 7»: многие были с червоточинами, отчего легко рассыпались при процарапывании в ступке; имели неполное развитие. В этих же образцах наблюдалась плесень, степень покрытия которой была особенно сильной в образце "РИТЭГ 2", где всхожесть и энергия прорастания были самыми низкими.

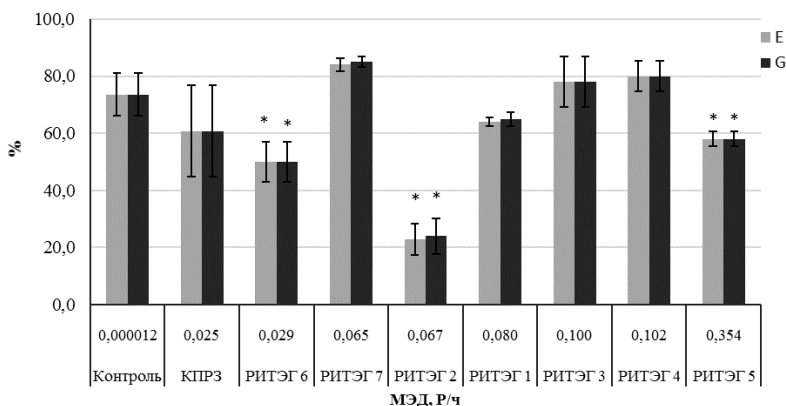


Рисунок 1 – Энергия прорастания (E, %) и всхожесть (G, %) семян клевера в зависимости от МЭД (Р/ч) в местах обитания растений на территории ДВЦ «ДальРАО» (* - достоверные отличия от контроля, $p < 0,05$)

Дозовая зависимость репродуктивных показателей клевера. Известно, что в природных популяциях, обитающих в условиях повышенного радиационного фона, наблюдается феномен радиоадаптации, который выявляется как повышенная радиоустойчивость к дополнительному острому облучению. Литературные сведения о радиоустойчивости семян клевера довольно противоречивы: согласно исследованиям разных авторов, диапазон полетальных доз острого облучения колеблется от 450-70 Гр до 2-150 кГр. Поэтому, чтобы подобрать дозу провокационного облучения для выявления адаптационного потенциала клевера, зависимость репродуктивных показателей клевера ползучего (не подвергавшегося ранее радиационному воздействию) от дозы острого облучения была

изучена в лабораторных условиях. Выявлено статистически достоверное снижение репродуктивных показателей при дозах 600, 1700 и 3000 Гр и установлена корреляция всхожести и энергии прорастания семян с дозой облучения ($r=-0,68$ и $r=-0,48$, соответственно; $p<0,05$). Доза 1700 Гр вызывала максимальное по сравнению с другими дозами снижение энергии прорастания (на 23,3%) и всхожести (на 19,7%) семян клевера. На основании полученных результатов для изучения адаптационного потенциала клевера из природных популяций, испытывающих хроническое радиационное воздействие, была выбрана доза острого облучения 1700 Гр.

Радиостойчивость семян клевера с территории ДВЦ «ДальРАО» к острому облучению. Результаты изучения репродуктивных качеств клевера, обитающего в условиях внешнего хронического облучения, после острого провокационного воздействия представлены на рис. 2. Практически во всех вариантах наблюдается снижение всхожести и энергии прорастания по сравнению с контролем, которое достоверно для трех мест отбора семян: "КПРЗ", "РИТЭГ 1" и "РИТЭГ 2", где МЭД составляла 0,025, 0,080 и 0,067 Р/ч. Снижение биологических показателей после дополнительного воздействия говорит о повышении радиочувствительности растений с импактных площадок, т.е. радиоадаптация в этих популяциях отсутствует. Отметим, что зависимость радиочувствительности клевера от МЭД в местах обитания не прослеживается (рис. 2).

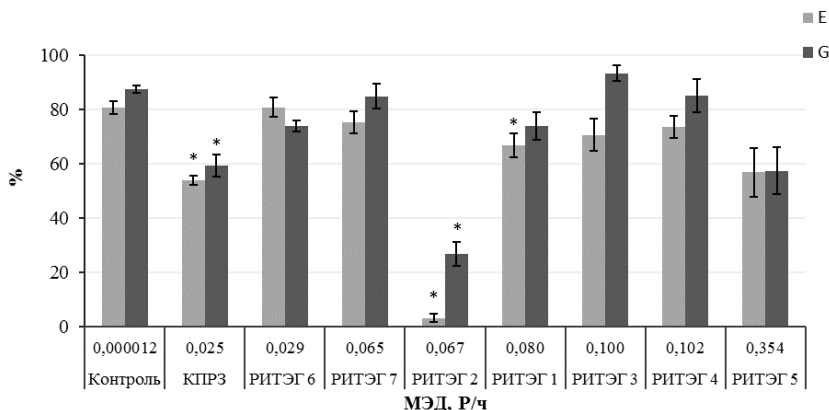


Рисунок 2 – Энергия прорастания (E, %) и всхожесть (G, %) семян клевера после провокационного γ -облучения дозой 1700 Гр в зависимости от МЭД (Р/ч) в местах обитания растений на территории ДВЦ «ДальРАО» (* - достоверные отличия от контроля, $p<0,05$)

Угнетающее действие дополнительного облучения более выражено в начальный период развития семян. Действительно, увеличение всхожести по сравнению с энергией прорастания (т.е. увеличение числа семян,

проросших на 7-ые сутки по сравнению с 3-ми сутками) наблюдается во всех вариантах, кроме "РИТЭГ 6" и "РИТЭГ 5".

Во всех образцах, включая контрольные, после провокационного облучения наблюдалась плесень. Степень ее покрытия была сильной в образце "РИТЭГ 2", где всхожесть и энергия прорастания были самыми низкими, в остальных вариантах - средняя и слабая степень. Также можно было визуально заметить неблагоприятное состояние семян и проростков, находящихся на проращивании.

Таким образом, при изучении репродуктивных показателей клевера гибридного, произрастающего на территории Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами, обнаружено достоверное снижение энергии прорастания и всхожести семян в условиях хронического радиационного воздействия с МЭД 0,029, 0,067 и 0,354 Р/ч; корреляция изученных репродуктивных показателей с уровнем радиационного воздействия не выявлена. Острое провокационное облучение семян клевера в дозе 1700 Гр привело к снижению репродуктивных показателей по сравнению с контролем, что свидетельствует об отсутствии радиоадаптации в изученных популяциях.

Список литературы

1. Горшкова Т.А., Удалова А.А., Гераськин С.А. и др. Биоиндикация состояния природной среды в районе расположения Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2014. № 4. С. 130-139.
2. Удалова А.А., Пяткова С.В., Гераськин С.А. и др. Оценка цито- и генотоксичности подземных вод, отобранных на промплощадке Дальневосточного центра по обращению с радиоактивными отходами // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. № 2. С. 208-219.
3. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕПЕЛИНОГО ПОМЕТА И СОЛОМЫ ЗЛАКОВЫХ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ^{137}CS В РАСТЕНИЯ ГОРОХА (*PISUM SATIVUM* L.)

А.В. Ефремов

ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия
e-mail: Viking198@mail.ru

В статье рассмотрено влияние меченых радиоцезием (^{137}Cs) перепелиного помета и соломы злаковых культур на поступление этого радионуклида в растения гороха посевного при выращивании его на дерново-подзолистой почве разного гранулометрического состава.

The article considers the influence labeled with radioactive cesium (^{137}Cs) quail manure and straw cereals on receipt of this radionuclide in the pea plant seed for growing it on sod-podzolic soils of different particle size distribution.

В современном растениеводстве одной из наиболее значимых сельскохозяйственных культур является горох посевной, зерно которого в зависимости от его качества используется на пищевые цели и фураж. Получение высоких урожаев экологически безопасного зерна и гороха в условиях радионуклидного загрязнения затруднено, так как это связано со сравнительно большими коэффициентами накопления радиоактивных изотопов-поллютантов растениями. Важным фактором снижения массопереноса радионуклидов в системе почва-растение является внесение органических удобрений, в частности птичьего помета. Однако эти удобрения, являясь местными, также могут быть радиоактивно загрязненными.

В связи с этим целью данного исследования – количественно оценить размеры перехода ^{137}Cs в растения яровой пшеницы при внесении под нее загрязненного перепелиного помета в сравнении с соломой и минеральной формой радиоцезия.

Объекты исследования: дерново-подзолистая супесчаная и дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почвы (агрохимические свойства почв представлены в таблице 1); наиболее распространённый долгоживущий радионуклид-загрязнитель Чернобыльской аварии – ^{137}Cs ; перепелиный помет, содержащий радиоцезий, полученный в процессе выполнения предыдущих опытов [1]; солома злаковых культур также загрязненная радиоцезием (содержание макроэлементов в помете и соломе представлено в таблице 2); горох посевной сорта «Краснодар».

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика опытных почв

Почва	Содержание гумуса, %	рН _{КС} 1	Hг	S	P ₂ O ₅	K ₂ O
			мг·экв/100г		мг/кг	
Тяжелосуглинистая	3,5	5,05	1,93	10,4	280	320
Супесчаная	1,5	4,66	2,2	5,2	95	102

Таблица 2 – Содержание макроэлементов в перепелином помете и соломе, % в сухом веществе

Источник	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Перепелиный помет	5,6	4,4	6,1
Солома	0,7	0,2	0,9

Лабораторно-вегетационные опыты проводили в секторе радиологии кафедры агрономической, биологической химии, радиологии и БЖД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Исходная активность вносимого

радиоизотопа – 3 кБк на сосуд. Растения выращивали в течение 3 недель в сосудах типа TetraPak, навеска почв – 200 г. Схема опыта: 1 – контроль (вносили минеральную форму ^{137}Cs); 2 – меченная ^{137}Cs солома; 3 – меченный ^{137}Cs перепелиный помет.

Повторность опытов – 3-х кратная. Образцы растений и почв анализировали на гамма-спектрометре Wizard 2480 PerkinElmer (США).

В предыдущих исследованиях [2] установлено, что подвижность ^{137}Cs в почвах, а, следовательно, и доступность растениям зависит от свойств почв, в первую очередь от их гранулометрического состава, а также от содержания подвижных форм калия.

Таблица 3 – Удельная активность ^{137}Cs в растениях гороха, Бк/г сухой массы

Форма накопления ^{137}Cs	Почва	
	Супесчаная	Тяжелосуглинистая
Минеральная ^{137}Cs	28,0±0,0	2,5±0,3
Меченная солома ^{137}Cs	0,5±0,02	1,0±0,07
Перепелиный помет ^{137}Cs	1,7±0,4	0,7±0,1

Результаты наших опытов показали, что в контрольном варианте ^{137}Cs поступал в растения гороха, выращенного на легкой почве, в 56 раз больше по сравнению с меченой соломой злаковых и в 16,5 раза – чем в варианте с меченым перепелиным пометом. Это связано с тем, что на супесчаной почве содержание глинистых минералов и подвижных форм калия минимально и нефиксированный и не встретивший конкуренции со стороны калия радиоцезий интенсивно поступал в растения пшеницы. Ситуация менялась уже в варианте с меченой соломой злаковых: в данном случае солома разложилась не полностью, и поступление ^{137}Cs в растения было затруднено; поглощению ^{137}Cs растениями пшеницы также отчасти препятствовал калий, содержащийся в соломе. Такая же закономерность наблюдалась и в варианте с меченым перепелиным пометом, где поступление радионуклида в растения пшеницы было выше, чем в варианте с меченой соломой в 3,4 раза. Это связано с тем, что помет полностью не разложился и поступлению ^{137}Cs в растения пшеницы на супесчаной почве не мог препятствовать калий, содержащийся в помете.

На тяжелосуглинистой почве наблюдалась другая картина. В контрольном варианте минеральный ^{137}Cs физически закрепился в межпакетном пространстве минералов смектитовой группы. Кроме того, повышенное содержание подвижных форм калия в почве препятствовало поступлению ^{137}Cs в растения пшеницы на контроле. В варианте опыта с меченой соломой на тяжелосуглинистой почве солома также, как и в легкой почве разложилась не полностью, и поступление ^{137}Cs в растения пшеницы в данном варианте было затруднено. В варианте опыта с меченым перепелиным пометом на тяжелосуглинистой почве наблюдался частичный переход калия из помета в межпакетное

пространство глинистых минералов и это увеличило поступление ^{137}Cs в растения пшеницы. Возможно это объясняется также аммонификацией перепелиного помета: образующийся при этом аммоний может конкурировать с радиоцезием за сорбционные места в межпакетном пространстве глинистых минералов, что могло привести к увеличению поступления ^{137}Cs в растения пшеницы.

Таким образом, в лабораторно-вегетационных исследованиях установлено, что поступление ^{137}Cs в растения пшеницы связано с гранулометрическим составом почвы и содержанию в ней подвижного калия. Внесение в почву ^{137}Cs в составе перепелиного помета значительно снижало его поступление в растения в связи с тем, что в перепелином помете так же содержатся его основные антагонисты. При внесении в почву меченой соломы поступление ^{137}Cs в растения затруднялось из-за того, что радионуклид в ней связан, и на достижение его подвижности требуется время и более полное разложение соломы.

Список литературы

1. Фокин А.Д., Афанасьев Г.Д., Торшин С.П., Журавлева О.С. Цезий-137 в метаболизме перепелов // Известия ТСХА. 2010. №3. С. 60-69.
2. Фокин А.Д., Лурье А.А., Торшин С.П. Сельскохозяйственная радиология // СПб.: Лань, 2011. 416 с.

УДК 577.4: 631.4: 504.064: 539.16

ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

А.М. Кабдыракова, С.Н. Лукашенко, А.Е. Кундузбаева, Н.В. Ларионова

ИРБЭ НЯЦ РК, Курчатов, Республика Казахстан
e-mail: Kabdyrakova@nnc.kz

В работе представлены результаты исследования распределения искусственных радионуклидов в почвенных гранулометрических фракциях на объектах и территориях полигона с различным характером радионуклидного загрязнения и механизмами (путями) поступления радионуклидов в почву. Рассмотрены основные механизмы поступления радионуклидов в почву, имеющиеся на полигоне: водные пути поступления, выпадения радиоактивных веществ ядерных испытаний и диспергирование делящихся материалов. Выявлены основные типы распределения радионуклидов в гранулометрических фракциях почвы при различных механизмах их поступления.

This paper presents results of studying of man-made radionuclides distribution in particle-size fractions of soils at objects and territories of Semipalatinsk test site with different nature of contamination and sources of radionuclides such as water sources, radioactive fallouts from nuclear explosions and dispersion of fission materials. The main types of radionuclides distribution in soil particle-size fractions depending on sources characteristic were revealed.

Введение. На Семипалатинском испытательном полигоне выполнялась основная часть работ по реализации программы испытаний ядерного оружия в бывшем Советском Союзе [1]. В общей сложности на его площадках в период с 1949 по 1989 года проведено 456 ядерных испытаний различных видов: наземные и воздушные, подземные в штольнях и скважинах, в том числе подземные взрывы в скважинах с выбросом грунта в мирных целях и др. Особенности (виды) проведенных испытаний обусловили формирование радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды различного характера.

Материалы и методы исследования.

Объекты исследования. Исследования распределения искусственных в гранулометрических фракциях почв проводились на объектах и территориях полигона с различным характером радионуклидного загрязнения и механизмами (путями) поступления радионуклидов в почву.

1. Водные пути поступления радионуклидов в почву. На испытательной площадке "Дегелен" вследствие вытекания подземных вод через полости штолен, где проводились подземные ядерных взрывы, и выноса радионуклидов на дневную поверхность происходит значительное загрязнение почв. В настоящее время в местах, где протекает водоток из штолен, сформирована пространственно-ограниченная луговая экосистема. Объектами настоящих исследований являлись прибрежные почвы штольневых водотоков.

2. Выпадения радиоактивных веществ ядерных испытаний на поверхность почвы.

- выпадения от наземных ядерных испытаний. Исследования проводились в эпицентральных зонах наземных ядерных взрывов (пл. Опытное поле) и на следах радиоактивных выпадений.

- выпадения от подземных взрывов с выбросом грунта (экскавационные). Исследования проводились в районе "Атомного озера" (прежде озеро "Чаган") – искусственного водоема, созданного с помощью подземного термоядерного взрыва с выбросом грунта мощностью 140 кт (пл. "Балапан").

- глобальные и местные выпадения. Исследования проведены на условно "фоновых" территориях – территориях полигона за пределами

испытательных площадок, где содержание радионуклидов в почве находятся на уровне местного фона.

3. Диспергирование делящихся материалов. Объектами исследования являлись почвы из мест проведения гидроядерных испытаний (район пл. Опытное поле").

Отбор проб. Отбор проб верхнего слоя почвы производился методом "конверт". Точечные пробы, отобранные по центру и углам "конверта" размером 1- 2 м² объединялись в одну смешанную пробу. Глубина отбора проб составляла 5 см. Средняя масса отобранной пробы равнялась 3 кг.

Фракционирование почвы. При исследовании гранулометрического (зернового) состава и разделении почв на гранулометрические фракции были последовательно использованы два метода: «мокрый» ситовой рассев и седиментация. Методом «мокрого» ситового отсева были выделены фракции 1000-500; 500-250; 250-100; 100-63, 63-40 мкм, седиментационным методом - фракции 40-8 мкм, 8-5 мкм, 5-1 мкм и <1мкм [2].

Радионуклидный анализ. Определение удельной активности радионуклидов ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am проводилось на гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором Canberra GX-2020 [3]. Определение содержаний ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu состояла из предварительного радиохимического выделения и определения удельной активности радиоизотопов бета- и альфа- спектрометрическим методом соответственно.

Использованный оценочный параметр. Для количественной оценки распределения искусственных радионуклидов ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu и ⁹⁰Sr по гранулометрическим фракциям почвы был использован безразмерный параметр - коэффициент обогащения (K_о), определяемый как отношение удельной активности радионуклида в гранулометрической фракции (A_{уд.}^{фр.}) к удельной активности того же радионуклида в соответствующей исходной почве (A_{уд.}^{п.}): $K_o = A_{уд.}^{фр.} / A_{уд.}^п.$

Результаты и их обсуждение.

Распределение радионуклидов в гранулометрических фракциях почвы при различных механизмах их поступления в почву.

Водные пути поступления радионуклидов в почву. Прибрежные почвы водотоков из штолен имеют очень высокую увлажненность, часто затапливаются в весенне-осеннее время. Результаты исследования показали, что распределение радионуклидов в гранулометрических фракциях береговой почвы водотока из штольни №176 характеризуется увеличением их концентрации по мере уменьшения размеров фракций (рисунок 1).

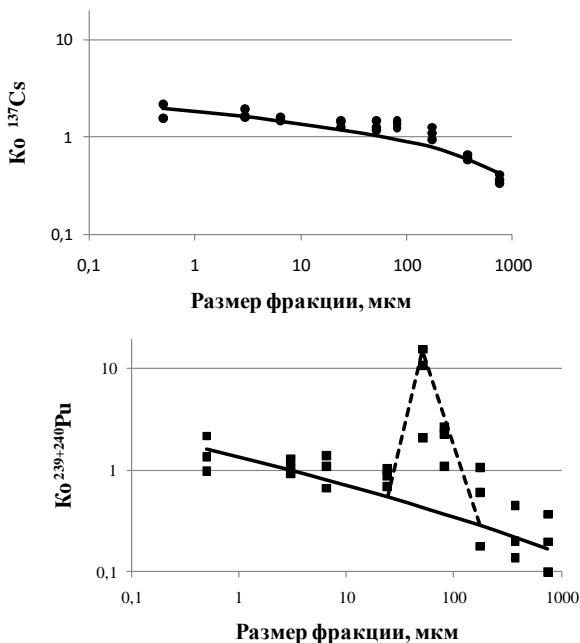


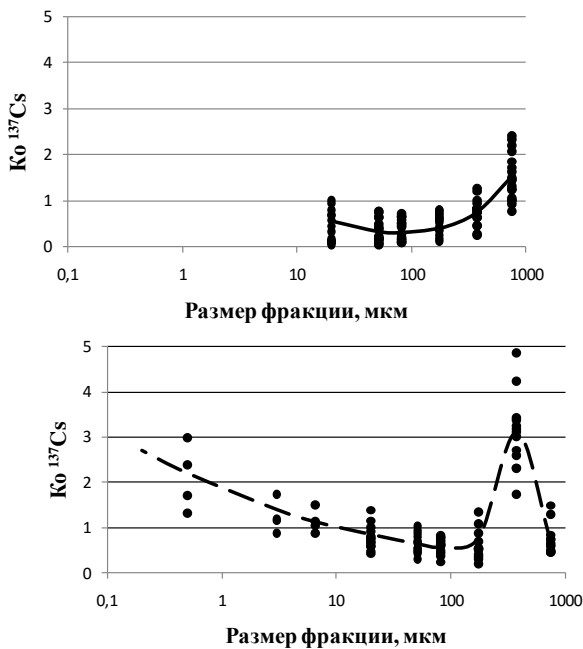
Рисунок 1 – Распределение радионуклидов в гранулометрических фракциях береговой почвы водотока из штольни 176, пл. Дегелен

Очевидно, такой характер распределения обусловлен сорбционно - десорбционными процессами, в которые вовлекаются радионуклиды при контакте почвы с водой. Как известно, в сорбционном процессе с увеличением дисперсности частиц возрастает поверхность взаимодействия сорбента (почвы) с веществом (радионуклидом), что повышает эффективность процесса.

Наряду с вышесказанным обращает на себя внимание существенное обогащение ($K_d > 10$) изотопами плутония фракции размером 63-40 мкм (рисунок 1, пунктирная линия). Вероятно, повышенное содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в данной фракции вызвано присутствием в ней высокоактивных частиц.

Выпадения радиоактивных веществ ядерных испытаний.

1. Выпадения от наземных ядерных испытаний. Распределение ^{137}Cs в гранулометрических фракция почвы в местах радиоактивного загрязнения от наземных ядерных испытаний представлено на рисунке 2.



а)

б)

Рисунок 2 – Распределение ^{137}Cs в гранулометрических фракциях почв на эпицентрах (а) наземных ядерных испытаний и следе наземного термоядерного взрыва 1953 г (б)

На эпицентральных участках наземных ядерных испытаний в наибольшей степени обогащены радионуклидами крупные почвенные фракции. При удалении от места взрыва по следу радиоактивных выпадений размеры "обогащенных" фракций уменьшаются. Так, на участке следа термоядерного взрыва 12.08.1953 г., находящегося в удалении около 100 км от его эпицентра (пл. П-1) наибольшие концентрации радионуклидов присутствуют во фракции размером 500-250 мкм.

2. Выпадения от подземных ядерных взрывов с выбросом грунта. Результаты исследования показали, что на "Атомном озере" существует две противоположные тенденции распределения продуктов деления (^{137}Cs) и элементов материала ядерного заряда ($^{239+240}\text{Pu}$) в гранулометрических фракциях почвы (рисунок 3).

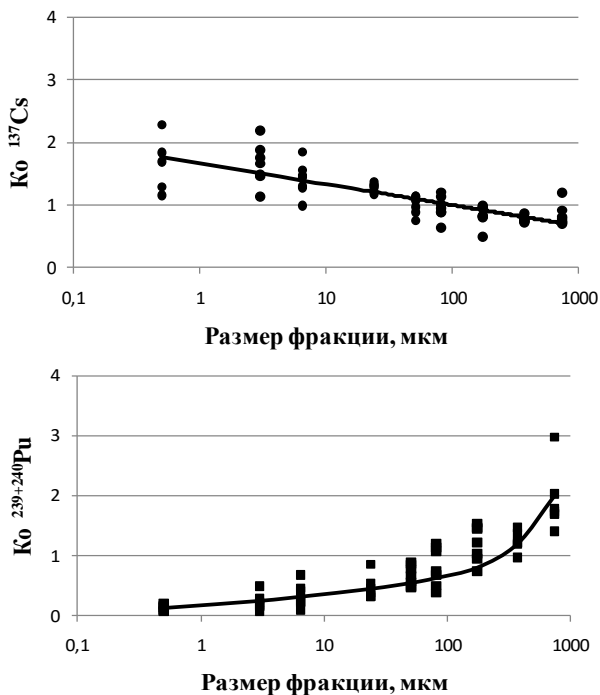


Рисунок 3 – Распределение радионуклидов в гранулометрических фракциях в районе "Атомного озера"

Распределение ^{137}Cs имеет тенденцию накопления радионуклида в тонкодисперсных фракциях почвы, в то же время наибольшая доля активности $^{239+240}\text{Pu}$ сконцентрирована в крупных фракциях размером более 500 мкм. Вероятно, за такую своеобразность характера распределения радионуклидов отвечают особенности фракционирования радионуклидов во время взрыва и выпадение ^{137}Cs на почвенную поверхность в результате конденсации из газовой фазы ядерного взрыва [4, 5].

Глобальные и местные выпадения. В целом, распределение радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы на условно "фоновых" территориях СИП характеризуется тем, что их концентрация устремляется к росту с уменьшением размера почвенных фракций (рисунок 4).

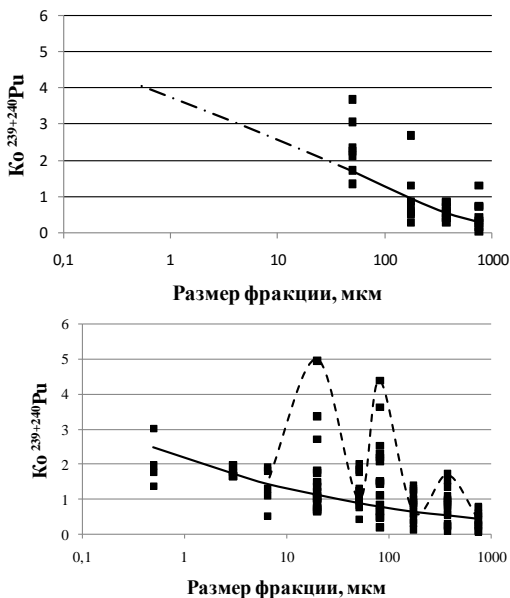


Рисунок 4 – Распределение $^{239+240}\text{Pu}$ в гранулометрических фракциях в почвах условно "фоновых" территориях СИП: западная (а) и юго-восточная (б)

На рисунке 4 для сравнения представлено распределение $^{239+240}\text{Pu}$ на обследованных условно "фоновых" участках на западной территории, в наименьшей степени подверженной воздействию ядерных испытаний на СИП и на юго-восточной территории, которая граничит со следом наземного термоядерного испытания 12.08.1953 г. Как видно из графиков, в почвах западной части СИП распределение $^{239+240}\text{Pu}$ характеризуется тенденцией роста концентрации радионуклида в тонких фракциях. Для почв юго-восточной территории характерна та же тенденция, однако, наряду с этим в некоторых фракциях отмечается повышенное содержание радионуклида (рисунок 4б, пунктирная линия). Данный факт может свидетельствовать о том, что источниками поступления радионуклидов в почву юго-восточной территории являются не только глобальные выпадения, но и выпадения от ядерных испытаний, проведенных на полигоне.

Диспергирование делящихся материалов. Распределение радионуклидов между гранулометрическими фракциями почвы при гидроядерных испытаниях принципиально схоже с их распределением при ядерных взрывах. В обоих случаях значительные концентрации радионуклидов сосредоточены в определенных почвенных фракциях. Так, на исследованном следе гидроядерного испытания, проведенного в районе пл. Опытное поле, значительное концентрирование

радионуклидов отмечается во фракции размером 500-250 мкм (рисунок 5). Однако отличительной особенностью распределения радионуклидов в почвенных фракциях при гидроядерных испытаниях является то, что характер распределения на всем протяжении следа остается неизменным независимо от расстояния от предполагаемого места взрыва.

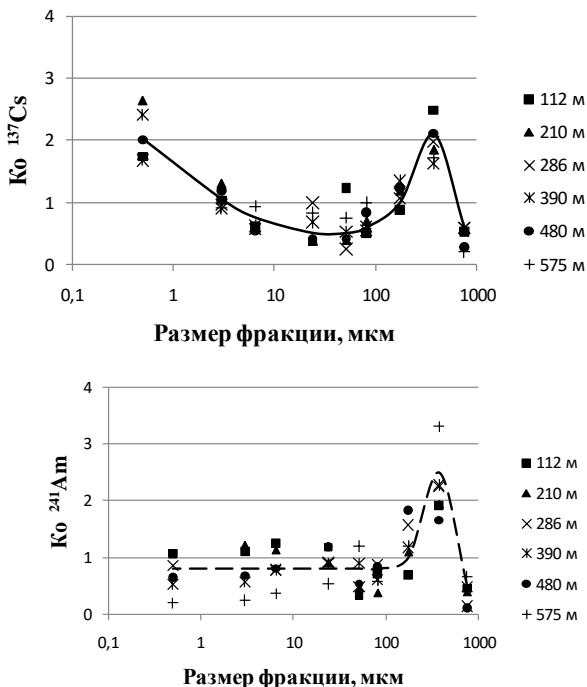


Рисунок 5 – Распределение ^{137}Cs и ^{241}Am в гранулометрических фракциях почвы на следе гидроядерного испытания (в легенде расстояние от предполагаемого места взрыва)

Постоянство характера распределения радионуклидов на следе гидроядерного испытания, вероятно, объясняется особенностями проведения самого испытания, в процессе которых практически отсутствовали ядерные реакции, а делящиеся материалы лишь распылялись с помощью взрывных устройств.

Заключение В результате проведенных исследований выявлены основные типы распределения радионуклидов в гранулометрических фракциях почвы при различных механизмах их поступления:

I тип – рост концентрации радионуклидов с уменьшением размеров фракций. Данный тип распределения отмечается при поступлении радионуклидов в почву водным путем, их конденсации из газовой фазы ядерного взрыва и при глобальных выпадениях.

II тип – наличие в почве определенных фракций, в которых сосредоточена основная концентрация радионуклидов. Данный тип распределения встречается в почвах, радиоактивное загрязнение которых связано с выпадениями от ядерных испытаний и диспергированием радиоактивных веществ.

III тип – комбинированный, встречается в почвах, поступление радионуклидов в которых обусловлено сочетанием механизмов поступления, указанных в первом и втором типах.

Список литературы

1. Ядерные испытания СССР: современное радиоэкологическое состояние полигонов / Кол. авторов под рук. проф. В.А. Логачева – М.:Изд.АТ, 2002. – 639 с., ил.
2. ГОСТ 12365-79. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Изд. стандартов, 1982.
3. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма - спектрометре: МИ 2143-91. - Введ. 1998-06-02. - Рег. № 5.06.001.98. – М.: НПО ВНИИФТРИ, 1991. - 17 с.
4. Радиоактивное загрязнение природных сред при ядерных взрывах и методы его прогнозирования / под. ред. Ю.А. Израэля – Л.: Гидрометеоздат, 1970 – 67 с.
5. Радиоактивные выпадения от ядерных взрывов [перевод с англ.] / под ред. Ю.А. Израэля – М.:Мир, 1968 – 99 с.

УДК 539.1.04;614.876

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДОЗ НА БИОТУ В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЛЕНИНГРАДСКОЙ И БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

Е.И. Карпенко, В.Э. Куртмулаева, С.И. Спиридонов

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия

Рассчитаны дозовые нагрузки на референтные организмы биоты, обитающие на территориях, прилегающих к Ленинградской и Белоярской АЭС. В результате выполненной оценки выявлено незначительное превышение наиболее жесткого стандарта предельной мощности дозы облучения (10 мкГр/час) на компоненты окружающей среды в 30-км зоне Белоярской АЭС.

В результате мониторинговых исследований накапливается информация по содержанию долгоживущих радионуклидов, аккумулирующихся в объектах природной среды в результате многолетнего функционирования предприятий ядерной энергетики. Использование этой информации позволяет рассчитать дозовые нагрузки на живые организмы и сравнить их величины с установленными к настоящему времени значениями пороговых мощностей доз для биоты.

Выполнен комплекс работ по радиоэкологическому мониторингу наземных и водных экосистем в непосредственной близости от Ленинградской и Белоярской АЭС, результаты которого представляют собой входные данные для оценки радиационного воздействия на биоту.

Целью данного исследования является сравнительная оценка дозовых нагрузок на референтные организмы биоты в районах расположения Ленинградской и Белоярской АЭС.

Объекты исследования. В состав Ленинградской АЭС входят четыре энергоблока с реакторами РБМК-1000, комплекс по переработке и битумированию жидких радиоактивных отходов, хранилище отработавших тепловыделяющих сборок. Основной канал поступлений радиоактивных веществ в окружающую среду – газоаэрозольные выбросы.

На территории Белоярской АЭС находятся: в стадии подготовки к выводу из эксплуатации энергоблоки № 1 и № 2 с водографитовыми реакторами АМБ-100 и АМБ-200; действующий энергоблок № 3 с реактором БН-600 с натриевым теплоносителем; строящийся энергоблок № 4 с реактором БН-800 с натриевым теплоносителем.

Расчетные “инструменты”. Для расчета дозовых нагрузок на референтные виды биоты в районе расположения Ленинградской и Белоярской АЭС по данным радиоэкологического мониторинга использовано программное средство ERICA, разработанное в рамках международного проекта Европейского союза, МКРЗ и МАГАТЭ [1, 2].

Расчет дозовых нагрузок на наземные и водные экосистемы проводился с использованием набора референтных организмов биоты, обоснованного в Публикации 108 МКРЗ [3]. Для оценки доз облучения биоты были выбраны организмы с учетом наибольшей встречаемости на рассматриваемых территориях: дождевой червь, крыса, пчела, травянистое растение, сосна, лягушка, утка и форель.

Дозовые нагрузки на биоту в районе расположения Ленинградской АЭС. Выполнена оценка дозовых нагрузок на референтные организмы биоты для территории, прилегающей к Ленинградской АЭС. При расчетах мощностей доз облучения компонентов наземных экосистем данные по удельным активностям радионуклидов разных слоев почвы были усреднены. При расчете с использованием программного средства ERICA учитывались дочерние радионуклиды ^{226}Ra и ^{232}Th , период полураспада которых составляет не более 10 дней.

При выборе исходной информации из базы данных использовался консервативный подход (“предельная” оценка), в рамках которого рассматривались наиболее загрязнённые участки. Дозовые нагрузки на биоту на других участках будут меньше дозовых нагрузок, оцененных на основе консервативного подхода.

Оценка доз проводилась на компоненты наземных экосистем ЗАО "Копорье" и на компоненты водных экосистем реки Сисы, поскольку именно в пределах этих объектов зафиксированы максимальные объемные активности радионуклидов в почве и воде.

Основным источником радиационного воздействия на водные организмы является внутреннее облучение. Вклад внутреннего облучения в формирование дозовой нагрузки существенно превышает вклад внешнего облучения.

Для референтных организмов наземных экосистем преобладающий вклад в дозовую нагрузку также вносит внутреннее облучение, источниками которого являются радионуклиды, поглощаемые с пищей и водой наземными животными, и радионуклиды, поступающие в растения за счет корневого усвоения.

На рис. 1-2 представлены суммарные дозовые нагрузки для референтных организмов наземных и водных экосистем в районе расположения Ленинградской АЭС.

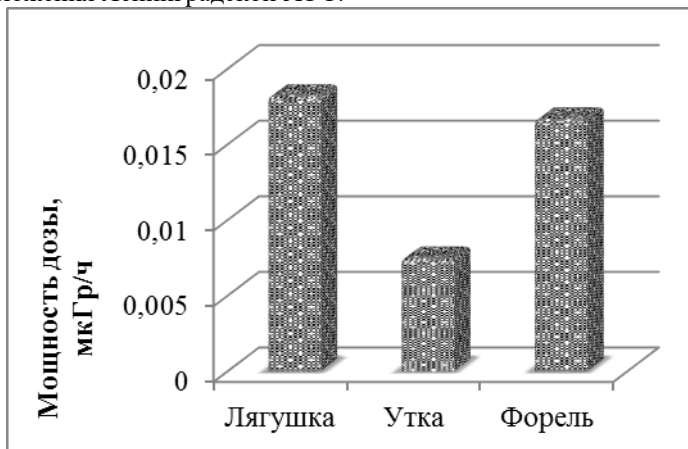


Рисунок 1 – Суммарные дозовые нагрузки на референтные организмы водных экосистем в районе расположения Ленинградской АЭС

Информация, представленная на рис. 1, показывает, что наибольшую дозовую нагрузку получает лягушка, наименьшую – утка. Дозовые нагрузки варьируют вследствие различий в коэффициентах перехода радионуклидов из окружающей среды в организм животного или растения, неодинаковых размеров и формы референтных организмов, а также различных значений фактора обитания, учитывающего долю времени их пребывания на загрязненной территории.

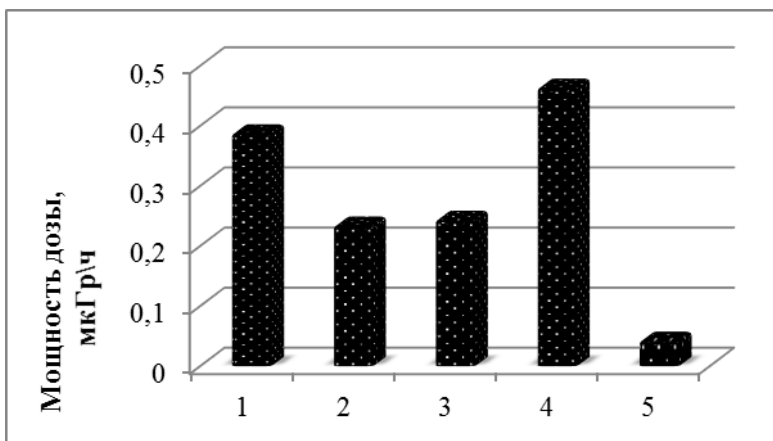


Рисунок 2 – Суммарные дозовые нагрузки на референтные организмы наземных экосистем в районе расположения Ленинградской АЭС (1 – пчела, 2 – травянистое растение, 3 – крыса, 4 – дождевой червь, 5 – сосна)

Среди наземных организмов наибольшую дозовую нагрузку получает дождевой червь, обитающий в верхнем слое почвы, аккумулирующем долгоживущие радионуклиды. Другие референтные организмы подвергаются воздействию внешнего облучения только от поверхности почвы.

Дозовые нагрузки на биоту в районе расположения Белоярской АЭС. На основе данных радиоэкологического мониторинга, проведенного в районе расположения Белоярской АЭС, выполнена оценка дозовых нагрузок на референтные организмы биоты. В расчетах использовались те же допущения, что и при оценке дозовых нагрузок на биоту в районе размещения Ленинградской АЭС.

Оценка доз проводилась на компоненты наземных экосистем на территории, прилегающей к деревне Ольховка в районе Ольховского болота и на компоненты водной экосистемы реки Ольховка.

Техногенное загрязнение Ольховского болота произошло до 1980 г. (то есть до ввода в эксплуатацию энергоблока № 3) при работе первой очереди Белоярской АЭС. Санитарные нормы и правила, действующие до 1979 года, не ограничивали объем сбрасываемых дебалансных вод, определяющим параметром при сбросе этих вод была допустимая концентрация радиоактивных веществ. Вследствие многолетних с 1964 до 1980 года сбросов дебалансных вод I-й очереди станции произошло накопление в болоте около $3,0 \cdot 10^{12}$ Гбк (80 Ки) радиоактивных нуклидов. Общий запас накопленной активности в донных отложениях Ольховского болота на 2010 г составлял для ^{137}Cs - $(2,0 \pm 0,6) 10^{11}$ Бк; ^{60}Co - $(2,4 \pm 0,8) 10^9$ Бк.

Сравнивая удельные активности ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде реки Систа (в районе расположения Ленинградской АЭС) и в воде реки Ольховка (в

районе расположения Белоярской АЭС) следует отметить, что во втором случае эти показатели существенно выше. По этой причине дозовые нагрузки на компоненты водных экосистем реки Ольховка на порядок превышают дозы облучения водных организмов, обитающих в реке Сиса.

Удельные активности ^{137}Cs и ^{40}K в почве в районе д. Ольховка составляют 34000 и 180 Бк/кг, соответственно. Значение максимальной удельной активности ^{137}Cs в почве в районе расположения Белоярской АЭС на 3 математических порядка больше, по сравнению с величиной этого показателя для Ленинградской АЭС. Это обуславливает значительное различие в дозовых нагрузках на наземные организмы, обитающие на прилегающих к рассматриваемым АЭС территориях.

На рис. 3-4 представлены суммарные дозовые нагрузки для референтных организмов наземных и водных экосистем в районе расположения Белоярской АЭС.

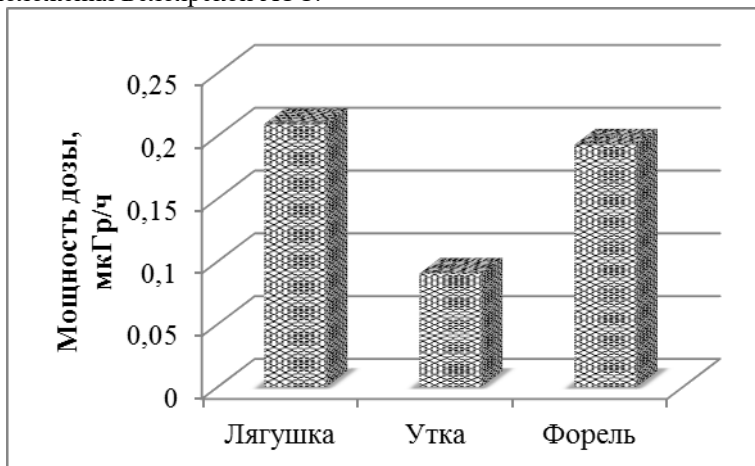


Рисунок 3 – Суммарные дозовые нагрузки на референтные организмы водных экосистем в районе расположения Белоярской АЭС

Из рис. 3 видно, что наибольшую дозовую нагрузку получает лягушка, наименьшую – утка. Результаты ранжирования водных организмов по мощности дозы облучения на территориях, прилегающих к Белоярской и Ленинградской АЭС, являются одинаковыми: лягушка > форель > утка.

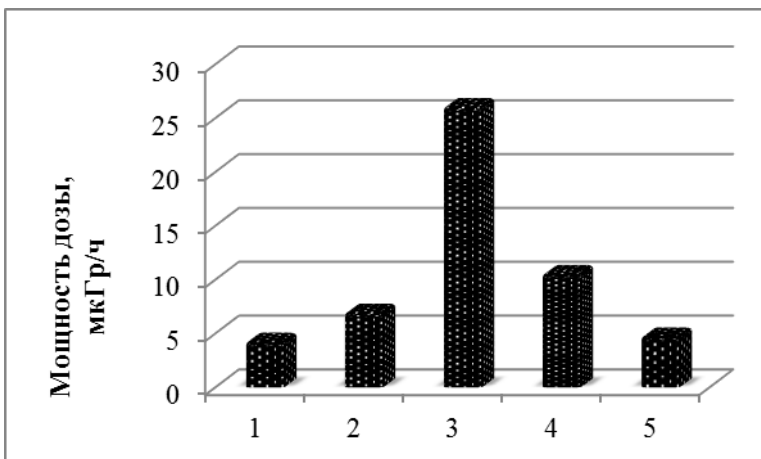


Рисунок 4 – Суммарные дозовые нагрузки на референтные организмы наземных экосистем в районе расположения Белоярской АЭС (1 – пчела, 2 – травянистое растение, 3 – крыса, 4 – дождевой червь, 5 – сосна)

Информация, представленная на рис. 4, показывает, что наибольшую дозовую нагрузку среди референтных наземных организмов получает крыса, наименьшую - пчела и сосна.

Заключение. Выполнена сравнительная оценка воздействия радиационного фактора на биоту в районах расположения Ленинградской и Белоярской АЭС на основе фактических данных радиоэкологического мониторинга.

Результаты радиоэкологического мониторинга показывают, что удельные активности радионуклидов в природных средах (согласно консервативной оценке) в районе расположения Белоярской АЭС больше, чем на территории, прилегающей к Ленинградской АЭС. Это может быть обусловлено различиями в поступлении радионуклидов в окружающую среду от реакторов, рассматриваемых АЭС, разными природно-климатическими условиями, а также наличием дополнительных источников радиоактивных выбросов - предприятий вблизи АЭС.

Наземные животные и растения подвержены большему воздействию от ионизирующего излучения по сравнению с водными организмами.

В районе расположения Ленинградской АЭС для референтных организмов водных экосистем главным дозообразующим радионуклидом является ^{137}Cs (вклад в суммарную мощность дозы облучения достигает 99%), для наземных организмов - ^{226}Ra (88 %) и ^{40}K (54%). Вклад в суммарную дозовую нагрузку на референтные наземные организмы от естественных радионуклидов на 1-2 порядка больше, чем от техногенных радионуклидов. Дозы облучения представителей водных и наземных экосистем в районе расположения Белоярской АЭС формируются, главным образом, ^{137}Cs (76-99%).

Водные организмы в районе расположения Ленинградской и Белоярской АЭС являются защищенными от воздействия радиационного фактора при любых пределах мощностей доз. Следует подчеркнуть, что в районе расположения Белоярской АЭС дождевой червь и крыса получают дозовую нагрузку, превышающую наиболее жесткий стандарт предельной мощности дозы облучения - 10 мкГр/час. Представители наземных экосистем, обитающие в районе расположения Ленинградской АЭС, являются защищенными от воздействия ионизирующего излучения при использовании любых стандартов предельных дозовых нагрузок.

Список литературы

1. Brown J.E., Alfonso B., Avila R. et al. The ERICA Tool. Journal of Environmental Radioactivity, 2008, 99 (9), pp. 1371-1383.
2. Beresford N.A., Brown J., Copplestone D. et al. D-ERICA: An Integrated Approach to the assessment and management of environmental risks from ionising radiation. Description of purpose, methodology and application. EC project contract no. FI6R-CT-2004-508847, 2007.
3. ICRP Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Ann. ICRP, 2009, V. 38, № 4–6, P. 1–242.

УДК 574.2:539.1.04

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ^{137}Cs В СТВОЛЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

А.Д. Карпов, В.В. Калнин, А.И. Радин, А.Н. Раздайводин

ФБУ ВНИИЛМ, г. Пушкино, Россия

e-mail: karpov@roslesrad.ru

В работе описаны результаты исследования распределения ^{137}Cs в стволе сосны обыкновенной, растущей в зоне радиационного загрязнения. Исследовались два разновозрастных дерева. Выявлено пространственное варьирование удельной активности ^{137}Cs в древесине и коре.

The paper describes the results of ^{137}Cs distribution studies in the trunk of Scots pine growing in the zone of radioactive contamination. Two different ages trees were investigated. Revealed spatial variation of the concentrations ^{137}Cs in the wood and bark.

ВВЕДЕНИЕ

Леса, загрязненные техногенными радионуклидами в результате ряда аварий и инцидентов на предприятиях ядерно-топливного цикла, являются долговременным источником радиационной опасности для человека [1,2]. В первую очередь это связано с включением долгоживущих радионуклидов в природный круговорот веществ и

накоплением их в лесных ресурсах: древесине, грибах, ягодах и т.п. [3,4] С другой стороны, накопление радионуклидов в лесных горючих материалах (стволы, сучья, хвоя и листва растущих деревьев, валежник, сухостой, сухие сучья и пр.) связано с опасностью возникновения радиоактивных лесных пожаров [5].

Для решения проблемы радиационно-безопасного использования лесов на загрязненных территориях необходимо более глубокое понимание закономерностей накопления радионуклидов лесной растительностью, в первую очередь основными лесообразующими породами, из которых первое место по хозяйственному значению занимает сосна обыкновенная [6].

Радиоактивное загрязнение лесов европейской части России связано, преимущественно, с аварией на Чернобыльской АЭС в 1986 г. [1-4] Основным долгоживущим и представляющим опасность для человека радионуклидом чернобыльского происхождения в загрязненных лесах является радиоактивный изотоп цезия – ^{137}Cs [7], его период полураспада составляет около 30 лет. Цель данной работы – изучить накопление ^{137}Cs в структурных компонентах сосны обыкновенной, как наиболее распространенного вида-лесообразователя в зонах радиоактивного загрязнения, выявить возможные тенденции и закономерности в процессах накопления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования была выбрана сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L). Исследование проводилось на двух модельных деревьях, различающихся по возрасту и произраставших при одинаковой плотности загрязнения почвы ^{137}Cs . Первое модельное дерево было отобрано в августе 2008 г. в Злынковском лесничестве Брянской области. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs лесного участка на момент отбора составила: 703 кБк/м^2 (19 Ки/км^2). Второе модельное дерево отбиралось в августе 2015 г., в том же лесничестве на лесном участке с плотностью загрязнения по ^{137}Cs на момент отбора 740 кБк/м^2 (20 Ки/км^2). Возраст первого модельного дерева – 80 лет. Возраст второго модельного дерева – 30 лет. Выбирались разновозрастные насаждения, для того чтобы учесть возрастной фактор в накоплении ^{137}Cs у деревьев.

Отбор проб древесины и коры для определения удельной активности ^{137}Cs проводился с шагом в 30 см от корневой шейки до уровня 9 метров по стволу сосны. Пробы отбирались с южной стороны каждого исследуемого дерева. У 80-летней сосны были отобраны высечки коры, диаметром по 5 см и под каждой высечкой отбирался керн древесины глубиной до сердцевины дерева. У 30-летней сосны, отбор проб коры проводился прямоугольными фрагментами длиной 10 см и шириной, равной $1/8$ от периметра ствола на уровне отбора пробы, с соответствующими выборками древесины под ней.

Для оценки пространственного варьирования удельной активности ^{137}Cs в коре дерева, для 30-летней сосны был проведен отбор проб на отрезке ствола от 5,3 м до 5,7 м. по всему периметру. Пробы коры отбирались секторально с шагом 10 см по высоте и 1/8 по периметру.

Отобранные образцы высушивались и гомогенизировались в лабораторных условиях для дальнейшей подготовки проб. Содержание ^{137}Cs в пробах определялось гамма-спектрометрическим методом с использованием полупроводникового детектора из сверхчистого германия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

После проведения измерений нами получен массив данных удельной активности ^{137}Cs в коре и древесине на множестве точек длины ствола двух модельных деревьев. Также были получены результаты пространственного распределения ^{137}Cs в коре второго модельного дерева на отрезке 5,3–5,7 м.

Средние значения удельной активности ^{137}Cs в древесине и коре модельных деревьев сосны обыкновенной в исследуемом нижнем отрезе ствола от корневой шейки до 9 м приведены в таблице 1.

Из данных, приведенных в таблице 1 видно, что удельная активность ^{137}Cs в коре двух модельных деревьев имеет близкие значения, тогда как в древесине более молодого (30-летнего) дерева ее значение в 1,7 раза выше, чем у 80-летнего. Соотношение удельной активности в древесине и коре у 80-летнего дерева различается в 9,2 раза, тогда как у 30-летнего только в 5,7 раз.

Таблица 1 – Средние значения удельной активности ^{137}Cs в древесине и коре модельных деревьев сосны обыкновенной

Статистические показатели	1-е модельное дерево (80 лет)		2-е модельное дерево (30 лет)	
	Кора	Древесина	Кора	Древесина
Среднее арифметическое ($\bar{X} \pm m$)	2185±63	237±5	2292±227	402±35
Коэффициент вариации (CV, %)	15,9	10,3	55,2	48,4

Варьирование удельной активности в коре и древесине по длине ствола у 80-летнего дерева находится на низком уровне, значения коэффициентов вариации равны 15,9% и 10,3 % соответственно, а у 30-летнего весьма высокие – 55,2% и 48,4% соответственно.

Распределение удельной активности ^{137}Cs в коре и древесине по длине ствола представлены на рисунках 1-4. На графиках пунктирной линией обозначены линии тренда. Распределение удельной активности в коре обоих модельных деревьев по длине изучаемого отрезка ствола демонстрирует достоверную положительную связь. Значения

коэффициентов корреляции Пирсона для 80-летнего и 30-летнего деревьев равны $r=0,65$ (рис. 1) и $r=0,56$ (рис. 2) соответственно.

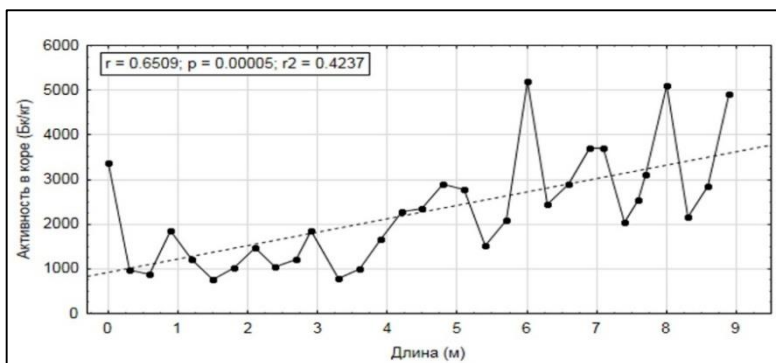


Рисунок 1 – Удельная активность ^{137}Cs в коре 30-летней сосны в зависимости о положения точки отбора по высоте ствола (южная сторона)

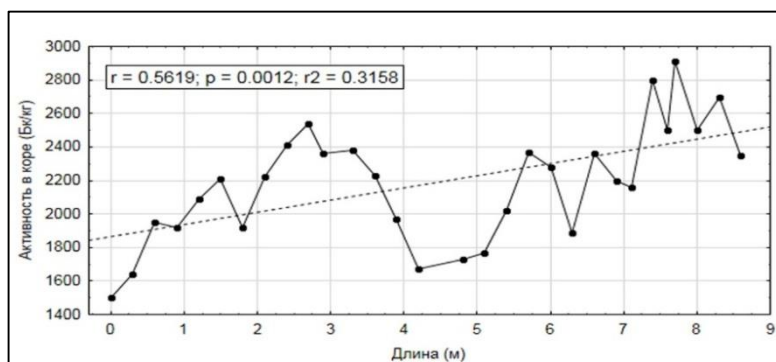


Рисунок 2 – Удельная активность ^{137}Cs в коре 80-летней сосны в зависимости о положения точки отбора по высоте ствола (южная сторона)

Для древесины выявлена отрицательная корреляция на первом пороге достоверности: для 80-летней сосны $r=-0,36$ (рис. 3.), для 30-летней сосны $r=-0,24$ (рис. 4.).

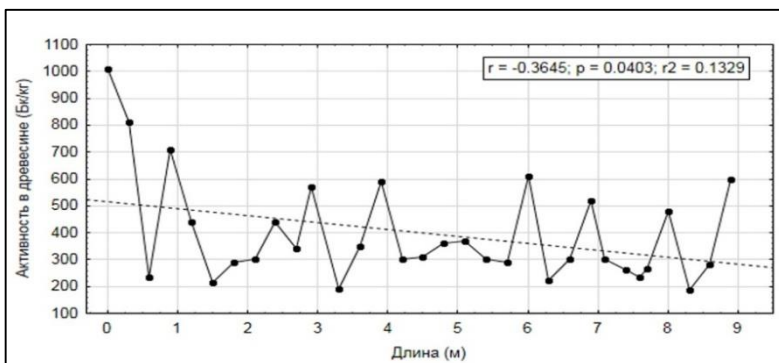


Рисунок 3 – Удельная активность ^{137}Cs в древесине 30-летней сосны в зависимости о положения точки отбора по высоте ствола (южная сторона)

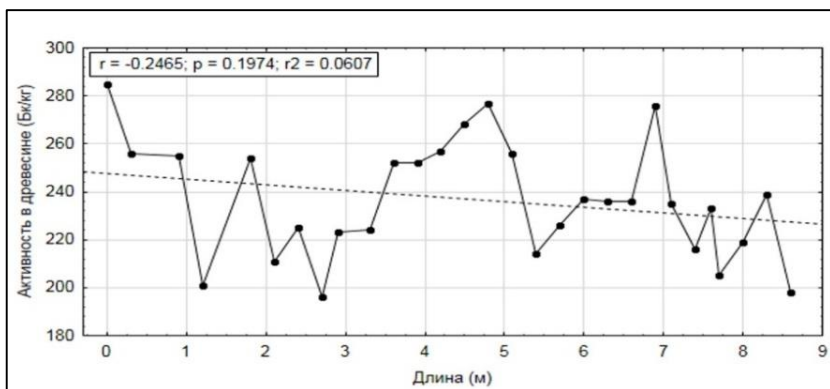


Рисунок 4 – Удельная активность ^{137}Cs в древесине 80-летней сосны в зависимости о положения точки отбора по высоте ствола (южная сторона)

Объемное распределение содержания ^{137}Cs в коре 30-летней сосны на отрезке ствола 5,3-5,7 м представлено на рисунке 5 а–д. Для пространственного отображения результатов измерений, полученные данные изображены в полярной системе координат, где 0 соответствует северному направлению.

Как видно из полученных результатов, даже на одном уровне отрезка ствола содержание ^{137}Cs в коре имеет большой разброс значений в зависимости от стороны света (от 1100 Бк/кг до 3600 Бк/кг). Например, на уровне 5,4 метра удельная активность ^{137}Cs на смежных секторах различается более чем в два раза (1600 Бк/кг и 3500 Бк/кг). Это может быть обусловлено процессами поступления ^{137}Cs из почвы в проводящие ткани и дальнейшим перераспределением его вместе с током питательных веществ. Эти процессы неоднородны и зависят как от годовых циклов роста сосны, так и от направления роста дерева.

Для понимания и объяснения такой неоднозначности содержания ^{137}Cs в структурных частях дерева требуется проведение дополнительных исследований.

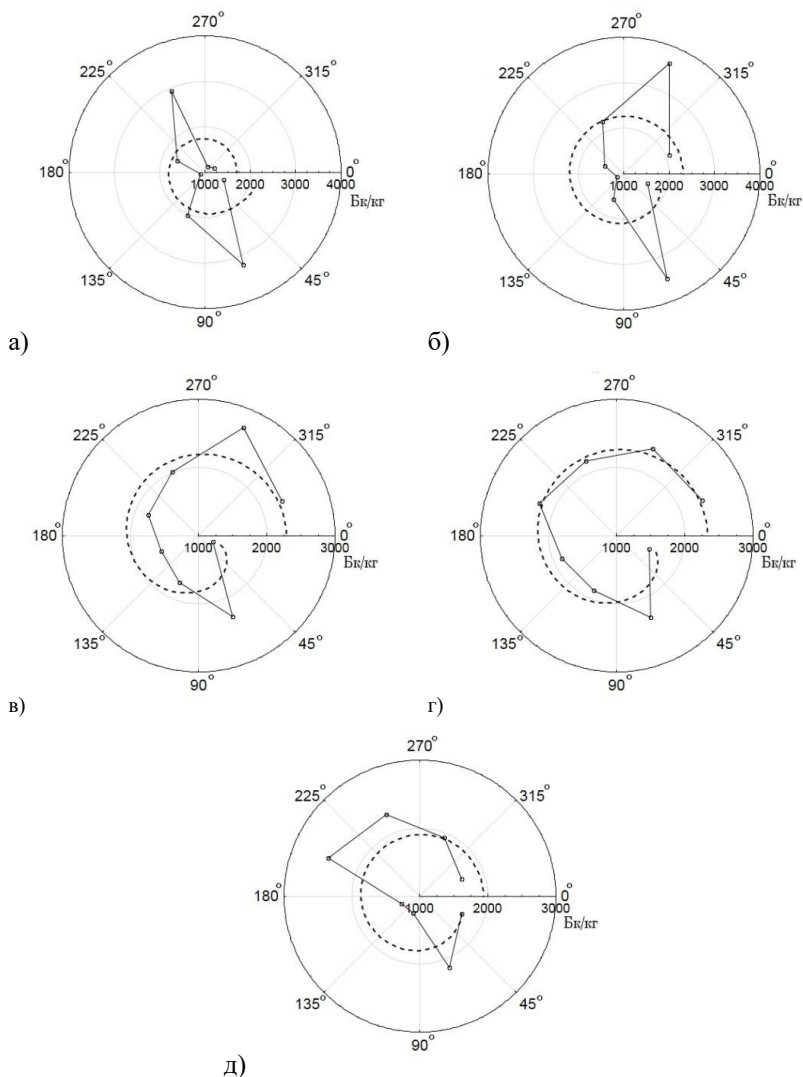


Рисунок 5 – Пространственное распределение удельной активности ^{137}Cs в коре 30-летней сосны на уровне: а) 5,3 м; б) 5,4 м; в) 5,5 м; г) 5,6 м; д) 5,7 м.

ВЫВОДЫ

Эта работа является отправной точкой в исследовании процессов поступления и накопления ^{137}Cs в структурные компоненты деревьев сосны обыкновенной, произрастающей в зонах с высокими уровнями

радиоактивного загрязнения почвы в период перехода лесного хозяйства от аварийной ситуации к условиям нормальной жизнедеятельности. Для понимания этих процессов требуется как накопление данных полевых и лабораторных исследований, так и теоретического материала. Тем не менее, на данном этапе исследований мы можем сделать некоторые выводы: возраст дерева оказывает относительно малое влияние на содержание ^{137}Cs в структурных частях деревьев сосны обыкновенной с большой долей живых, растущих тканей, к которым относится кора, и большое влияние на накопление в древесине, где доля живых тканей низкая; варьирование удельной активности ^{137}Cs в коре и древесине у молодых деревьев характеризуется высокими значениями коэффициента вариации (около 50%), тогда как у спелых деревьев – низкими (10-15%); распределение значений удельной активности ^{137}Cs по длине изучаемого отрезка ствола не является однородным и характеризуется для коры тенденцией к увеличению ($r=0,65$ и $r=0,56$), а для древесины – к уменьшению ($r=-0,26$ и $r=-0,24$); пространственное варьирование удельной активности ^{137}Cs в коре 30-летней сосны, имеет большой разброс значений в зависимости от стороны света (от 1100 Бк/кг до 3600 Бк/кг).

Список литературы

1. И.И. Марадудин, Е.А.Жуков, А.Н.Раздайводин Радиоэкологическое районирование лесов, загрязненных радионуклидами //Радиационная биология. Радиоэкология, 2009, Т.49, № 4, с.502-509
2. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. / Под общей ред. Ильина Л.А. и Губанова В.А. - М.: ИздАТ, 2001, 438 с.
3. Мамихин С. И. Динамика содержания ^{137}Cs в лесных биогеоценозах, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС / С. В. Мамихин, Ф. А. Тихомиров, А. И. Щеглов // Экология. — 1994. — № 2. — С. 43—49.
4. Раздайводин А.Н., Белов А.А., Белов А.Н. Распределение удельной активности радиоцезия по территории соснового насаждения // Лесное хозяйство. 2014. № 1. С. 25-26.
5. Душа-Гудым, С. И. К истории радиационно-пирологических исследований лесов, загрязненных радионуклидами / С.И. Душа-Гудым // Предупреждение, ликвидация и последствия пожаров на радиоактивно загрязненных землях: сб.науч. тр. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2002. – Вып. 54. – С. 13–19.
6. Щеглов А. И., Цветнова О. Б. Распределение радионуклидов в древесине и корнях сосны обыкновенной // Лесное хозяйство. — 1998. — № 4. — С. 29–39.
7. Переволоцкий А.Н. // Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель, 2006. 256 с. ил.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ПЕРЕХОДА ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ
РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Т.Е. Кожуханов, С.Н. Лукашенко, Н.В. Ларионова

ИРБЭ НЯЦ РК, Курчатов, Республика Казахстан
e-mail: kozhahanov@nnc.kz

В работе представлены результаты исследования накопления искусственных радионуклидов сельскохозяйственными и плодово-ягодными культурами, выращенными на радиоактивно-загрязненной территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Дана количественная оценка содержания искусственных радионуклидов в различных видах растений. В результате работы выявлены особенности накопления и распределения искусственных радионуклидов в вегетативных и генеративных органах исследуемых растений. Получены коэффициенты накопления ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am для продукции растениеводства, необходимые для прогноза концентраций данных радионуклидов при оценке радиационной обстановки территорий, подвергшихся влиянию радиоактивного загрязнения. Выявлена зависимость накопления радионуклидов для растений от типа посадки, видов и дозировки удобрений и фаз развития. Для всех исследованных радионуклидов установлен убывающий ряд по накоплению в растениях.

The paper provides results of researches of artificial radionuclides accumulation by agricultural and fruit and berry crops cultivated at radioactively- contaminated territory of the former Semipalatinsk Test Site (STS). Quantitative assessment of artificial radionuclides' content in various cultures is provided. As the result of work peculiarities of artificial radionuclides' accumulation and distribution in vegetative and generative organs of the plants under research were found. Accumulation factors of ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{241}Am for the crop products needed for predicting concentrations of these radionuclides in assessing radiation situation of lands suffered from radioactive contamination were obtained. Dependence radionuclides' accumulation for plants on type of planting, types and doses of fertilizers and vegetation phases was found. For all the researched radionuclides decreasing series according to accumulation in plants was established.

Развитие атомной энергетики, испытания ядерного оружия, выбросы предприятий ядерно-топливного цикла, а также радиационные аварии (в Уиндскейле, ПО «Маяк», на Чернобыльской АЭС, авария на АЭС

Фукусима-1) вызвали увеличение радиационного фона и накопление искусственных радионуклидов в окружающей среде. Все это определило необходимость изучения миграции радионуклидов в системе почва-растение и дальнейшего прогнозирования последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды, в том числе и в сельском хозяйстве.

Потребление сельскохозяйственной продукции с повышенным содержанием радиоактивных веществ остается одним из основных источников облучения населения, проживающего или ведущего хозяйственную деятельность на радиоактивно-загрязненной территории. В связи с чем качество с/х продукции, которая может быть получена на территориях, подвергшихся влиянию радиоактивного загрязнения, является одной из важных и актуальных проблем на сегодняшний день.

В мировой практике процессы миграции и перехода отдельных радионуклидов в с/х растения достаточно хорошо изучены, а вот информация о характере накопления трансурановых радионуклидов ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ в сельскохозяйственных растениях все еще фрагментарна. Даже в обобщенных материалах мировых исследований, справочнике МАГАТЭ, коэффициент накопления (Кн) имеют широкий диапазон значений (достигает 5-6 порядков), отсутствуют данные по распределению радионуклидов по различным органам растений из-за того, что представлены они для объединенных групп растений и типов почв.

Основной целью работы стало изучение особенностей накопления искусственных радионуклидов однолетними сельскохозяйственными и многолетними плодово-ягодными культурами для получения базовых количественных параметров накопления радионуклидов, в первую очередь по трансурановым элементам, и установления зависимостей от факторов, влияющих на поведение радионуклида в системе «почва-растение».

С 2010 году на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) положено начало целого ряда экспериментов с сельскохозяйственными культурами по исследованию поступления и накопления искусственных радионуклидов в растениеводческую продукцию в естественных природно-климатических условиях.

Учитывая низкие значения коэффициентов накопления радионуклидов для проведения эксперимента с экспериментальными видами культур был выбран участок, который характеризовался высоким содержанием радионуклидов, относящихся, прежде всего к трансурановым: $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am . Содержание радионуклидов в поверхностном горизонте почвы (0-5 см) находится на уровне: ^{241}Am – $n \cdot 10^4$ Бк/кг, ^{137}Cs – $n \cdot 10^3$ Бк/кг, ^{90}Sr – $n \cdot 10^3$ Бк/кг и $^{239+240}\text{Pu}$ – $n \cdot 10^5$ Бк/кг.

На протяжении многолетнего натурального эксперимента с сельскохозяйственными растениями объектами исследования были

выбраны 16 видов сельскохозяйственных растений и 5 видов плодово-ягодных культур, которые выращиваются в Казахстане: пшеница (*Triticum vulgare*), ячмень (*Hordeum vulgare*), овес (*Avena sativa L.*), арбуз (*Citrullus vulgaris*), дыня (*Cucumis melo*), картофель (*Solanum tuberosum*), баклажаны (*Solanum melongena*), перец (*Capsicum annuum*), томат (*Solanum lycopersicum*), подсолнечник (*Helianthus cultus*), лук (*Allium cepa*), морковь (*Daucus carota*), свекла (*Beta vulgaris*), петрушка (*Petroselinum vulgare*), капуста (*Brassica oleracea*) и фасоль (*Phaseolus vulgaris*); яблоня (*Málus sylvéstris*), вишня (*Prúnus cerásus*), смородина (*Ribes nígrum*), малина (*Rúbus idéus*) и слива (*Prúnus doméstica*). Посадка исследуемых растений производилась в сроки, рекомендуемые для выбранных видов сельскохозяйственных культур, с учетом природно-климатических условий региона.

Результатами работы стали, полученные впервые на территории СИП, базовые коэффициенты накопления ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am для продукции растениеводства. Диапазон значений Кн ^{90}Sr (0,0071-2,0) для всех растительных образцов составил 4 порядка, Кн $^{239+240}\text{Pu}$ (0,0013-0,5), Кн ^{241}Am (0,00077-0,035) и ^{137}Cs (0,0021-0,12) – по 2 порядка.

Для сельскохозяйственных культур выявлено, что использование минеральных удобрений влияет на процесс перехода радионуклидов из почвы в растения, при этом результат зависит от количества вносимых удобрений. Определен характер перераспределения радионуклидов в сельскохозяйственных растениях по различным органам. Экспериментальные данные показали, что наиболее интенсивно идет накопление радионуклидов в корнях, листьях и стеблях, а в генеративных органах (плодах, зерне, клубнях) накопление радионуклидов происходит меньше всего. Выявлена связь процесса накопления радионуклидов от типа посадочного материала для лука (*Allium cepa*). Так, лук (*Allium cepa*) посаженный семенами больше накапливает радионуклиды в листьях, а лук (*Allium cepa*) посаженный луковичами, наоборот, в луковичах.

Кн могут отличаться и варьировать в больших пределах не только для растений разных видов, но и в пределах одного вида, что может указывать на различное накопление радионуклидов отдельными особями одного вида, т.е. на биологические особенности индивида. Так для Кн ^{137}Cs и ^{90}Sr разница в накоплении между растениями одного вида может достигать в среднем 2-4 раза в надземной части и не более 1 порядка в корнях, а вот диапазон значений Кн для растений одного вида по ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ гораздо больше и разница значений может достигать 2 порядка.

Установлено, что для пшеницы Кн ^{241}Am и Кн ^{137}Cs на разных стадиях развития изменяются. Максимальное накопление ^{137}Cs связано с фазой кущение, а ^{241}Am с фазой колошение (для надземной части) и фазой молочная спелость (для корней).

Для всех исследованных радионуклидов установлен убывающий ряд: Кн ^{90}Sr > Кн ^{137}Cs > Кн $^{239+240}\text{Pu}$ > Кн ^{241}Am .

Для плодово-ягодных культур установлено, что полученные величины Кн радионуклидов для плодов соизмеримы с международными. Характер распределения радионуклидов по органам исследуемых растений: для ^{241}Am - лист > ветви \geq плоды (яблоня, малина) и ветви > лист \geq плоды (вишня, смородина, слива); для ^{137}Cs - лист > плоды \geq ветви (яблоня, вишня), лист > ветви (слива, малина, смородина). Установлено, что в течение одного вегетационного периода максимальное содержание ^{137}Cs в листьях яблони и вишни приходится на фазу цветения, а ^{241}Am – в фазу остановки роста у яблони и фазу цветения у вишни. Выявлено, что с течением времени наблюдается определенное снижение накопления ^{90}Sr для листьев вишни и наоборот повышение накопления ^{90}Sr для листьев яблони. Установлена положительная динамика накопления ^{241}Am в листьях яблони, малины и смородины с течением времени.

Таким образом, установлено, что Кн ^{137}Cs и ^{90}Sr более стабильные величины, которые изменяются в небольших пределах для растений в целом, а вот Кн ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ варьирует в значительных пределах, что указывает на более сложный характер процесса накопления трансурановых радионуклидов растениями.

УДК 004.6:502.53

БАЗА ДАННЫХ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РАЙОНА РАСПОЛОЖЕНИЯ БАЛТИЙСКОЙ АЭС

Л.Н. Колядич, А.В. Томсон, Е.И. Карпенко

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: Kolyadich.Liliya@yandex.ru

Изложены цели и задачи проведения радиэкологического мониторинга в районе строительства Балтийской АЭС. Описана структура и содержание базы данных, созданной на основе результатов радиэкологического мониторинга

Одной из ключевых проблем развития ядерных технологий является обеспечение экологической безопасности радиационно-опасных объектов. Эксплуатация радиационно-опасных объектов, таких как АЭС, в штатных режимах обуславливает поступление в окружающую среду определенного количества радиоактивных веществ, которые впоследствии включаются в биологические цепочки миграции, что приводит к формированию дополнительного (к естественному фону) источника облучения живых организмов, в том числе и человека.

Чтобы оценить воздействие радиационно-опасного объекта на окружающую среду, необходимо провести оценку современной экологической ситуации в регионе строительства АЭС, для чего необходимо определить существующие источники внешнего или

внутреннего облучения человека, на фоне воздействия которых впоследствии прогнозируется вклад планируемого радиационно-опасного объекта.

Строящаяся Балтийская АЭС (БтАЭС) расположена на приграничной с Польшей и Литвой Европейской части территории Российской Федерации, вблизи Белоруссии. Площадка строительства АЭС расположена на территории Неманского района Калининградской области в 120 км к востоку от г. Калининград, в 60 км от побережья Куршского залива и в 12 км к юго-востоку от г. Неман. БтАЭС располагается на территории водосборного бассейна Балтийского моря, охраняемого Хельсинкской Конвенцией 1974 г., Конвенцией по защите морской среды 1992 г., подпадает под действие Конвенции ЕЭК ООН об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте, Эспо (1991 г.).

Близость государственных границ обуславливает повышенное внимание к оценке воздействия БтАЭС на природную среду. Соответственно, исследования и результаты для территории, прилегающей к границам Польши и Литвы, должны соответствовать наилучшей практике и требованиям IAEA, EUR, WENRA.

В рамках проведенного в 2015 г. радиоэкологического и биологического обследования района расположения БтАЭС (промплощадка, 30-км зона) выполнен отбор проб компонентов наземных (природных и аграрных) экосистем, компоненты рациона кормления сельскохозяйственных животных, а также производимая сельскохозяйственная продукция. Отбор проб проводился на основании карты – схемы обследования 30-км зоны Балтийской АЭС (рисунок 1). Было отобрано 109 почвенных и 71 растительных образцов, 23 пробы сельхоз продукции и 16 проб кормов.

В ходе исследования отобранных проб были получены данные о содержании тяжелых металлов, техногенных и природных радионуклидов в почве, компонентах наземных экосистем, компонентах корма сельскохозяйственных животных и производимой сельскохозяйственной продукции.



Рисунок 1 – Карта-схема отбора проб почв и растений в 30-км зоне Балтийской АЭС

Основным инструментом по сбору и хранению информации являются базы данных (БД). На основе полученных результатов исследований была разработана структура БД, позволяющая систематизировать, объединять и производить статистическую обработку мониторинговых данных района расположения Балтийской АЭС. Она включает в себя: шифр пробы; вид и описание пробы; место отбора пробы с указанием точных координат; содержание радионуклидов в пробе, Бк/кг (Бк/л); валовое содержание тяжелых металлов в пробе.

Таким образом, разработанная БД включает в себя 219 записей и 36 полей с показателями:

- Шифр пробы	- Мо, мг/кг
- Дата отбора	- Cu, мг/кг
- МЭД, мкЗв/час	- Ni, мг/кг
- Вид пробы	- Pb, мг/кг
- Место отбора	- Sr, мг/кг
- Широта	- Zn, мг/кг
- Долгота	- Mn, мг/кг
- Сухой вес, г	- Cd, мг/кг
- ¹³⁷ Cs, Бк/кг	- Co, мг/кг
Погрешность, Бк/кг	- Cr, мг/кг
- ⁴⁰ K, Бк/кг	- V, мг/кг
Погрешность, Бк/кг	- As, мг/кг
- ²²⁶ Ra, Бк/кг	- Sb, мг/кг
Погрешность, Бк/кг	- W, мг/кг
- ²³² Th, Бк/кг	- Hg, мг/кг
Погрешность, Бк/кг	- Ba, мг/кг
- ⁹⁰ Sr, Бк/кг	
Погрешность, Бк/кг	

Количество записей БД экологического мониторинга района расположения БТАЭС, распределенных по месту отбора и виду проб, представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение количества записей в БД экологического мониторинга района расположения БТАЭС

Место отбора	Вид пробы			
	почва	растительность	с/х продукция	комбикорм
площадка БТАЭС	4	4	-	-
3-км зона	12	3	-	-
9-км зона	8	8	-	-
30-км зона	85	56	25	16

Информация в БД систематизирована в рамках организованной структуры, предназначенной для хранения, поиска и первичной обработки данных. База данных открыта для внесения новых и изменения в случае необходимости уже существующих данных. База данных создана в программном пакете *Microsoft Excel*.

УДК 631.41

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ-137 В КОМПОНЕНТАХ ФИТОЦЕНОЗА КАРТОФЕЛЯ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЛЯХ ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

О.Л. Комиссарова

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
e-mail: komissarova-olga93@yandex.ru

*Исследовалось биогеохимическое поведение Cs-137 в агрочерноземах и компонентах картофеля (*Solanum tuberosum*) на территории Плавского радиоактивного пятна Тульской области в отдаленный период после аварии на ЧАЭС. Установлено, что при плотности радиоактивного загрязнения почв Cs-137 154 ± 30 кБк/м² накопление Cs-137 в клубнях картофеля ($5 \pm 0,4$ Бк/кг) соответствовало санитарным нормам. Показана преимущественная аккумуляция радиоцезия в надземной фитомассе картофеля и его низкое содержание в подземных органах.*

*The investigation of Cs-137 biogeochemical behavior in arable chernozems and components of potatoes (*Solanum tuberosum*) was conducted within the territory of Plavsky radioactive hotspot (Tula region) in the remote period after the Chernobyl accident. It was found that as density of soil radioactive contamination was 154 ± 30 kBq/m² accumulation of Cs-137 in potato tubers ($5 \pm 0,4$ Bq/kg) satisfied the sanitary standards. The preferential accumulation of Cs-137 was typical for the aboveground biomass of potato whereas belowground biomass was characterized by relatively low content of Cs-137.*

Получение безопасной для населения продукции растениеводства, выращиваемой на радиоактивно загрязненных территориях, является одной из главных задач сельского хозяйства. Авария на Чернобыльской АЭС стала крупнейшей аварией в сельском хозяйстве, в результате которой пострадало более 2,7 млн. угодий Европейской части России (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1992). Одним из наиболее загрязненных участков является Плавское радиоактивное пятно в Тульской области с первоначальной плотностью загрязнения почв Cs-137 $185-555$ кБк/м² (Атлас современных и прогнозных аспектов..., 2009).

Поскольку при подобном уровне радиоактивного загрязнения почв ведение растениеводства не запрещено, плодородные земли пахотных угодий продолжают активно использоваться в сельском хозяйстве (Технологические приемы..., 2010).

Одной из основных культур полевого севооборота как в черноземной, так и в нечерноземных зонах средней полосы, является картофель, широко используемый в рационе питания населения. Картофель относится к калиефильным растениям, поэтому его выращивание на радиоактивно загрязненных территориях может сопровождаться повышенным потреблением Cs-137, являющегося химическим аналогом калия. Установлено, что проникновение Cs-137 из почвы в растения осуществляется по тем же каналам, что и калия (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1992; Greger, 2004; Технологические приемы ..., 2010). Однако пути поступления определяются соотношением концентраций Cs-137 и калия в почве. При высоком содержании Cs-137 в почве может происходить подавление транспорта калия по специфическим калиевым каналам, что приводит к увеличению поступления радиоцезия в растения. При высоком содержании доступных для растений форм калия в почве преобладает пассивный мембранный транспорт Cs-137 по неспецифическим каналам, а в условиях дефицита калия осуществляется активный симпортный транспорт (Cs^+/H^+), который регулируется теми же генами, что и для калия (Zhu and Smolders, 2000; White and Broadley, 2000). Таким образом, повышенное содержание радиоцезия в почвах пост-чернобыльских территорий может создавать угрозу интенсивной аккумуляции Cs-137 в продукции растениеводства.

Для изучения общих закономерностей поведения Cs-137 в системе «почва-растение», а также для выявления интенсивности накопления радиоцезия в картофеле (*Solanum tuberosum*), выращиваемом на радиоактивно загрязненных землях, была выбрана площадка в пределах пахотного угодья центральной части Плавского радиоактивного пятна на агрочерноземах глинисто-иллювиальных. На исследуемой площадке производился послойный пробоотбор монолитов почв с помощью кольцевого пробоотборника ПГ-450 с шагом 10 см до глубины 30 см в трехкратной повторности. Образцы надземной части растительности отбирались в конце вегетационного сезона 2015 г. методом сплошного укоса с площади 2500 см² в трехкратной повторности. Пробоотбор подземной части растений осуществлялся также с площади 2500 см² послойно с шагом в 10 см до глубины 30 см также в трехкратной повторности. Компоненты подземной части картофеля разделялись на клубни и корни.

В лабораторных условиях образцы почвы и растительности высушивались до воздушно-сухого состояния. В целях гомогенизации почва размельчалась и просеивалась через сито с ячейкой диаметром 1

мм, образцы растений размалывались на лабораторной мельнице. Клубни картофеля были разделены на компоненты: очистки, очищенные клубни, сок, крахмалистый осадок от сока, жмых.

Измерение содержания Cs-137 в почвенных и растительных образцах проводилось с помощью гамма-спектрометра «Мультирад» с блоком детектирования БДКС-63-01А, а также гамма-спектрометра фирмы Canberra GR 3818 с детектором из особо чистого германия HPGe.

В результате исследования было установлено, что в настоящее время средняя плотность радиоактивного загрязнения Cs-137 пахотного агрочернозема, приуроченного к водораздельной поверхности центральной части Плавского радиоактивного пятна, составила 154 ± 30 кБк/м² (408 ± 19 Бк/кг), что превысило предельно допустимый уровень радиоактивного загрязнения, равный 37 кБк/м², в 4 раза (О социальной защите граждан..., 1992).

В то же время, содержание Cs-137 в надземной и подземной фракциях фитомассы картофеля было на 1-2 порядка меньше, чем в почве (табл. 1), а средняя величина удельной активности радионуклида в клубнях картофеля, выращиваемого на данной территории, оценивалась как 5 Бк/кг, что определяло соответствие получаемой продукции нормам, установленным СанПиН 2.3.2.1078-01 (=80 Бк/кг).

Таблица 1 – Удельная активность Cs-137 в компонентах фитомассы картофеля, Бк/кг

Компонент картофеля	Удельная активность Cs-137 в компонентах картофеля
Надземная фитомасса	20±7
Корни	6±0,8
Клубни	5±0,4

Для оценки интенсивности корневого потребления Cs-137 картофелем из радиоактивно загрязненных почв использовался коэффициент накопления (КН), рассчитывающийся как соотношение величин удельной активности радионуклида в растительности и в почве. В целом, для всех компонентов картофеля значения КН составляли <0,1, что выявляет общую дискриминацию корневого потребления Cs-137 из почв. Это соответствует обобщенным данным, представленным МАГАТЭ, согласно которым КН в клубнях картофеля для почв суглинистого состава варьирует в диапазоне 0,01-0,14 (IAEA, 2010). При этом основная часть радиоцезия, поступившего в растение, накапливается в надземных побегах, тогда как переход Cs-137 в клубни картофеля в ≈4 раза меньше. Интенсивность накопления Cs-137 в клубнях и корнях картофеля близка по своим параметрам (рис. 1). Таким образом, для растений картофеля характерно низкое корневое потребление радионуклида с транслокацией основной части Cs-137 в надземные побеги. Коэффициент транслокации (отношение удельной активности Cs-137 в надземной части растений к удельной активности Cs-137 в

подземной части растений) в исследованном агроценозе картофеля Плавского радиоактивного пятна составлял 3,4.

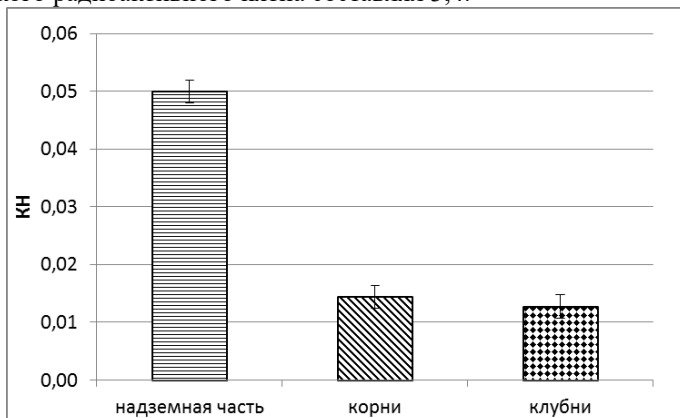


Рисунок 1 – Коэффициент накопления Cs-137 в компонентах картофеля, выращиваемого на территории Плавского радиоактивного пятна

В свою очередь, внутренняя часть клубня картофеля характеризовалась несколько повышенными значениями КН по сравнению с очистками (рис. 2), что свидетельствовало о накоплении Cs-137 в тканях клубня, а не на его поверхности, и подтверждало полноту отмывки подземной фракции фитомассы картофеля от почвенного мелкозема. Сходные результаты были получены в исследованиях Попплеуела с соавторами (Popplewell et al., 1984).

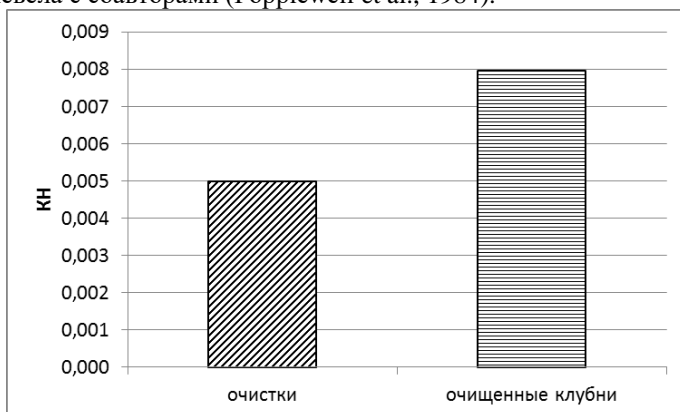


Рисунок 2– Коэффициент накопления Cs-137 в очистках и очищенных клубнях картофеля, выращиваемого на территории Плавского радиоактивного пятна

Возможно, отмеченная разница в уровнях содержания радионуклида в сочных внутренних слоях и в относительно более сухой кожице, составившей основную массу отделяемых очистков клубня, определяется различиями в обводненности этих участков.

Действительно, при сравнении накопления Cs-137 в соке картофеля, крахмалистом осадке от сока и жмыхе было выявлено, что относительно повышенными показателями величин КН и запасов Cs-137 обладали сок и крахмалистый осадок, а для жмыха было характерно очень низкое содержание радиоцезия (рис. 3, а, б).

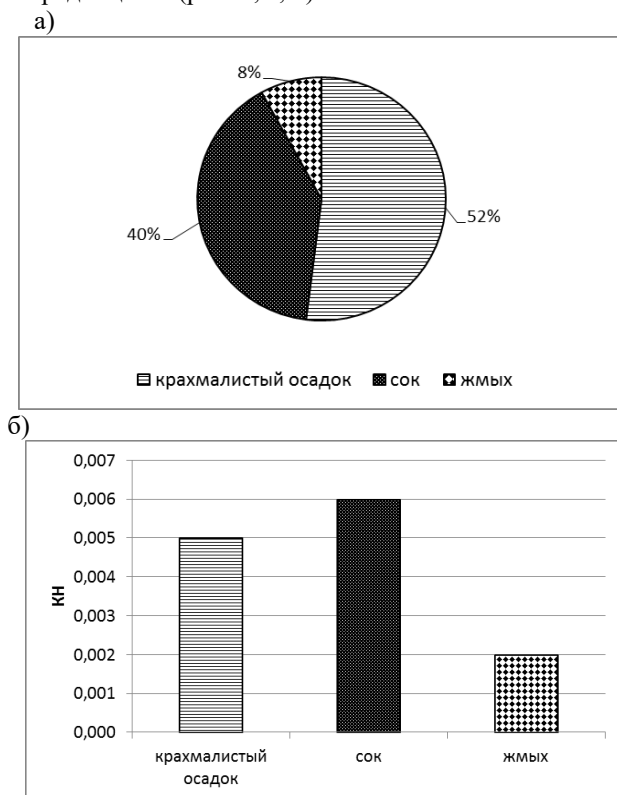


Рисунок 3 – Коэффициент накопления Cs-137 (а) и запас Cs-137 (б) в крахмалистом осадке, соке, жмыхе картофеля, выращиваемого на территории Плавского радиоактивного пятна

Таким образом, в настоящее время плотность радиоактивного загрязнения Cs-137 агрочерноземов Плавского радиоактивного пятна превышает предельно допустимый уровень в ≈ 4 раза. Однако переход Cs-137 в компоненты картофеля сильно дискриминирован (значения КН менее 0,1). Основная часть радиоцезия, поступившего в растение, накапливается в надземных побегах, тогда как переход Cs-137 в подземную часть картофеля в ≈ 4 раза меньше. Следовательно, для растений картофеля характерно низкое корневое потребление радионуклида с транслокацией Cs-137, главным образом, в надземные побеги. В целом, содержание Cs-137 в клубнях картофеля очень низкое и

соответствует санитарным нормам, при этом внутренняя часть клубня картофеля характеризуется несколько повышенными значениями КН по сравнению с очистками, что свидетельствует о накоплении Cs-137 в тканях клубня. Однако очевидно, что доза, получаемая при потреблении человеком клубней картофеля мала, поэтому его использование местным населением, либо в коммерческих целях может осуществляться без ограничений.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ №14-05-00903.

Список литературы

1. Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии – Люксембургское бюро для официальных изданий Европейских сообществ, 1998. – 71 с.;
2. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов, 2001;
3. Сельскохозяйственная радиология / Под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. - М.: Экология, 1992. - 400 с.;
4. Технологические приёмы, обеспечивающие повышение устойчивости агроценозов, восстановление нарушенных земель, оптимизацию ведения земледелия и получение соответствующей нормативам сельскохозяйственной продукции товаропроизводителями различной специализации / Под ред. Н.И. Санжаровой - Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2010. – 180 с.;
5. ФЗ № 1244-1 от 15 мая 1991 г. «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации, вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС», 1991;
6. Greger M. Uptake of nuclides by plants / M. Greger – Stockholm University, Sweden, 2004. – 66 p.;
7. Handbook of parameter values for the transfer and freshwater environments - International atomic energy agency. - Vienna, 2010.- 109 p.;
8. Popplewell D.S., Ham G.J., Johnson T.E., Stahner J.W., Sumner S.A. The uptake of Plutonium-238, 239, 240, Americium-241, Strontium- 90 and Caesium-137 into potatoes // The Science of the Total Environment, 1984. - Vol. 38. – P. 173-181;
9. White P. J., Broadley M.R. Mechanisms of caesium uptake by plants // New Phytol., 2000. - Vol. 147 № 113. - P. 241-256;
10. Zhu Y-G., Smolder E. Plant uptake of radiocaesium: a review of mechanisms, regulation and application // J. of Experimental Botany, 2000. - Vol. 51, N 351.- P.1635 – 1645.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАНДАРТОВ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ
ПРОИЗВОДСТВЕ ГОВЯДИНЫ С УЧЕТОМ НОРМАТИВОВ
ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА ПО
СОДЕРЖАНИЮ РАДИОНУКЛИДОВ**

Е.В. Копыльцова¹, Э.Н. Цуранков¹, В.С. Аверин², О.А. Мерзлова³

1 – РНИУП «Институт радиологии» МЧС Республики Беларусь,
г. Гомель, Беларусь

2 – УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»,
г. Гомель, Беларусь

3 – Могилевский филиал РНИУП «Институт радиологии», Могилев,
Беларусь
e-mail: kev81@tut.by

Построен прогноз уровней загрязнения ^{137}Cs и выполнена оценка рисков превышения норматива Таможенного союза 200 Бк/кг в мясе КРС для часто используемых рационов кормления в сельскохозяйственных организациях наиболее загрязненных районов Гомельской и Могилевской областей. Наличие статистических распределений загрязнения кормов и продукции животноводства позволяет идентифицировать территории с разными уровнями рисков производства продукции, загрязненной выше норматива.

Taking into account the most typical feed rations in beef farm enterprises of contaminated Gomel and Mogilyov areas, Belarus, the research was done to estimate of ^{137}Cs concentrations in meat and meat products derived from beef cattle and assess risks associated with potential cases of producing foods with the levels of contamination higher than 200 Bq/kg, as established by the Food Safety TR CU 021/2011. Statistical distributions occurred in the levels of contamination of feeds and animal products make it possible to identify the territories with different levels of risks associated with production of beef and derived products with the levels of contamination higher than the reference level.

Значительная часть мяса и продуктов его переработки, произведённых на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь, экспортируется в страны-участницы Таможенного союза. Наиболее проблемным требованием технического регламента ТР ТС 021/20011 по сравнению с Республиканскими допустимыми уровнями (РДУ-99) является предел в 200 Бк/кг по содержанию ^{137}Cs в мясе. Этот допустимый уровень в 2,5 раза жестче внутриреспубликанских требований. Кроме того, в результате перехода на более жесткий норматив ожидаются сложности с отбраковкой скота по радиологическому фактору на мясокомбинатах на стадии его

поступления. Основная причина – работа на пределе детектирования измерительных приборов и увеличение времени измерения одного животного. Без специальных расчетов сложно предсказать потенциальные объемы производства сельскохозяйственной продукции, загрязненной сверх норматива.

При использовании технического регламента Таможенного союза по содержанию радионуклидов в пищевой продукции нарушается базовый принцип согласованности нормативов. Этот принцип основывался на том, что ранее, с учетом «классических» коэффициентов перехода ^{137}Cs в молоко и мясо (1% и 4% от суточного рациона, соответственно), при кормлении животных одними и теми же видами кормов (рационом), содержание данного радионуклида в молоке на уровне установленных нормативных значений (100 Бк/л) автоматически гарантировало его содержание в мясе менее 500 Бк/кг, т.е. в пределах нормативных значений. Расчеты показывают, что при кормлении лактирующих коров кормами с содержанием в них ^{137}Cs , позволяющими получать молоко с удельной активностью радионуклида выше 50-60 Бк/л, существуют значительные риски того, что в мясе содержание ^{137}Cs превысит установленный норматив (200 Бк/кг).

Основной целью данного исследования было оценить риски производства мяса с превышением нормативов ТР ТС 021/2011 для сельскохозяйственных предприятий Гомельской и Могилевской областей.

Оценка рисков превышения установленных нормативов по содержанию радионуклидов в говядине и кормах осуществлялась как по фактическим данным радиационного контроля на мясокомбинатах, так и методами математического моделирования для 15 районов Гомельской и 5 районов Могилевской области.

Методы и модели, применяемые для моделирования поступления радионуклидов, базируются на экспериментальных данных по содержанию радионуклидов в почве и продукции сельского хозяйства, причем в качестве параметров моделей, как правило, используют средние величины. В то же время эти показатели характеризуются значительной вариабельностью, что обусловлено пространственной неоднородностью радиоактивных выпадений и свойств почвы, определяющих переход радионуклидов в растения, и тем самым снижают точность прогноза. Прогноз средних уровней загрязнения менее информативен, чем оценка рисков, так как не дает представления о варьировании загрязнения продукции, как по элементарным участкам, так и во временном плане в результате изменчивости метеоусловий в разные годы. При различных уровнях загрязнения почв радионуклидами неопределенность прогноза содержания радионуклидов в продукции имеет разные практические выходы и последствия – так называемую цену риска.

Оценка и анализ риска получения продукции с превышением нормативных значений является новым, но интенсивно развиваемым во всём мире междисциплинарным научным направлением, принципиальные положения которого заключаются, в частности, в объединении в единый процесс принятия решений расчет риска и управление им. Риск представляет собой характеристику ситуации, когда возможны различные уровни загрязнения продукции и существует неопределенность в отношении получения нормативно-чистого продукта [1-3].

Созданы модели прогнозирования поступления радионуклидов в товарную продукцию растениеводства и животноводства, позволяющие оценивать, как ожидаемые средние значения содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственном сырье и кормах, так и рассчитывать нормативные риски производства продукции, не соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам [4-6]. Модель предполагает условия квазиравновесного состояния поступления радионуклидов в растения и организм животных и учитывает влияние различных факторов на переход радионуклидов в продукцию.

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.

При прогнозе содержания ^{137}Cs 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. При расчетах использовались три силосных, два сенажных, два летних рациона.

Расчет вероятности превышения содержания радионуклида для каждого вида корма производился стандартными статистическими методами по плотности вероятности величины распределения удельной активности исходя из агрохимических показателей, типа и гранулометрического состава почвы, на которой была выращена кормовая культура [7]. При оценке риска производства говядины с превышением нормативных значений учитывались неопределенности, связанные с вариабельностью уровней загрязнения радионуклидами кормовых культур и рационов кормления, типом рациона и его составом.

Оценка вероятности реализации опасного фактора (превышение санитарно-гигиенических нормативов) устанавливалась исходя из четырех возможных вариантов: риск отсутствует, незначительный,

значительный и высокий [1,3]. В качестве критериев рисков использовались, установленные в Беларуси или ЕАЭС значения допустимых уровней.

Минимальное содержание ^{137}Cs в мясе прогнозируется при кормлении КРС рационами силосного типа, при этом риски превышения норматива 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 естественных луговых земель и зимне-стойловых рационов сенажного типа. Риск производства мяса КРС с превышением норматива в 200 Бк/кг присутствует в 35 сельскохозяйственных предприятиях Гомельской и Могилевской областей, и оценивается как высокий.

Анализ фактических данных по удельной активности ^{137}Cs в говядине (данные 2014 года) показал, что его содержание в мясе большинства сельскохозяйственных предприятий, как правило, не превышает 100 Бк/кг:

- по Гомельской области 94,8% измеренных значений находится в диапазоне менее 37 Бк/кг, 2,7% – в диапазоне 37-50 Бк/кг, 2% – 50-100 Бк/кг, 0,4% – 100-200 Бк/кг, 0,1% – 200-500 Бк/кг (42 тонны);

- по Могилевской области 99,37% измеренных значений находится в диапазоне менее 37 Бк/кг, 0,3% – в диапазоне 37-50 Бк/кг, 0,27% – 50-100 Бк/кг, 0,03% – 100-200 Бк/кг, 0,03% – 200-500 Бк/кг (7,9 тонн).

В 2014 году в семи сельскохозяйственных предприятиях Гомельской области и в двух сельскохозяйственных предприятиях Могилевской области 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.

На основании выполненных исследований были выделены как группа сельскохозяйственных предприятий, в которых фактически содержание ^{137}Cs в мясе КРС по данным мясокомбинатов превышает 200 Бк/кг, так и группа предприятий по степени риска получения мяса с превышением норматива. Было принято решение выделить 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.

Полученные результаты дают основания для проведения дальнейших исследований с выработкой соответствующих практических рекомендаций по совершенствованию организационно-производственных мероприятий, направленных на оптимизацию кормовой базы «критических» сельскохозяйственных организаций.

Список литературы

1. Управление качеством и безопасностью пищевых продуктов на основе анализа рисков и критических контрольных точек. Общие требования: СТБ 1470-2004. Введ. 30.06.04 № 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. Аверин В.С., Буздалкин К.Н., Копыльцова Е.В., Цуранков Э.Н. Применение статистических методов для прогноза загрязнения ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr сельскохозяйственных культур в отдаленный период после катастрофы на Чернобыльской АЭС //25 лет после Чернобыльской катастрофы. Преодоление ее последствий в рамках Союзного государства. Сб. пленарных докладов Межд. науч.-практ. конф. Под общ. ред. доктора биол. наук В.С. Аверина. - Гомель. - "Сож". - 2011. - С. 136-144.
5. Аверин В.С., Копыльцова Е.В., Цуранков Э.Н. Оценка рисков производства овощной продукции и картофеля с превышением санитарно-гигиенических нормативов на примере южных районов Гомельской области // Чернобыль: Опыт Международного сотрудничества при ликвидации последствий аварии. Тезисы докладов Междун. конф., Россия, Москва-Обнинск, 23-25 ноября 2011 года. – Обнинск, 2011. – С.221-223.
6. В.С. Аверин, Е.В. Копыльцова, Э.Н. Цуранков, К.Н. Буздалкин Оценка рисков производства говядины с превышением санитарно-гигиенических нормативов Республики Беларусь и Российской Федерации // Повышение интенсивности и конкурентоспособности отраслей животноводства. Тезисы докл. междун. науч.-практ. конф. 14-15 сент. 2011 г. Часть 2. Жодино, 2011, С. 280-282.
7. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.

УДК 631.412;546.47

ЗАВИСИМОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЦИНКА РАСТЕНИЯМИ ОТ СВОЙСТВ ПОЧВ

И.В. Кочетков, В.С. Анисимов, Д.В. Дикарев, Л.Н. Анисимова, Ю.Н. Корнеев, Л.М. Фригидова

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: ikochetkoff@gmail.com, vsanisimov@list.ru

В настоящем исследовании предпринята попытка, исходя из природного разнообразия физико-химических характеристик разных почв европейской части России, установить количественные связи между физико-химическими показателями состояния почв и, показателем, характеризующим биологическую доступность ⁶⁵Zn с использованием тест-растения - ячменя.

An attempt, based on the natural diversity of physical and chemical characteristics of different soils of the European part of Russia, was made to quantify the relationship between indicators of physical and chemical properties of soils and indicator of ^{65}Zn bioavailability using test plant - barley.

Цель работы – оценка инактивирующей способности почв по отношению к ^{65}Zn , и разработка методических подходов к оценке влияния эдафических факторов на подвижность ^{65}Zn в системе почва–растение.

Была составлена представительная выборка (из 16 типов, видов, разновидностей почв, относящихся к разным климатическим зонам европейской части России) и проведены модельные вегетационные опыты. Опыт предусматривал выращивание в контролируемых условиях растений ячменя сорта Зазерский-85 в течение двух недель на почвах, искусственно загрязненных ^{65}Zn .

Биологическую доступность радионуклида ^{65}Zn исследовали с помощью коэффициентов накопления (K_n), представляющих собой отношение удельной активности металла сухом растительном материале к его удельной активности в абсолютно сухой почве.

Физико-химические показатели состояния почв, содержание подвижных форм элементов, определяли общепринятыми методами (табл. 1): pH KCl; содержание фракции физической глины (<0.01 мм, %); $\text{Fe}_{\text{подв}}$ (вытяжка Тамма); $\text{P}_{\text{подв}}$, $\text{K}_{\text{подв}}$ (для всех почв по Чирикову); подвижных форм Zn в почвах; гумуса (методом Тюрина); состав гумуса в щелочных вытяжках из минеральных почв методом Кононовой–Бельчиковой, соотношение алифатических и ароматических частей органических молекул ($E4/E6$) в гуматах, полученных из щелочных вытяжек из минеральных почв. Концентрацию Fe, Zn в почвенных вытяжках и растениях определяли после соответствующей пробоподготовки оптическим эмиссионным методом (ИСП-ОЭ спектрометр Liberty II фирмы Varian).

Одновременное действие большого числа взаимосвязанных и независимых факторов, как на эдафическом, так и на биологическом уровнях, оказывает влияние на поглощение цинка. Это проявляется в виде варибельности значений K_n для разных почв и видов растений. Результаты, приведенные в табл. 1, показывают, что разброс значений физических и химических показателей состояния для исследуемых почв весьма значителен.

Была проведена параметризация регрессионных моделей, связывающих показатели, характеризующие свойства почв в качестве входных переменных, с доступностью растениям ^{65}Zn для разных почв, произведено их ранжирование по степени вклада в инактивирующую способность почв в отношении радионуклида. Для этого производилась многоэтапная процедура.

Таблица 1 – Показатели, характеризующие химические и физические свойства почв, а также удельные активности и коэффициенты накопления ^{65}Zn ячменем (среднее стандартное отклонение, $n=3$)

Почва	[Zn], мг/кг		С орг., %	P_2O_5 новш мг/кг	K_2O новш	CaCO_3 , %	Fe, мг/кг	pH KCl	С _{ДК} С _{фк}	E4/E6	Фракция <0,01 мм, %	Удельная активность ^{65}Zn ,		Кч ^{65}Zn
	выяжка 1М HCl	валовый										почвы	растения	
Ч ⁰ (Еф)	14,6±0,5	49,2±1,8	3,92±0,02	57±1	99,9±5,2	0,28±0,02	1435±131	5,03±0,01	2,05	4,17±0,00	62,3	223±2	1002±153	4,49±0,64
Ч ⁰ (Ел)	9,1±0,2	52,0±9,6	3,94±0,03	325±74	127±1	0,68±0,02	2250±93	6,80±0,01	1,67	3,64±0,01	59,8	238±24	1041±125	4,38±0,09
ДК(Ки)	11,4±0,2	49,6±2,7	5,65±0,06	103±13	230±8	5,00±0,13	2990±75	7,02±0,01	0,86	4,45±0,02	51,8	231±2	455±131	1,97±0,55
Ч ⁰ (Сг)	16,4±0,1	62,5±3,7	3,32±0,02	109±3	152±1	6,79±0,63	2558±13	7,16±0,01	1,58	4,23±0,01	60,9	220±14	328±81	1,48±0,28
Ч ⁰ (А)	11,9±0,1	52,7±7,7	2,39±0,05	121±5	167±1	0,51±0,03	5973±45	7,27±0,01	1,43	3,74±0,02	81,6	220±4	787±420	3,60±1,97
Ч ⁰ (Ес)	7,6±0,2	33,3±0,0	4,34±0,02	139±6	279±5	0,39±0,05	2120±95	6,42±0,02	1,42	3,72±0,02	80,7	215±5	1278±216	5,93±0,87
Ч ¹ (В)	10,3±0,0	63,3±12,3	4,29±0,04	202±21	155±1	0,14±0,01	2296±119	5,56±0,02	1,84	3,64±0,00	75,5	245±33	1461±174	5,96±0,09
Ч ⁰ (К)	7,7±0,1	49,4±1,2	2,98±0,11	164±4	91,9±12,3	0,13±0,05	621±5	6,01±0,10	0,81	3,66±0,02	48,1	222±10	1724±10	7,75±0,39
Ч ¹ (Р)	12,0±0,3	55,9±0,3	4,29±0,07	233±4	158±2	0,18±0,04	1731±65	6,05±0,05	3,60	3,62±0,02	72,5	229±13	1215±114	5,29±0,20
Л ⁰ (В)	8,7±1,2	29,4±0,4	1,65±0,02	165±27	87±2	0,32±0,02	1840±33	7,55±0,01	1,24	3,82±0,09	36,6	215±12	914±626	4,18±2,69
Л ¹ (К)	10,1±0,9	43,4±8,0	0,77±0,02	59±1	77,5±5	0,12±0,02	2618±268	5,97±0,01	0,36	3,99±0,01	42,2	202±8	1368±119	6,81±0,86
Л ⁰ (Ж)	9,5±0,2	43,2±3,1	2,89±0,05	29±1	60,6±3,4	0,08±0,11	3322±28	4,77±0,01	0,46	4,93±0,15	34,5	202±18	1165±188	5,74±0,43
Л ¹ (Т)	8,7±0,3	35,1±3,0	1,16±0,01	244±4	53,7±0,8	0,10±0,02	2608±230	5,19±0,05	0,71	5,14±0,01	38,9	217±7	786±101	3,64±0,58
Л ⁰ (Н)	9,6±0,1	38,4±0,4	2,19±0,19	199±23	93,4±3,3	0,18±0,03	6633±472	5,66±0,01	0,99	4,71±0,27	37,9	220±7	725±396	3,27±1,71
Л ¹ (Н)	9,6±0,0	35,7±1,3	1,18±0,06	473±13	109±12	0,31±0,00	2495±7	5,90±0,01	0,55	4,30±0,20	47,2	209±3	1243±175	5,95±0,76
Л ¹ (П)	4,2±0,4	29,6±0,4	0,85±0,02	97±3	74,1±1,7	0,08±0,02	1543±156	5,74±0,06	0,63	4,70±0,11	18,4	231±12	2105±699	9,05±2,75

Поскольку все определенные физико-химические показатели состояния почв (входные переменные) измерялись в разных единицах, они были подвергнуты процедуре нормализации, т.е. из значений каждой переменной по совокупности наблюдений были вычтены соответствующие средние, а полученная разность нормирована на среднеквадратичное отклонение. Затем, с помощью факторного анализа (метода главных компонент) количество входных переменных было редуцировано: взаимозависимые переменные представлены в виде ортогональных факторов, представляющих собой их линейные комбинации.

Лучшим критерием для определения количества выделяемых факторов при структурном анализе сложных систем является отклонение от линейного хода кривой объяснимой дисперсии, свидетельствующее об изменении вклада очередного фактора в величину данного показателя по сравнению с величиной, соответствующей гипотезе об однородной структуре корреляционной матрицы анализируемых признаков. Часто это критерий также называют "критерием Кэттеля" или критерием "каменистой осыпи". На его основании выбраны 5 факторов с собственными значениями, превышающими 0.5. В дальнейшем использовали метод главных компонент именно для этих факторов. Получены собственные значения и матрица факторных нагрузок (корреляций выделенных факторов) с независимыми переменными. Матрица была подвергнута вращению на 45° методом варимакс с целью получения более понятной или интерпретируемой матрицы факторных нагрузок (табл. 2).

Таблица 2 – Факторные нагрузки при вращении варимакс исходных данных (жирным шрифтом отмечены нагрузки >0.7)

Параметр	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5
<i>1</i>	2	3	4	5	6
С _{орг} в почве, %	0.81	-0.04	-0.13	-0.11	0.42
P ₂ O ₅ _{подв} мг/1000 г	0.02	0.06	0.99	-0.02	-0.09
CaCO ₃ , %	0.06	0.17	-0.11	0.02	0.95
Fe _{подв} , мг/кг	-0.04	-0.00	-0.02	0.99	0.01
pH KCl	0.06	0.89	0.06	0.10	0.39
C гк/С фк	0.85	0.08	0.10	-0.13	-0.05
E4/E6	-0.58	-0.70	-0.05	0.25	0.25
<i>1</i>	2	3	4	5	6
Фракция <0.01 мм	0.87	0.30	0.04	0.14	-0.01
Объяснимая дисперсия	2.49	1.41	1.03	1.11	1.32
Доля от общей дисперсии	0.31	0.18	0.13	0.14	0.16

Из таблицы 2 следует, что новая нормированная переменная, обозначенная как Фактор 1, сильно коррелирует с тремя исходными переменными: С орг, С гк/С фк и фракция <0.01 мм (коэффициент множественной корреляции $R=0.98$, коэффициент детерминации $R^2=0.96$, $F(3,12)=95.6$, $p<1\times 10^{-7}$; частный $r^2_{\text{Сорг}} = 0.61$; частный $r^2_{\text{Сгк/Сфк}} = 0.69$; частный $r^2_{\text{Фр}<0.01} = 0.64$):

$$\text{Фактор1} = f(\text{С}_{\text{орг.}}, \text{С гк/С фк}, \text{Фракция } <0.01 \text{ мм}) = (0.33 \pm 0.08) \times \text{С}_{\text{орг.}} + (0.41 \pm 0.08) \times \text{С гк/С фк} + (0.39 \pm 0.08) \times \text{Фр. } <0.01 \text{ мм} \quad (1)$$

Аналогично, новая нормированная переменная, обозначенная как Фактор 2, сильно коррелирует с двумя исходными переменными: рН КС1 и Е4/Е6 (коэффициент множественной корреляции $R=0.93$, коэффициент детерминации $R^2=0.87$, $F(2,13)=45.0$, $p<1\times 10^{-6}$; частный $r^2_{\text{рН КС1}} = 0.75$; частный $r^2_{\text{Е4/Е6}} = 0.41$:

$$\text{Фактор2} = f(\text{рН(КС1)}, \text{Е4/Е6}) = (0.72 \pm 0.11) \times \text{рН(КС1)} - (0.34 \pm 0.11) \times \text{Е4/Е6} \quad (2)$$

Остальные представленные факторы (3–5) сильно коррелируют только с одной переменной каждый (соответственно, с $\text{P}_2\text{O}_{5\text{подв}}$, $\text{Fe}_{\text{подв}}$ и CaCO_3). В дальнейшем множественном регрессионном анализе вместо них были использованы значения самих нормированных переменных.

В итоге, получили пять независимых (ортогональных) переменных, две из которых являются сложными. Таким образом, зависимая переменная $K_n \text{ } ^{65}\text{Zn}$ является функцией от переменных, которые можно рассматривать в качестве независимых при расчете множественной корреляции между физико-химическими показателями состояния почв и $K_n \text{ } ^{65}\text{Zn}$.

После устранения неортогональности исходных переменных (объединения взаимозависимых переменных) можно приступить к оценке влияния физико-химических свойств почв, выраженных через показатели состояния, на биологическую доступность ^{65}Zn .

Суть методики заключалась в оценке вклада отдельных характеристик почвенного состояния, играющих наиболее важную роль в регулировании подвижности (и биологической доступности) радионуклидов с использованием метода множественного регрессионного анализа.

При этом использована линейная модель, связывающая между собой нормированные (см. выше) независимые и исходную зависимую ($K_n \text{ } ^{65}\text{Zn}$) переменные:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + \dots + B_n X_n, \quad (3)$$

где B_0, B_1, \dots, B_n – коэффициенты регрессионного уравнения, X_1, X_2, \dots, X_n – независимые переменные (показатели состояния почв).

Квадрат множественного коэффициента корреляции (коэффициент детерминации) составляет 0.75 ($F(6.9) = 4.50, p < 0.022$). Таким образом, с помощью выбранных модели и набора переменных можно объяснить 75% вариабельности резульативного признака. Данный результат свидетельствует о приемлемости предложенного подхода для оценки роли почвенных характеристик в биологической доступности ^{65}Zn .

Среди используемых независимых переменных статистически значимый вклад в варьирование величины K_n ^{65}Zn вносят содержание подвижного Fe (частный $r_{\text{Fe}} = -0.61$), содержание свободных карбонатов (частный $r_{\text{карб}} = -0.57$) и содержание кислоторастворимого Zn (частный $r_{\text{Zn}} = -0.43$). Поэтому в окончательную регрессионную модель, связывающую физико-химические показатели состояния почв с накоплением ^{65}Zn в вегетативной массе ячменя ($R^2=0.72, F(2,13) = 10.42, p < 0.001$) были включены только эти 3 независимые переменные:

$$K_n \text{ } ^{65}\text{Zn} = (4.97 \pm 0.30) - (0.84 \pm 0.38) \times \text{CaCO}_3 - (0.78 \pm 0.31) \times \text{Fe}_{\text{подв}} - (0.77 \pm 0.38) \times \text{Zn}_{\text{кисл.}} \quad (4)$$

В результате анализа полученных данных установлено, что наибольший вклад в варьирование резульативного признака (K_n ^{65}Zn) вносят содержание подвижного Fe (частный $r^2_{\text{Fe}} = 0.34$), содержание свободных карбонатов (частный $r^2_{\text{карб}} = 0.30$) и содержание кислоторастворимого Zn (частный $r^2_{\text{Zn}} = 0.26$). Схематически этот вклад (в процентах) с учетом взаимодействия показателей и влияния иных факторов представлен на диаграмме (рис. 1).

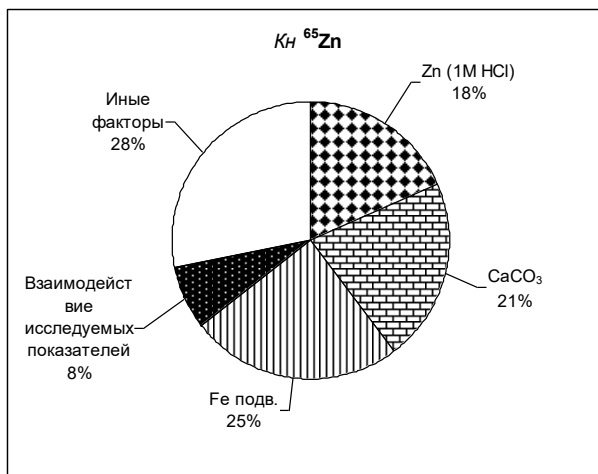


Рисунок 1 – Вклад показателей состояния почв в вариабельность резульативного признака – K_n ^{65}Zn

Полученные результаты позволяют ранжировать выбранные физико-химические показатели состояния почв по степени влияния на величину

коэффициента накопления ^{65}Zn ячменем: подвижное Fe > свободные карбонаты (Ca и Mg) > кислоторастворимый Zn.

УДК 577.346

СОВРЕМЕННАЯ РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНОЙ ПАСПОРТИЗАЦИИ

В. В. Кречетников, О. А. Шубина, С. Н. Нуштаев

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: death78@yandex.ru

В статье приведен краткий обзор результатов паспортизации населенных пунктов, расположенных в юго-западных районах Брянской области, наиболее пострадавших в результате аварии на ЧАЭС. Показано, что несмотря на улучшение радиационной обстановки, на радиоактивно загрязненных территориях требуется адресное проведение реабилитационных мероприятий.

The article is a summary of the results of passportization of the settlements located in the south-western districts of the Bryansk region most affected by the Chernobyl accident. It is shown that despite the improvement of radiation situation in the contaminated areas targeted rehabilitation measures are required.

Авария на ЧАЭС стала причиной радиоактивного загрязнения обширных территорий. Радиоактивное загрязнение, и последующее выведение сельскохозяйственных угодий из землепользования и отселение, повлекли за собой ряд социальных, экономических и радиологических последствий. Несмотря на положительные результаты, достигнутые в результате реализации мер по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, к настоящему времени не удалось полностью решить проблему радиационной безопасности, обеспечивающих условия безопасной хозяйственной деятельности и проживания населения.

Основой для разработки проектов реабилитации загрязненных территорий, а также принятия решений об уточнении льготного статуса населенного пункта являются данные комплексного обследования территорий населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий, объективная оценка хозяйственной и демографической ситуации, корректно оцененная радиационная обстановка. Такая информация может

быть скомпилирована в виде паспортов безопасности проживания на радиоактивно загрязненных территориях.

Работы по паспортизации радиоактивно загрязненных территорий (населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, лесов) Брянской области проводились в рамках реализации федеральной целевой программы «Преодоление последствий радиационных аварий на период до 2015 года».

Основная цель работ по паспортизации - обеспечение населения и органов исполнительной власти конкретной и объективной информацией для обоснования и проведения реабилитационных мероприятий и принятия решений по обеспечению безопасного проживания населения, ведения хозяйства и использования ареала обитания на радиоактивно загрязненных территориях.

Паспорта безопасности проживания на радиоактивно загрязненных территориях, составленные для населенных пунктов включают комплексную информацию об административно-территориальных и демографических показателях, радиационной обстановке, путях формирования доз облучения населения, объемах проведенных реабилитационных мероприятий, картографическую информацию, а также предложения и рекомендации по дальнейшему применению реабилитационных мер в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС. Основное требование к информации - это достоверность, достаточность для принятия решений, доступность для лиц ответственных за принятие решений, административных работников и населения.

Работа по паспортизации проводилась с 2012-2015 года. В 2011 году была разработана научно-методическая база, программные средства и начата комплексная паспортизация загрязненных территорий, а также были разработаны структуры паспортов безопасности проживания на радиоактивно загрязненных территориях для населенных пунктов и сельскохозяйственных предприятий.

По итогам предварительного анализа информации сформирован каталог с населенных пунктов юго-западных районов Брянской области, подлежащих паспортизации. Критериями для включения в каталог являлись:

- превышение у жителей населенных пунктов доз облучения выше 1 мЗв/год или существенный риск превышения дозовых нормативов;
- наличие в них населения, в том числе ведущего хозяйственную деятельность и имеющего частные подворья (например, наличие частного скота);
- превышение в населенных пунктах санитарно-гигиенических нормативов по производимой и потребляемой жителями пищевой продукции (молоко, говядина, свинина, картофель, грибы) или существенного риска превышения радиологических нормативов.

Информация, полученная в ходе выполнения работ по паспортизации обобщена в едином банке данных результатов паспортизации радиоактивно загрязненных территорий. В единый банк внесена информация для 217 населенных пунктов. Всего было составлено 125 паспортов населенных пунктов. Из них 61 населенных пунктов относятся к зоне отселения, 57 в зону проживания с правом на отселения и 7 в зону проживания с льготным социально-экономическим статусом.

К 2015 году в соответствии с постановлением Правительства РФ от 08.10.2015 N 1074 "Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС" количество населенных пунктов, входящих в зону отселения составило 26 населенных пунктов, в зону проживания с правом на отселения 88 и 22 в зону проживания с льготным социально-экономическим статусом.

По итогам анализа собранной комплексной информации на момент паспортизации радиационная обстановка на территории, загрязненной в результате аварии на ЧАЭС, существенно улучшилась. В период выполнения работ по паспортизации 2012-2015 гг. средняя годовая эффективная доза внешнего облучения превышала норматив 1 мЗв/год в 39 населенных пунктах. На начало 2016 года в 6 населенных пунктах доза облучения населения превышает норматив. К ним относятся 4 населенных пункта Красногорского района (Заборье, Николаевка, Яловка, Увелье), а также Старый Вышков Новозыбковского района. К 2064 году во всех населенных пунктах дозы будут ниже 1 мЗв/год (рис. 1).

Внутреннее облучение вносит существенный вклад в суммарную среднегодовую дозу облучения. В настоящее время в загрязненных районах наибольший вклад в формирование дозы внутреннего облучения вносят - молоко, «дары» леса (грибы и ягоды), мясо.

Для загрязненных территорий РФ характерно представление земель сельскохозяйственных предприятий для использования частными собственниками. В первую очередь это касается выделения улучшенных сенокосов и пастбищ. В связи с тем, что сельскохозяйственным предприятиям, как правило, выделяются государственные средства (мелиоранты, удобрения) для реабилитации загрязненных земель, то продукция, производимая сельскохозяйственными предприятиями «чище» (т.е. содержит меньше ^{137}Cs), чем продукция частных подворий.

Для улучшения ситуации в частном секторе происходит выделение земель (особенно, сенокосов и пастбищ) для использования населением. Эти факторы обязательно должны быть отмечены в паспортах безопасности проживания на радиоактивно загрязненных территориях, так как они являются одной из существенных причин снижения доз внутреннего облучения населения за счет потребления местных продуктов питания.

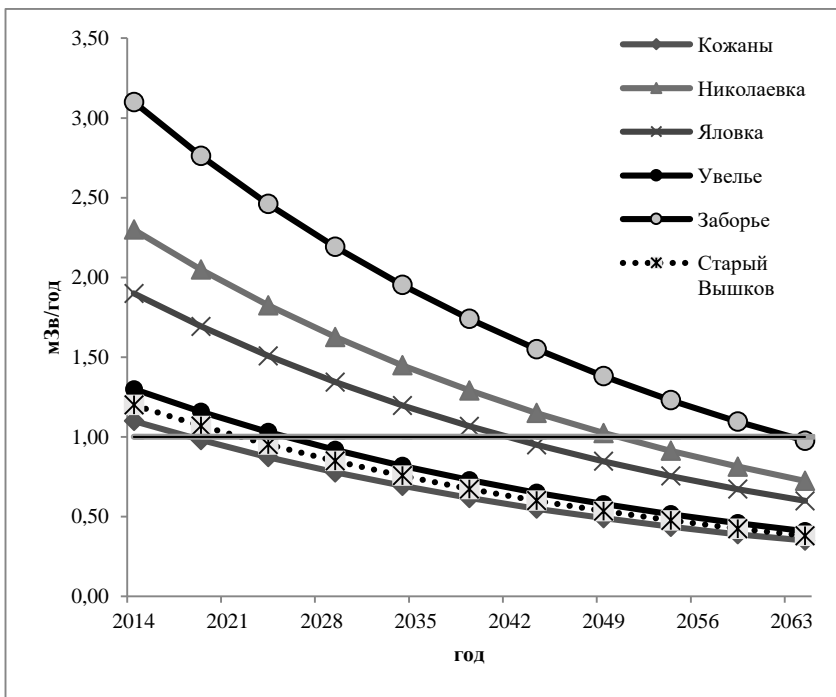


Рисунок 1 – Прогноз годовой эффективной дозы облучения населения при проживании в населенных пунктах на территории, загрязненной в результате аварии на ЧАЭС

Анализ загрязнения продукции, производимой в личных подсобных хозяйствах, показал, что в настоящее время отмечены случаи превышения содержания ^{137}Cs в молоке частных коров в 15 населенных пунктах Гордеевского района, 7 населенных пунктах Злынковского района, 1 населенном пункте Климовского района, 7 населенных пунктах Клинцовского района, 10 населенных пунктах Красногорского района и 12 населенных пунктах Новозыбковского района.

Поступление радионуклидов в организм с грибами эквивалентно поступлению со всеми продуктами природного происхождения. Согласно с гигиеническими требованиями безопасности продовольственного сырья и продуктов (СанПиН 2.3.2.1078-01 (с доп. и изм. №18 – СанПиН 2.3.2.2650-10)) концентрация в грибах не должна превышать 500 Бк/кг. Практически все населенные пункты, для которых разработаны паспорта безопасности проживания на радиоактивно загрязненных территориях, находятся в непосредственной близости к лесу, следовательно, потребление грибов довольно велико и составляет в среднем 5 кг в год. Поэтому лесная продукция с высоким содержанием радионуклида вносит существенный вклад в дозу внутреннего облучения. Анализ данных по удельной активности ^{137}Cs показал, что максимальное содержание этого

радионуклида в грибах может превышать установленный норматив более чем в 140 раз.

Анализ собранной информации показал, что, несмотря на улучшение радиационной обстановки, в населенных пунктах, расположенных на территории с высокими уровнями загрязнения, сохраняется риск производства и потребления продукции с высоким содержанием ^{137}Cs . Чтобы сократить такого рода риски на радиоактивно загрязненных территориях населенных пунктов требуется адресное проведение реабилитационных мероприятий.

УДК 553.578:574:577.346

СОРБЦИЯ ^{90}Sr ПРИРОДНЫМИ МИНЕРАЛАМИ И ИСКУССТВЕННЫМИ СОРБЕНТАМИ ВО ВРЕМЕНИ ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА

**Д.В. Крыленкин, Н.И. Санжарова, Н.В. Андреева,
И.В. Гешель, Н.В. Белова**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: cornblum@mail.ru

Была изучена динамика сорбции природными минералами (диатомитом и трепелом) и искусственными сорбентами. Показана скорость установления равновесия между разными формами сорбции ^{90}Sr . Сила и объем сорбции искусственных сорбентов превысили соответствующие показатели исходных сорбентов.

Dynamics of ^{90}Sr sorption by natural minerals (diatomite and tripolite) and artificial sorbents have been studied. Ratio stabilization of different radionuclide forms after 30-day period has been shown. The extent and strength of sorption by artificial sorbents are higher than by natural.

Ядерная энергетика является важным компонентом мирового производства электроэнергии. В России доля ядерной энергии составляет 17% (в регионах европейской части России, включая Урал, она доходит до 30-40%) [11]. Неотъемлемой частью работы АЭС является образование потенциально опасных искусственных радионуклидов, что приводит к появлению проблем их утилизации. Перед поступлением в окружающую среду сбросы АЭС должны пройти предварительную очистку от этих радионуклидов. От решения экологических проблем связанных с их эксплуатацией АЭС зависят перспективы дальнейшего развития ядерной энергетики.

Можно выделить три группы жидких радиоактивных отходов, получаемых в процессе эксплуатации АЭС. Для снижения активности

реакторной воды и поддержания заданного водно-химического режима теплоносителя часть его постоянно направляется систему специальной водоочистки (СВО) на фильтры внутриконтурной, «байпасной» очистки. Очистке на фильтрах подвергается конденсат (на АЭС с кипящими реакторами). В качестве фильтрующих материалов применяют ионообменные смолы и, например, перлит (намывной механический фильтр), которые периодически регенерируют или заменяют.

При проведении ремонтных работ на оборудовании первого контура или контура многократной принудительной циркуляции при перегрузке тепловыделяющих сборок на АЭС с корпусными реакторами часть теплоносителя сливают. Это вторая группа жидких радиоактивных стоков.

Перед проведением ремонтных операций для улучшения радиационной обстановки у ремонтируемого оборудования его дезактивируют, т. е. частично удаляют радиоактивные продукты коррозии, находящиеся в отложениях на внутренних поверхностях оборудования.

Дезактивационные и промывочные растворы представляют собою третью группу жидких радиоактивных стоков.

Для переработки жидких радиоактивных сточных вод на АЭС используют термические, сорбционные и мембранные методы.

Наиболее распространенным является термический метод. Обычно его дополняют сорбционным - удаление радионуклидов из сточных вод в результате адсорбции, ионного обмена, адгезии и т.д. Так, на Чернобыльской АЭС применяется установка для очистки трапных вод от солей и радиоактивных примесей до степени чистоты, позволяющей сбрасывать очищенные сточные воды в пруд-охладитель или использовать в оборотном цикле. Очистке подвергаются протечки контура, не поддающиеся организованному сбору и попадающие в трапы спец. канализации, минерализованные воды и растворы от дезактивации оборудования и регенерации ионообменных смол, частично обмывочные воды помещений, воды спецпрачечной и др.

Известен способ переработки жидких радиоактивных отходов [15] (аналог), заключающийся в том, что отходы обрабатывают измельченной алюмосиликатной глиной при температурах от 30 до 100°C с целью фиксации радиоактивных солей в матрице алюмосиликата.

Известен также способ очистки ЖРО путем фиксации их в матрице алюмосиликата при температуре не ниже 180°C, с продолжительностью проведения процесса не менее 6 часов [16].

Недостатком этих способов обработки ЖРО является то, что процесс очистки от радионуклидов проводят при высокой температуре (до 100-180°C) и продолжительности контакта жидких отходов с сорбентом-алюмосиликатом не менее 6 часов.

Жидкие радиоактивные отходы после очистки могут поступать в окружающую среду с дебалансными водами. Для реакторов типа PWR, BWR и CGR суммарные выбросы продуктов деления и нуклидов с наведенной активностью составляют соответственно 1,1; 2,2 и 5,9 ГБк на 1 МВт (эл)•год [16]. В стоках воды от реакторов ^{90}Sr по активности стоит на 19-м месте, ^{89}Sr на 13-м.

Радионуклид характеризуется бета-излучением с энергией около 0,546 МэВ. Радиологическая значимость ^{90}Sr обусловлена его высоким выходом при делении, длительным периодом полураспада (30 лет) и подвижностью в природных и сельскохозяйственных цепочках миграции [7]. Радиостронций характеризуется обменным типом поведения [10].

В работе Спицына В.И. и Громова В.В. (1959) показано, что ^{90}Sr преимущественно сорбируется минералами асканитом, бентонитом, вермикулитом, гумбрином и флогопитом, а в меньшей степени - гидрогетитом и гидромусковитом. Минералы группы монтмориллонита поглощают 92-99%, минералы каолиновой группы – 40-68%, слюды – 71-87%, кальцита, полевых шпатов, кварца и гипса – от 10-50% [8]. По энергии адсорбируемости атомы Sr в лиотропном ряду занимают промежуточное место между Ba^{2+} и Ca^{2+} , т.е. энергия сорбции Ca и ^{90}Sr неодинакова [12].

^{90}Sr является химическим аналогом Ca, что определяет в значительной мере его поведение.

Современные представления о процессах сорбции и фиксации радионуклидов базируются на теории селективной сорбции. Радиостронций характеризуется почти полным обменом на RES - Regular Exchange Sites (неселективные сорбционные центры, расположенные на поверхности твердой фазы) [5].

Адсорбция катионов в системе твердая фаза – раствор, может происходить в трех различных формах: в виде внутрисферных комплексов (специфическая), внешнесферных комплексов (неспецифическая) и в диффузном слое. Силы связи катиона с поверхностью возрастает в ряду: катионы в диффузном слое < катионы внешнесферных комплексов < катионы внутрисферных комплексов. Способность к образованию внутрисферных комплексов при прочих равных возрастает с увеличением ионного радиуса ($\text{Ba}^{2+} > \text{Sr}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$).

Для снижения подвижности ^{90}Sr в различных средах используются разнообразные методы.

Одним из приемов снижения подвижности радионуклидов в различных средах, является использование глинистых минералов и сорбентов [9]. Эффективность сорбентов по отношению к ^{90}Sr из-за обменного типа его поведения ниже, чем к ^{137}Cs . Основным способом очистки ЖРАО от него является использование ионообменных сорбентов.

В связи с этим, поиск новых сорбентов, снижающих подвижность ^{90}Sr , является актуальной научной и практической задачей.

Целью настоящей работы являлась оценка эффективности снижения подвижности ^{90}Sr при использовании природных минералов и новых искусственных сорбентов.

Для исследования были выбраны следующие сорбенты: 2-а природных минерала (диатомит и трепел); 4-е искусственных сорбента, разработанных во ВНИИСХРАЭ (КС-10Т, КС-20Т, КС-10СХ, КС-20СХ); удобрение Супродит, созданное на основе комплексного сорбента КС-20СХ. Химическая характеристика исследуемых объектов определялась по стандартным методикам.

Образцы были размолоты и пропущены через сито диаметром 1 мм. ^{90}Sr вносился в виде раствора $^{90}\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, средняя концентрация составила (415 ± 23) Бк/г образца. Влажность образцов поддерживалась на уровне 60% полной влагоемкости.

Для оценки подвижности ^{90}Sr применяли метод последовательных вытяжек Павлоцкой [1]. Для изучения динамики сорбции отбор проб производили в трехкратной повторности через 30 мин.; 1 час; 6 час; 1 сут., 7, 15, 30, 90, 180 сут; 1 год.

Эффективность применения сорбентов для снижения подвижности ^{90}Sr зависит от ЕКО, а состав сорбента, в первую очередь минералогический, влияет на прочность закрепления радионуклида. Исследованные образцы минералов и сорбентов значительно различаются по сорбционным свойствам. Емкость катионного обмена искусственных сорбентов в 3-8 раз выше, чем природных минералов.

Полученные результаты показывают, что во всех образцах содержание водорастворимой формы ^{90}Sr было минимальным и варьировало в основном от 0.1 до 2%. Исключение составили образцы диатомита, где было зарегистрировано от 2 до 8%. Достоверных различий по содержанию водорастворимой формы радионуклида в зависимости от времени не выявлено.

Содержание обменной формы радионуклида варьировало в широких пределах, как для различных образцов, так и в зависимости от времени взаимодействия. Во всех образцах (за исключением КС-10СХ) наблюдается снижение содержания обменной формы в первые 15 сут., однако через 30 сут. отмечена обратная тенденция и выход данного показателя на «плато». Максимальное содержание обменной формы радионуклида характерно для природных минералов – трепела и диатомита – 30-40%. Используемые искусственные сорбенты более прочно сорбируют радионуклид, что приводит к снижению содержания обменной формы - для КС-10Т в примерно 2-3 раза, для КС-20Т – в 3-4 раза, для Супродита в 6-10 раз, а для КС-10СХ, КС-20СХ в 15-27 раз.

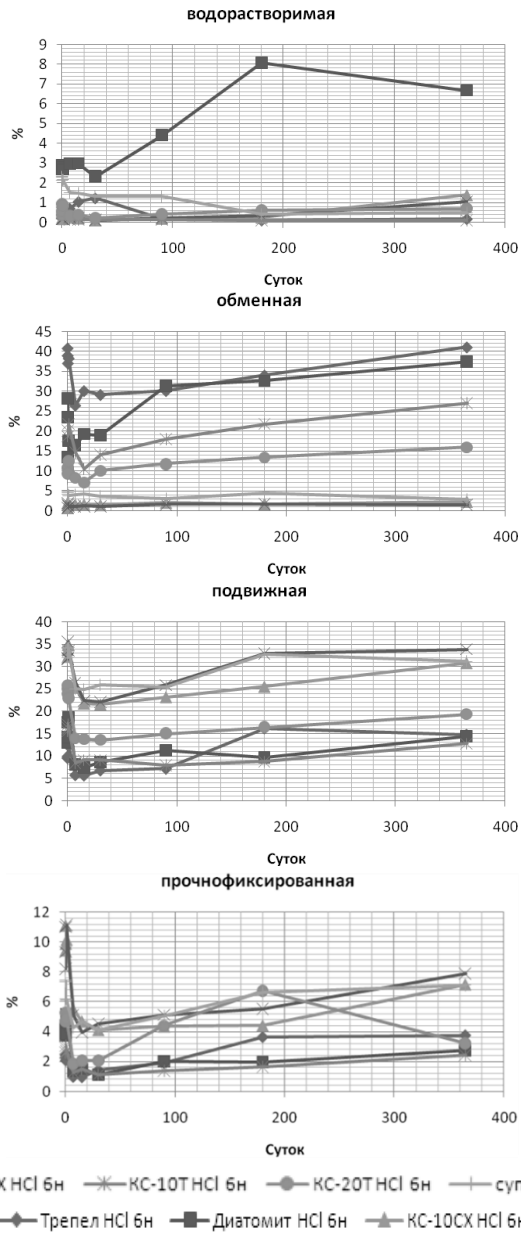


Рисунок 1 – Динамика содержания форм ^{90}Sr в природных и искусственных сорбентах

Динамика содержания подвижной формы ^{90}Sr аналогична обменной – до 15 сут. отмечено резкое снижение содержания, а после 30 сут. устанавливается относительное равновесие. Для трепела и диатомита характерно минимальное содержание подвижной формы (5-17%), а для КС-10СХ, КС-20СХ и Супродита – максимальное (8-35%). Для комплексных сорбентов (КС) характерно более высокое содержание подвижной формы (1 н. НСІ), чем обменной, что указывает на более прочное удерживание радионуклида.

Прочнофиксируемая форма по динамике не отличается от описанных выше, что позволяет предположить, что все формы находятся в определенном динамическом равновесии как до, так и после выхода на плато через 30 суток. Обработка диатомита и трепела 6 н. НСІ приводит к извлечению от 1 до 5%, для Супродита от 4 до 7,5%. Для КС характерно содержание от 4 до 11%. КС характеризуются повышенным содержанием прочносорбированной фракции по сравнению с естественными диатомитом и трепелом.

Неизвлекаемый остаток составляет для трепела и диатомита 40-60%, для Супродита – 50-65%, для КС-10СХ и КС-20СХ - 53-72%, для КС-10Т и КС-20Т - 59-78%.

Выводы

1. Для естественных сорбентов (трепела и диатомита) характерно нахождение ^{90}Sr преимущественно в обменной форме (30-40% для трепела, 16-37% для диатомита) и водорастворимой (0,2-1,0 и 3-8% соответственно). Содержание подвижной фракции составляет 5-16% в трепеле и 8-14% в диатомите, а 6 н. НСІ извлекается 1-5% радионуклида.

2. Для искусственных сорбентов соотношение форм зависит от типа сорбента. Содержание ^{90}Sr в подвижной и кислоторастворимой формах достигает 35,5%; водорастворимой формы составляет менее 1%, а обменной варьирует от 0,1 до 27%.

3. Динамика различных форм содержания ^{90}Sr характеризуется резким снижением подвижности радионуклида в течение первых двух недель после начала взаимодействия с сорбентами, а через 30-90 суток устанавливается относительное равновесие.

Список литературы

1. Вирченко Е.П., Агапкина Г.И. Радионуклид-органические соединения в почвах зоны влияния чернойбыльской АЭС // Почвоведение. 1993. №1. С. 13-18.
2. Коноплев А.В., Булгаков А.А. Обменный коэффициент распределения ^{90}Sr и ^{137}Cs в системе почва-вода // Атомная Энергия. 2000. Т. 88. Вып. 2. С. 152-158.
3. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. Под общ. ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. М.: ИздАТ, 2001. 751 с.
4. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах М.: Атомиздат, 1974. 216 с.
5. Поляков Ю.А. Радиоэкология и дезактивация почв. М.: Атомиздат, 1970. 304 с.
6. Пуятин Ю.В., Серая Т.М. Агроэкологические оптимумы насыщенности кальцием почв, загрязненных ^{137}Cs и ^{90}Sr //Почвоведение. 2007. №1. С. 106-112.

7. Сельскохозяйственная радиоэкология/Под редакцией Алексахина Р.М., Корнеева Н.А. М.: Экология, 1992. 400 с.
8. Спицын В.И., Громов В.В. Поглощение ^{90}Sr минералами // Почвоведение. 1959. №12. С. 45.
9. Степина И.А., Попов В.Е. Зависимость обменной доли селективно сорбированного ^{137}Cs в почвах и природных сорбентах от концентрации ^+K и NH_4^+ //Почвоведение. 2011. №6. С. 713-718.
10. Тимофеев-Ресовский И.В., Титлянова А.А., Тимофеев Н.А., Махонина Г.И., Молчанова И.В., Чеботина М.Я. Поведение радиоактивных изотопов в системе почва-раствор. Радиоактивность почв и методы ее определения. М.:Наука, 1966. С.46-80.
11. Фокин А.Д., Лурье А.А., Торшин С.П. Сельскохозяйственная радиология: учебник, 2-е издание. Спб.: Лань, 2011. 416 с.
12. Valcke E., Vidal M., Cremers A., Ivanov J., Perepylatnikov G. The use of ceolites as amendments in radiocaesium and radiostrontium contaminated soils: A soil-chemical approach // Science. 1997. V.18. P. 218-224
13. Соколова Т.А., Трофимов С.Я. Сорбционные свойства почв. Адсорбция, Катионный обмен. – М.: Университетская книга, 2009. – 172 с.
14. патент Франции №2266264, МПК G 21 F 9/16, 1975 г.
15. патент России №2120144, МПК G 21 F 9/20, 1997 г.1
16. Алексахин Р.М. Ядерная энергия и биосфера. М., Энергоиздат, 1982, 215 с.

УДК 577.391:631.4:504.53:539.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ СИП

А.Е. Кундузбаева, А.М. Кабдыракова, С.Н. Лукашенко

ИРБЭ НЯЦ РК, Курчатов, Республика Казахстан

e-mail:kunduzbaeva@nnc.kz

В работе проведены данные исследования форм нахождения искусственных радионуклидов ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am и ^{90}Sr в почвах основных испытательных площадок СИП ("Опытное поле", "Дегелен", "4а", объект "Атомное" озеро) и условно "фоновых" территорий СИП. Выявлены закономерности распределения радионуклидов в почвах СИП в зависимости от характера радионуклидного загрязнения почвенного покрова.

The paper provides there search undertaken for speciation of ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{241}Am and ^{90}Sr artificial radionuclides in soils of the main STS testing sites ("Experimental Field", "Degelen", "4a", "Atomic"lake site) and conventionally "background" territories of STS. Distribution regularities of radionuclides have been revealed in soils of STS depending on the nature of radionuclide contamination in the soil cover.

Введение

Одним из параметров, широко применяемых в комплексных радиоэкологических исследованиях являются формы нахождения радионуклидов в почвах. Формы нахождения радионуклидов применяются для оценки и прогноза биологической доступности и миграционной способности радионуклидов (миграция в пищевой цепи, вымывание поверхностными и грунтовыми водами) в почвах, в качестве научной основы для обоснования выбора метода ремедиации загрязненных территорий и т.д. [1, 2].

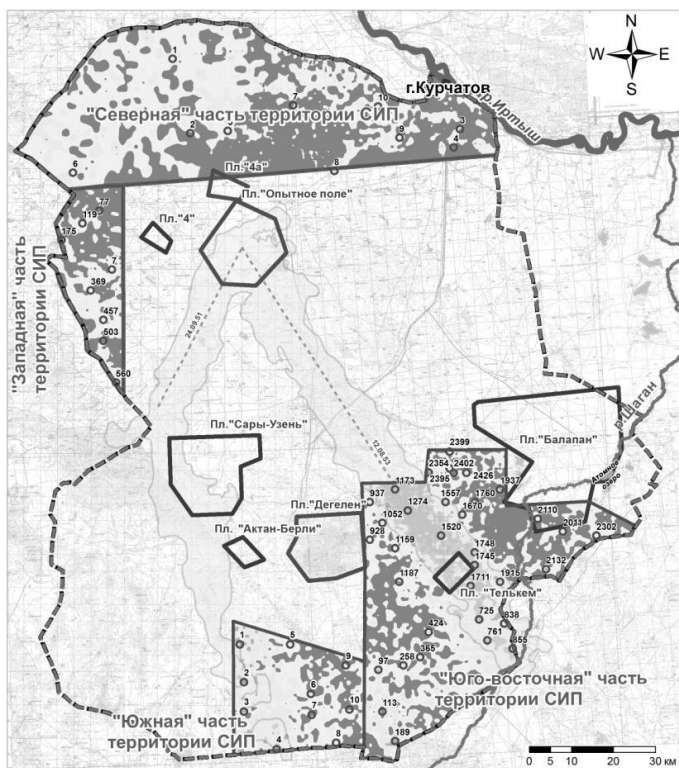
Уникальной особенностью территории СИП, определяющей научный интерес к ней, является нахождение на его территории объектов (испытательные площадки, условно "фоновые" территории СИП) с различным уровнем и характером радиоактивного загрязнения (тип испытания, механизм образования радиоактивных частиц) почвенного покрова. Целью данного исследования являлось выявление особенностей распределения форм нахождения искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ в почвах СИП в зависимости от характера радиоактивного загрязнения почвенного покрова. В ходе проведенных исследований были изучены основные испытательные площадки СИП и условно "фоновые" территории СИП. В работе проведена комплексная оценка и систематизация данных, накопленных в ходе ранних исследований, с целью определения единой целой картины о состоянии и особенностях распределения радионуклидов в почвах СИП с дифференциацией по механизму образования радиоактивного загрязнения. Данный подход расширяет возможности практического применения полученных результатов. Результаты исследования на СИП могут быть применены в оценке и прогнозе поведения радионуклидов в почвах загрязненных территорий с аналогичными механизмами образования радиоактивного загрязнения (территории в зоне влияния объектов атомной промышленности и энергетики (штатный режим деятельности, аварийные выбросы), ядерные полигоны, зоны влияния следов выпадений от ядерных взрывов и т.д.).

Объекты исследования

Объектом исследования являются основные испытательные площадки СИП ("Опытное поле", "Дегелен", "4а", объект "Атомное" озеро) и условно "фоновые" территории СИП.

Исследования площадки "Опытное поле" проводили на эпицентрах наземных ядерных испытаний. Было заложено от 2 до 4 исследовательских площадок на каждом эпицентральной участке. Всего исследовано порядка 30-ти проб почвы [3].

Условно фоновые территории СИП были изучены на примере "северной", "западной", "юго-восточной" и "южной" части СИП. Радиоактивное загрязнение на "северной" и "западной" территориях обусловлено глобальными выпадениями.



Условные обозначения



Рисунок 1 – Схема расположения объектов исследования на СИП

Условно фоновые территории СИП были изучены на примере "северной", "западной", "юго-восточной" и "южной" части СИП. Радиоактивное загрязнение на "северной" и "западной" территориях обусловлено глобальными выпадениями. На территорию "юго-восточной" и "южной" части влияние оказало прохождения следов выпадений от наземных ядерных испытаний. Отбор проб почвы в точках с повышенным содержанием радионуклидов почве, а также в зоне следов выпадений от наземных ядерных испытаний [4].

Объект "Атомное" озеро – результат проведения промышленного подземного ядерного взрыва с выбросом грунта (экскавационный взрыв). Для исследования был выбран участок максимального радиоактивного

загрязнения – вдоль направления следа выпадений от базисной волны [5]. Пробы почвы были отобраны последовательно на расстоянии от 60 до 400 м друг от друга по мере удаления от гребня воронки "Атомного" озера.

На площадке "Дегелен" исследования проводили на приустьевых площадках штолен № 176 и № 177 с водопроявлением, загрязнение которых обусловлено выносом радиоактивного загрязнения на дневную поверхность штольневymi водами [6,7]. Отбор проб был произведен вдоль русла водотока по мере удаления от портала штольни.

Загрязнение площадки "4а" обусловлено испытаниями боевых радиоактивных веществ (БРВ жидкие и порошкообразные). Исследовано 10 участков с максимальным радиоактивным загрязнением. Пробы почвы были отобраны в точках максимального радионуклидного загрязнения [8].

На объектах отбор проб почвы проводили на глубину 0-5 см методом "конверта" (на площадке "Дегелен" - точно на глубину 0-20 см).

Методика исследования форм нахождения радионуклидов в почве

Изучение форм нахождения радионуклидов в почвах проводили методом последовательной экстракции в модификации Павлоцкой Ф.И. Определяли водорастворимую (H_2O), обменную ($1M CH_3COONH_4$, $pH=4,8$), подвижную ($1M HCl$) и прочносвязанную (почва после экстракции) формы [9]. Схема была модифицирована добавлением промежуточной стадии определения фракций органически связанных радионуклидов раствором $0,1 NaOH$ на основе методики, разработанной Тюриным И.В. [10]. Соотношение почвы и выщелачивающего раствора составляло 1:5. В полученных вытяжках и в почве после вытяжек определяли содержание радионуклидов в соответствии с аттестованными методиками [11-13]. Погрешность аналитических измерений не превышала 20 %.

Результаты и обсуждение.

Радионуклид ^{137}Cs

Содержание ^{90}Cs в почвах СИП преимущественно находится в прочносвязанной форме, что является для данного радионуклида характерным (рисунок 2). Низкая подвижность микроколичеств ^{90}Cs в почвах связана со специфической адсорбцией, которая происходит при взаимодействии с кристаллической решеткой многих глинистых минералов (по аналогии с калием) [14].

Несмотря на низкую подвижность ^{90}Cs в почвах использованной методикой выявлено содержание растворимых форм, обеспечивающих его различную биодоступность в почвах. На площадке "Опытное поле" отмечено наименьшее содержание обменной и подвижной форм, на остальных объектах содержание подвижной формы находится примерно на одинаковом уровне. Максимальное содержание обменной формы ^{90}Cs

отмечено в почвах площадки "4а", где также достоверно было определено содержание водорастворимой формы ^{90}Cs .

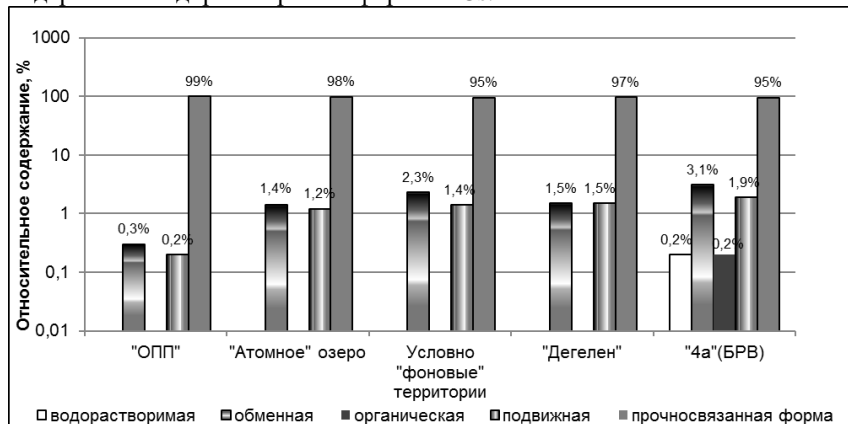


Рисунок 2 – Результаты исследований радионуклида ^{137}Cs

Радионуклид $^{239+240}\text{Pu}$

Особенностью поведения $^{239+240}\text{Pu}$ является его стабильное содержание в составе органической фракции. В условиях СИП содержание органической формы наряду с подвижной формой радионуклида отражает различие подвижности $^{239+240}\text{Pu}$ в почвах рассматриваемых объектов (рисунок 3). Отмечено повышенное содержание обменной формы $^{239+240}\text{Pu}$ на условно "фоновых" территориях СИП и на площадке "Дегелен".

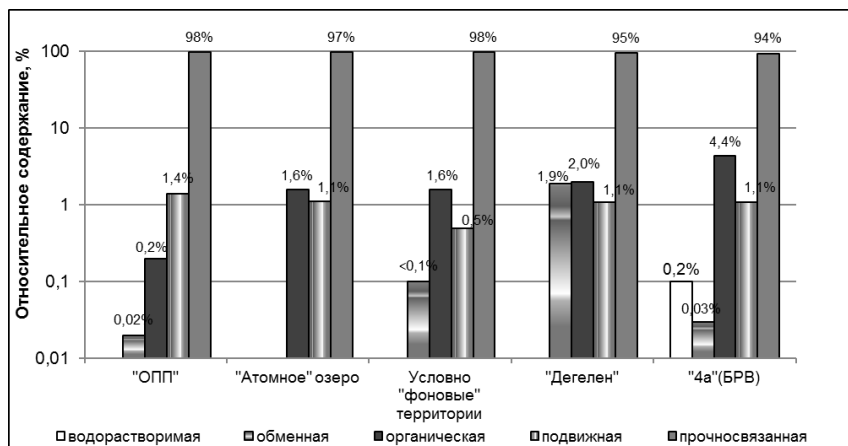


Рисунок 3 – Результаты исследований радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$

На площадке "4а" определено количественное содержание водорастворимой формы и максимальное содержание органической формы $^{239+240}\text{Pu}$.

Радионуклид ^{241}Am

Для ^{241}Am следует отметить преимущественно содержание в подвижной и прочносвязанной формах, соотношение которых варьирует в зависимости от объекта исследования. Наименьшие значения параметров биодоступности определены в почвах площадки "Опытное поле" (рисунок 4).

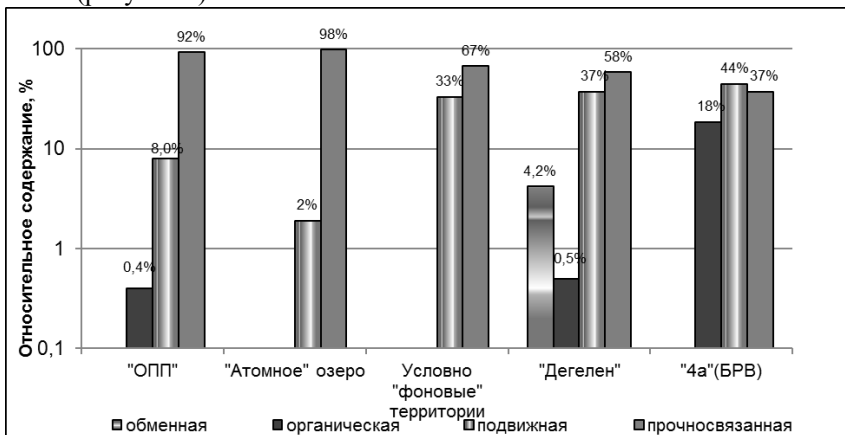


Рисунок 4 – Результаты исследований радионуклида ^{241}Am

В зависимости от объекта исследования отмечено также содержание незначительных количеств органической формы Am с максимальным значением на площадке "4а", а также обменной формы на площадке "Дегелен".

Радионуклид ^{90}Sr

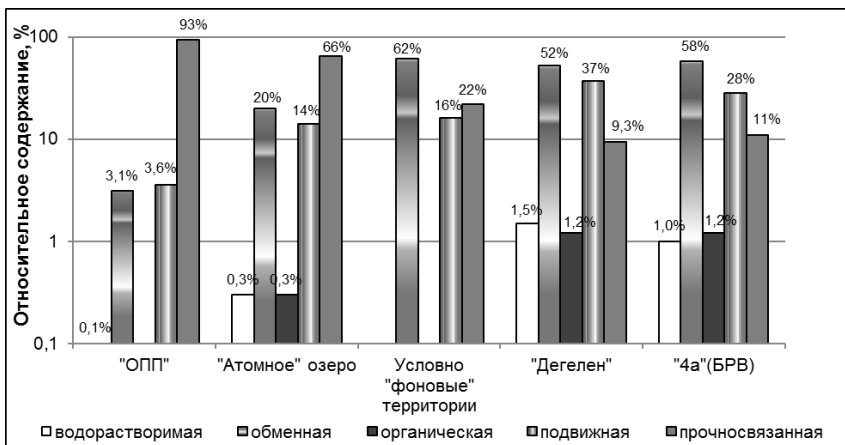


Рисунок 5 – Результаты исследований радионуклида ^{90}Sr

Радионуклид ^{90}Sr в почвах СИП характеризуется максимальными параметрами подвижности. Наименьшее содержание растворимых форм ^{90}Sr определено в почвах площадки "Опытное поле". Установлено содержание ^{90}Sr в водорастворимой форме и органической форме с максимальным их значением в почвах площадки "Дегелен" и "4а". Максимальные содержания обменной формы ^{90}Sr определено в почвах площадок "Дегелен" и "4а" и условно "фоновых" территорий СИП (рисунок 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определены формы нахождения основных искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в почвах СИП с различным уровнем и характером радиоактивного загрязнения почвенного покрова. Выявлены особенности форм нахождения радионуклидов для каждого объекта исследования. Установлено, что распределение форм радионуклидов в почвах СИП зависит от характера радиоактивного загрязнения почвенного покрова (механизма образования радиоактивных частиц).

Наименьшая подвижность и биологическая доступность радионуклидов установлена на площадке "Опытное поле" и на объекте "Атомное" озеро, что обусловлено особенностями механизмов образования радиоактивных частиц при наземных и экскавационном взрывах. Наибольшая биологическая доступность радионуклидов определена в почвах мест проведения испытаний БРВ (пл. "4а"), зон влияния радиоактивных водотоков площадки "Дегелен" и условно "фоновых" территорий СИП, для которых характерен сорбционный механизм радиоактивного загрязнения почвенных частиц.

Список литературы

1. Speciation of radionuclides in the environment / B.Salbu, L.Skipperud // Journal of Environmental Radioactivity. – 2009. – No.100. – P. 281-282.
2. Jeffrey R. Bacon. Is there a future for sequential chemical extraction / Jeffrey R. Bacon, Christine M. Daidson // Analyst. – 2008. - No.133. - P. 25 - 46.
3. Кундузбаева, А.Е. Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах на территории площадки "Опытное поле". / А.Е. Кундузбаева., С.Н.Лукашенко, Р.Ю. Магашева // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. / под ред. С.Н. Лукашенко. – Т.2. - Вып. 4. - Павлодар: Дом печати, 2013. – С. 181-208.
4. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана [Оптимизация исследований территорий Семипалатинского испытательного полигона с целью их передачи в хозяйственный оборот] / под рук. Лукашенко С.Н.- Вып. 5. - Павлодар: Дом печати, 2015. – 500 с.
5. Изотопный состав радиоактивных выпадений / Ю. А. Израэль. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – 109 с.
6. Кадыржанов, К.К. Особенности состава, форм нахождения и распределения радионуклидов на различных площадках СИП / К.К. Кадыржанов, С. Хажекбер,

- И.В. Казачевский, В.П. Солодухин, С.Н. Лукашенко // Вестник НЯЦ РК. – 2000. - Вып. 3. - С. 15-21.
7. Логачев, В.А. Ядерные испытания СССР: современное радиоэкологическое состояние полигонов. / Кол. авт. под рук. проф. В. А. Логачева - М.: Изд. АТ, 2002. - 639 с.
8. Кундузбаева, А.Е. Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах испытательной площадки боевых радиоактивных веществ. / А.Е. Кундузбаева., А.Ю. Осинцев. С.Н. Лукашенко, Р.Ю. Магашева // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. / под ред. С.Н. Лукашенко. – Т.2. - Вып. 4. - Павлодар: Дом печати, 2013. – С. 167-180.
9. Павлоцкая, Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. / Ф.И. Павлоцкая. – М.: Атомиздат, 1974. – 215 с.
10. Пономарева, В. В. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения) / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. - Л.: Наука, 1980. – 222 с.
11. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре: МИ 2143-91. - Введ. 1998-06-02. - Рег. № 5.06.001.98. – М.: НПО ВНИИФТРИ, 1991. - 17 с.
12. Инструкция и методические указания по оценке радиационной обстановки на загрязненной территории. Госкомгидромет СССР, 17.03.89 г.
13. Методика выполнения измерений активности радионуклидов плутоний-238, плутоний-239+плутоний-240 в счетных образцах, приготовленных из проб объектов окружающей среды. М.: ФГУП НПО Радиевый Институт им. В.Г. Хлопина.
14. Прохоров, В.М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. / Под ред. Р.М. Алексахина. - М.: Энергоиздат, 1981. - 98 с.

УДК 614.73; 614.876

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ДОЗЫ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ШТАТНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС-2

**В.Э. Куртмулаева, Р.А. Микаилова, С.И. Спиридонов,
Е.И. Карпенко, С.Н. Нуштаев**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: lizard-v@live.ru

Выполнена прогнозная оценка дозы внешнего облучения населения города Сосновый Бор в результате штатных атмосферных выбросов Ленинградской АЭС-2. Прогнозируется, что годовая доза внешнего облучения населения в течение 50-го года эксплуатации ЛАЭС-2 не превысит 0,1 мкЗв/год. Наибольший вклад в дозу будет вносить облучение от облака. Основным дозообразующим радионуклидом будет ¹³⁸Xe.

Ленинградская АЭС-2 является строящейся головной атомной электростанцией с реакторами ВВЭР-1200, расположенной в городе Сосновый Бор Ленинградской области. Пуск первого энергоблока в промышленную эксплуатацию запланирован на 2018 год. Проектный срок эксплуатации АЭС - 50 лет.

Оценка дозы внешнего облучения населения в районе расположения ЛАЭС-2 осуществлялась для жителей (взрослые старше 17 лет) города Сосновый Бор, расположенного в направлении преобладающего переноса газоаerosольных выбросов. Дозовая нагрузка оценивалась от каждого радионуклида через 50 лет работы станции в штатном режиме. Расчет проводился по методике, представленной в документе МАГАТЭ SRS №19 [1] на основе данных проектного выброса радиоактивных газов и aerosолей со станции при работе четырех блоков ВВЭР-1200 в условиях нормальной эксплуатации [2].

Сброс газоаerosольных отходов станции будет осуществляться организованно в высотную вентиляционную трубу, высотой 100 м. Газоаerosольные выбросы в режиме штатной эксплуатации энергоблока будут формироваться за счет выбросов вытяжного воздуха систем вентиляции зоны контролируемого доступа и технологических сдувок с оборудования из систем спецгазоочистки [2].

Среднегодовая скорость ветра в районе размещения ЛАЭС-2 составляет 4,1 м/с. Количество штилевых дней в году – 2,2 % (8 дней). Наибольшие скорости ветра наблюдаются в осенне-зимний период (15–25 м/с). В течение года в районе расположения площадки ЛАЭС-2 наблюдается преобладание ветров западных, юго-западных направлений (36%), что вызывает преимущественный перенос воздушных масс от объектов ядерного комплекса на восток, северо-восток, в сторону г. Сосновый Бор и Санкт-Петербурга.

С учётом представленных данных сформирован сценарий выбросов, на основе которого рассчитаны дозовые нагрузки, формируемые по двум путям облучения: от факела выброса и от поверхности почвы (таблица 1).

Таблица 1 – Годовые дозы внешнего облучения население, формируемые в результате атмосферных выбросов в течение 50-го года работы ЛАЭС-2, мкЗв

Радионуклиды	Доза внешнего облучения от активности в воздухе	Доза внешнего облучения от поверхности почвы	Итоговая доза
C-14	2,36E-08	0,00E+00	2,36E-08
Co-60	6,68E-11	2,39E-06	2,39E-06
Cr-51	1,88E-12	1,06E-09	1,06E-09
Cs-134	2,52E-08	3,30E-04	3,30E-04
Cs-137	1,35E-08	9,29E-04	9,29E-04
H-3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Радионуклиды	Доза внешнего облучения от активности в воздухе	Доза внешнего облучения от поверхности почвы	Итоговая доза
I-131	2,18E-08	8,91E-06	8,93E-06
I-132	1,86E-07	8,96E-07	1,08E-06
I-133	6,88E-08	3,42E-06	3,49E-06
I-134	1,40E-07	2,54E-07	3,94E-07
I-135	1,56E-07	2,37E-06	2,53E-06
Kr-83m	3,42E-08	0,00E+00	3,42E-08
Kr-85m	2,63E-06	0,00E+00	2,63E-06
Kr-85	4,90E-04	0,00E+00	4,90E-04
Kr-87	1,79E-03	0,00E+00	1,79E-03
Kr-88	1,91E-02	0,00E+00	1,91E-02
Mn-54	3,19E-12	1,97E-08	1,97E-08
Sr-89	2,37E-12	1,83E-08	1,83E-08
Sr-90	1,04E-15	3,69E-09	3,69E-09
Xe-131m	2,76E-06	0,00E+00	2,76E-06
Xe-133	3,10E-05	0,00E+00	3,10E-05
Xe-135	2,69E-03	0,00E+00	2,69E-03
Xe-138	7,01E-02	0,00E+00	7,01E-02
Итого	9,42E-02	2,09E-03	9,55E-02

Согласно результатам расчетов, суммарная годовая доза внешнего облучения населения города Сосновый Бор от атмосферных выбросов ЛАЭС-2 не превысит 0,1 мкЗв/год.

Расчётным путем выявлен наибольший вклад в дозу внешнего облучения населения – облучение от облака (98%). Даже при условии 50-летнего накопления радионуклидов в почве за счет атмосферных выпадений, вклад в дозу внешнего облучения от поверхности почвы будет незначителен (2%).

Основным радионуклидом, формирующим внешнюю дозовую нагрузку, будет являться ^{138}Xe (рисунок 1). При облучении от поверхности почвы наибольший вклад будут вносить ^{137}Cs и ^{134}Cs .

Различия вкладов отдельных радионуклидов в дозовые нагрузки, формируемые по различным путям облучения, обусловлены физико-химическими свойствами элементов, а также характеристиками радиоактивных изотопов.

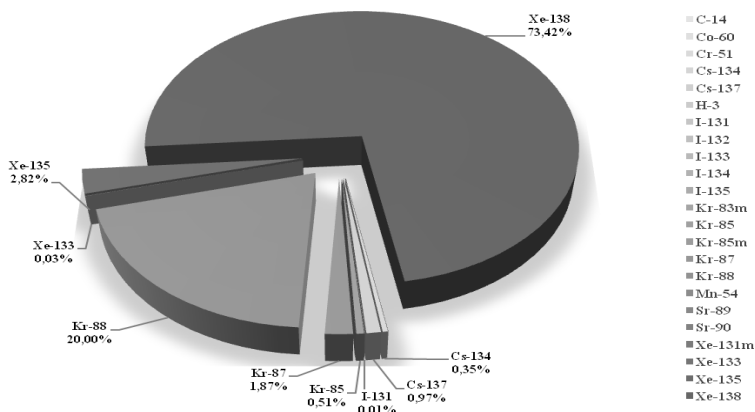


Рисунок 1 – Вклад различных радионуклидов в дозовую нагрузку от внешнего облучения

Список литературы

1. Safety Reports Series No,19 «Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment». – IAEA, Vienna, 2001.
2. Предварительная многофакторная оценка экологического риска при одновременной (нормальной) эксплуатации ЛАЭС-2 и ЛАЭС: технический отчет (окончательный): LN20.B.110.S.&&&&&&&&&&.002.HG.0019/ОАО «СПбАЭП».

УДК 636.2:614.876; 636.085.55+546.723'722'267'

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ СМЕСИ КОМБИКОРМА С ФЕРРОЦИНСОДЕРЖАЩИМИ ПРЕПАРАТАМИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОЦЕЗИЯ В ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

О.В. Лой, Н.Н. Исамов

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: Sava2@yandex.ru

Разработана оптимальная методика оценки радиологической и экономической эффективности технологии применения смеси комбикорма с ферроцинсодержащими препаратами для снижения накопления радиоцезия в продукции животноводства для использования при ведении животноводства на радиоактивно загрязненных территориях.

Радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных угодий на территории РФ обусловлено выпадением радионуклидов в результате крупных радиационных аварий, а также инцидентов на предприятиях ядерного топливного цикла. Масштабное радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель связано с авариями на НПО «Маяк» (57.3 тыс. га) и Чернобыльской АЭС (2.8 млн. га) [1].

После аварии на ЧАЭС продукция животноводства (молоко и мясо) стало критическим звеном поступления радионуклидов в организм человека, поэтому, защитные мероприятия в животноводстве были и остаются одними из основной при реабилитации радиоактивно загрязненных территорий. В то же время, в современных условиях важным является оценка их как радиологической, так и экономической эффективности.

Целью исследования являлась разработка оптимальной методики оценки радиологической и экономической эффективности технологии применения смеси комбикорма с ферроцинсодержащими препаратами для снижения накопления радиоцезия в продукции животноводства.

При ведении животноводства на радиоактивно загрязненных территориях выделяют 3 категории специальных мероприятий по снижению перехода радионуклидов в продукцию:

- организационно-хозяйственные;
- зоотехнические;
- ветеринарные.

Одной из наиболее эффективных контрмер, обеспечивающей гарантированное производство продукции животноводства, отвечающей существующим нормативам, является применение ветеринарных средств на основе сорбентов для снижения поступления радиоцезия из рационов животных в молоко и мясо. Ферроцин – специфичный сорбент при поступлении в желудочно-кишечный тракт животных образует с ^{137}Cs нерастворимое комплексное соединение, которое с фекалиями выводится из организма, тем самым, предотвращая всасывание радионуклида через слизистую кишечника в кровь. Для животных препарат не оказывает отрицательного влияния на физиологическое состояние организма.

В России на радиоактивно загрязненных территориях апробированы и нашли широкое применение следующие формы ферроцинсодержащих препаратов (ФСЦ):

- ферроцин в виде порошка;
- бифеж;
- ферроцин в составе болусов;
- ферроцин в составе минерально-солевых брикетов.

Ферроцинсодержащие препараты применяют согласно Наставлениям, утвержденным Департаментом Ветеринарии РФ.

Молоко и мясо, полученное от животных, которым дают ферроцинсодержащие препараты, используют без ограничения при

условии, что концентрация радиоцезия в продукции не превышает действующих санитарно-гигиенических нормативов.

Оценку радиологической и экономической эффективности применения ФСП в хозяйствах, ведущих хозяйственную деятельность на радиоактивно загрязненных территориях, следует проводить на одном территориальном уровне (локальном). На этом уровне (отдельного сельскохозяйственного предприятия) такая оценка проводится специалистами хозяйств (ветеринарами, экономистами и др.) с последующим мониторингом радиоэкологической обстановки специалистами районных ветеринарно-радиологических лабораторий.

В качестве критериев оценки эффективности применения ФСП в хозяйствах следует рассматривать:

- радиологические - нормативы содержания радиоизотопов цезия в производимой продукции животноводства (СанПиН 2.3.2.2650-10) [2] и кратность снижения содержания радионуклидов в продукции;
- экономические - затраты на внедрение технологии применения смеси комбикорма с ФСП (стоимость контрмер), дополнительная прибыль, полученная от реализации нормативно чистой продукции, рентабельность производства при внедрении контрмеры;
- комбинированный радиолого - экономический показатель – стоимость предотвращенной коллективной дозы облучения.

Радиологическая эффективность ветеринарных мероприятий приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Радиологическая эффективность ветеринарных мероприятий в животноводстве

Мероприятие, технологический прием	Вид животных	Вид продукции	Кратность снижения
Применение Cs-связывающих препаратов	КРС	Молоко	1.5-10.0
	КРС	Мясо	2.5-7.5

Ферроцин снижает поступление радиоцезия из корма в молоко и мясо в 5 – 7 раз.

Бифеж снижает поступление радиоцезия из корма в молоко и мясо в 6 – 8 раз.

Применение болюсов снижает содержание радиоцезия в продуктах животноводства (молоке, мясе) до 4 раз.

Экономические критерии оценки эффективности технологии применения смеси комбикорма с ферроцинсодержащими препаратами включают в себя ряд показателей, учитывающие как непосредственные затраты на проведение контрмер, являющиеся дополнительными по отношению к затратам на стандартные сельскохозяйственные работы, т.е. стоимостные показатели, так и дополнительные доходы, которые могут быть получены от реализации экологически чистой

сельскохозяйственной продукции (прибыль и рентабельность производства).

Очевидно, что чем меньше затраты на проведение защитного мероприятия, тем оно экономически более эффективно.

Затраты на внедрение контрмеры (стоимость) определяются как дополнительные расходы сельскохозяйственного предприятия по отношению к затратам на стандартные сельскохозяйственные работы.

При расчете экономической эффективности применения ферроцинсодержащих препаратов для производства экологически безопасной продукции животноводства необходимо исходить из возможности реализации нормативно чистого молока, при этом, молоко, несоответствующее установленным нормативам, используется для внутренних нужд.

Расчет затрат по применению ферроцинсодержащих препаратов (ФСП)

Расчет производится, исходя из суточной дозы препарата, включающей в данном случае 3 грамма ферроцина и 0.400 килограмма комбикорма (зерносмесь в виде муки) в расчете на 1 голову.

Стоимость 1 кг ферроцина в ценах 2015 г. составляет 5957.45 руб. Стоимость 1 кг ферроцина с учетом транспортных расходов составляет 6012.45 руб., стоимость 1 грамма – 6.013 руб.

Стоимость 1 кг комбикорма в ценах 2015 г. составляла 10 руб. Расходы на хранение, помол зерносмеси, смешивание ее с ферроцином и затаривание в мешки составили в ценах 2015 г. 1.7 руб./кг. Таким образом, стоимость суточной дозы ФСП, применяемой ежедневно на протяжении всего периода лактации, в расчете на 1 голову составит:

$$C_{дн} = (0.003 \text{ кг} \times 6.013 \text{ руб./кг}) + (0.400 \text{ кг} \times 10 \text{ руб./кг}) + (0.400 \text{ кг} \times 1.7 \text{ руб./кг}) = 22.72 \text{ руб./гол}$$

Дополнительные расходы (З) в расчете на 1 литр молока при суточном надое по хозяйствам составляют в среднем 1.9 рублей.

Средняя цена реализации 1 л молока в хозяйствах в 2015 г. составила 19 руб.

Себестоимость 1 л молока в хозяйствах в среднем составляла 14 руб. При применении ФСП себестоимость молока возрастает до 15.9 руб. (14 руб. + 1.9 руб.).

Расчет прибыли и чистой прибыли от реализации (Пн и ЧПн)

Прибыль от реализации молока в год от одной коровы при применении ФСП рассчитывается в соответствии с формулой $(Пн = (Цн - Сн) \times Ан)$ [3] и составит 11160 рублей

При ставке ЕСХН на уровне 6% чистая прибыль в среднем составит 10490.4 руб./ гол.

Расчет прироста прибыли (П)

Прирост прибыли рассчитывается по разности прироста выручки (В) и прироста затрат (З). Поскольку применение ФСП не влияет на

показатели продуктивности, прирост выручки обеспечивается только за счет предотвращенного ущерба от реализации экологически безопасного молока.

Удельная величина среднегодового предотвращенного ущерба (при условии, что молоко, не соответствующее установленным нормативам, используется на внутрихозяйственные нужды, и что при применении ФСП вся продукция соответствует нормативам) рассчитывается по формуле:

$$B = ПУ = ПР \times Ц$$

При этом Ц рассчитывается как разность между ценой реализации экологически безопасной продукции и себестоимостью молока в базисном варианте ($Ц = Ц_n - С_б$) = 19 - 14 = 5 руб./л.

Прирост прибыли при применении ФСП в расчете на 1 голову в год рассчитывается по формуле $П = В - З$ и составит 11184 рублей.

Рентабельность применения ФСП по чистой прибыли (при ставке ЕСХН, равной 6 %) составляет 18.3%. С экономической точки зрения применение ФСП рентабельно при среднегодовом удое свыше 1500 кг на одну корову.

Таким образом, разработана оптимальная методика оценки радиологической и экономической эффективности технологии применения смеси комбикорма с ферроцинсодержащими препаратами для снижения накопления радиоцезия в продукции животноводства.

Список литературы

1. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры/М., ИздАТ, 2001. – 752 с.
2. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.2650-10. СПб.: ЦОТПБСППО, 2015.
3. Методика определения экономической эффективности технологических приемов, используемых при ведении растениеводства, кормопроизводства и животноводства на техногенно загрязненных территориях. // Бакалова О.Н., Жигарева Т.Л., Попова Г.И., Исамов Н.Н. Обнинск: ВНИСХРАЭ, 2009 г. 55 с.

УДК 574.24+637.046

ОПТИМИЗАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА, СОДЕРЖАЩЕГОСЯ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ

И.В. Макаровец

РНИУП «Институт радиологии», г. Гомель, Республика Беларусь
e-mail: ivan_983@mail.ru

Проведен анализ обеспеченности макро- и микроэлементами типовых рационов молодняка крупного рогатого скота в разрезе административных районов Гомельской области. Разработаны предложения по оптимизации минерального состава рационов кормления молодняка крупного рогатого скота в сельскохозяйственных организациях.

The macro-and micronutrients security analysis of standard rations for young cattle in the context of the administrative districts of the Gomel region have been done performed. The proposals to optimize the mineral composition of the feed rations for young cattle in the agricultural organizations were developed.

Роль макро- и микроэлементов в питании сельскохозяйственных животных огромна, а их функции многообразны. Не являясь энергетическими источниками питания они необходимы для жизнедеятельности организма. Разносторонними исследованиями установлено, что в тканях и органах живых организмов обнаружено около 68 химических элементов.

Из числа макроэлементов в процессе обеспечения нормальной жизнедеятельности важное значение имеют кальций, фосфор, магний, сера, натрий, калий, хлор, а из числа микроэлементов – железо, цинк, марганец, кобальт, йод, селен. Другие элементы (стронций, молибден, кадмий, бром, ванадий, литий, никель, алюминий, свинец и т.д.) постоянно обнаруживаются в составе органов и тканей, однако их роль изучена пока недостаточно.

Потребность животных в минеральных веществах значительно колеблется в зависимости от возраста, физиологического состояния, технологии и условий содержания, типа кормления и, особенно, от уровня продуктивности. С повышением продуктивности в организме активизируются обменные процессы, увеличивается выделение минеральных веществ с продукцией, а в связи с этим потребность в них у животных возрастает. Недостаток или избыток отдельных минеральных элементов, нарушение их оптимального соотношения в рационах ведут к нарушению обменных процессов, снижению переваримости и использования питательных веществ кормов и продуктивности животных, а при длительном и остром недостатке или избытке – даже к специфическим заболеваниям.

Проблема обеспеченности рационов крупного рогатого скота минеральными веществами особую значимость приобретает в связи с тем, что территория Республики Беларусь является биогеохимической провинцией с недостаточным содержанием в почве некоторых макро- и микроэлементов.

В соответствии с детализированными нормами кормления рекомендуется балансировать рационы кормления крупного рогатого

скота по семи макроэлементам (Na, Cl, Ca, P, Mg, K, S), и шести микроэлементам (Fe, Cu, Zn, Co, Mo, I). Для составления сбалансированных рационов кормления необходимо знать их фактическое содержание в кормах [1, 2].

Анализ обеспеченности макро- и микроэлементами типовых рационов молодняка крупного рогатого скота, содержащегося на территории Гомельской области, показал, что все они характеризуются низким содержанием меди, цинка и кобальта (табл. 1).

Таблица 1 – Содержание микроэлементов в основных кормах, заготавливаемых в сельскохозяйственных предприятиях Гомельской области

Вид корма	содержится, мг/кг сухого вещества корма				
	Fe, мг/кг	Mn, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Co, мг/кг
Зеленая масса злаково-бобовых трав	161,38±58,94*	63,62±22,17	2,55±0,9*	14,82±6,69*	0,09±0,02*
Зернофураж	110,82±29,06*	43,81±16,19	6,72±1,78*	21,28±7,17*	0,07±0,05*
Силос кукурузный	230,29±47,92*	24,76±9,53	2,39±0,36*	11,34±1,83*	0,10±0,03*
Сенаж из многолетних злаковых трав	361,29±135,23*	43,19±14,38	4,15±1,6*	30,29±10,59	0,14±0,08*
Сено из многолетних злаковых трав	125,52±32,79*	19,05±4,36*	2,02±0,47*	16,98±5,46*	0,11±0,02*
Справочные данные	50–75	40–60	9–10	30–60	0,5–1,0

Примечание: * – показатель не соответствует справочным данным

На основании базы данных по полному зоотехническому анализу грубых, сочных, концентрированных и зеленых кормов сельскохозяйственных предприятий Гомельской области, которая включает в себя более 10 тысяч результатов анализов, проведена группировка хозяйств по степени проявления форм дефицита элементов минерального питания в типовых рационах молодняка крупного рогатого скота. Таким образом, были выделены четыре основные группы хозяйств с различными формами дефицита элементов минерального питания в типовых рационах (в расчете на 1 кг сухого вещества):

1 группа – дефицит фосфора (25 %), кальция (16 %), цинка (64 %), кобальта (83 %);

2 группа – дефицит фосфора (30 %), меди (20 %), цинка (60 %), кобальта (83 %);

3 группа – дефицит фосфора (24 %), цинка (58 %), кобальта (87 %);

4 группа – дефицит цинка (58 %), кобальта (82 %).

Недостающее количество минеральных веществ в кормах должно восполняться путем не только свободного скармливания минеральных подкормок в рассыпном, но и использования в брикетированном виде.

В настоящее время сотрудниками лаборатории производства экологически безопасной продукции животноводства в условиях техногенного загрязнения территорий (РНИУП «Институт радиологии») разработаны, испытаны и технологически освоены в заводском производстве минеральные брикеты-лизунцы нескольких видов, в состав которых входят: поваренная соль, фосфорно-кальциевые компоненты и микроэлементы – медь, кобальт, железо, йод, марганец и связующее вещество (патока) [3].

Использование в практике кормления взрослых минеральных кормовых добавок позволяет оптимально сбалансировать минеральную часть рациона, способствует улучшению состояния здоровья животных, их продуктивности и в целом – повышению рентабельности животноводства.

Список литературы

1. Рекомендации по оптимизации минерального питания молодняка крупного рогатого скота, содержащегося на загрязненных радионуклидами территориях [Текст] / А. А. Царенок [и др.] ; рец.: И. С. Серяков, Н. А. Яцко ; Департамента по ликвидации последней катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие "Институт радиологии". - Минск : Институт радиологии, 2013. – 65 с.
2. Коваленок Ю.К., Курдеко А.П., Мацинович А.А. Рекомендации по оценке обеспеченности организма сельскохозяйственных животных минеральными веществами // учеб.- метод. пособие / Ю.К. Коваленок [и др.]. – Витебск: ВГАВМ, 2007. – 44 с.
3. Слесарев И.К., Пилюк Н.В. Минеральные источники Беларуси для животноводства. -Мн., 1995. – 176 с.

УДК 539.1.04; 614.73; 614.876

ДОЗОВЫЕ НАГРУЗКИ НА РЕФЕРЕНТНЫЕ ОРГАНИЗМЫ БИОТЫ ПРИ ТЯЖЁЛОЙ ЗАПРОЕКТНОЙ АВАРИИ НА РЕАКТОРЕ PWR-890

Р.А. Микаилова, С.И. Спиридонов

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия

e-mail: Renchik_vhi@mail.ru

Оценены дозовые нагрузки на референтные природные организмы (сосна и травянистая растительность) при тяжёлой запроектной аварии на реакторе PWR-890. Расчеты выполнялись на основе комплекса

миграционных и дозиметрических моделей. Результаты оценки сопоставлялись с данными МКРЗ, характеризующими зависимость радиационных эффектов от дозовых нагрузок.

Radiation doses for referent species (pine tree and wild grasses) were estimated for the case of severe accident on reactor PWR-890. The calculations were conducted by means of a set of migration and dosimetric models. The results obtained were compared with ICRP data showing dependence of radiation effects on dose rates.

Ядерная энергетика, наряду с другими современными технологиями, ассоциируется с определённым риском для населения и окружающей среды. При этом повышенное внимание общественности обращено на радиационный фактор, специфичный для ядерного энергопроизводства. Радиоэкологический анализ последствий потенциальных аварий (проектных и запроектных) на предприятиях ядерного топливного цикла представляется важной составляющей планирования и обоснования этих предприятий. Результаты такого анализа могут оказать влияние на принятие решений при выборе участка для строительства радиационно-опасного объекта или при определении практических мер по снижению возможных последствий радиоактивных выбросов.

Цель работы - оценка дозовых нагрузок на биотические компоненты окружающей среды при тяжелой запроектной аварии на АЭС и анализ возможных эффектов радиационного воздействия на основе данных, приведенных в публикациях МКРЗ [1,2]. Референтные организмы биоты выбраны из списка, представленного в [1]: референтная сосна, ввиду её высокой радиочувствительности, и референтная трава, как распространенный компонент наземных экосистем. В рамках консервативной оценки полагалось, что представители биоты находятся на оси радиоактивного следа, на территории с высокой плотностью выпадений радионуклидов.

Расчеты выполнены для реактора, охлаждаемого водой под давлением (PWR) с электрической мощностью 890 МВт [3]. Рассматривалась аварийная ситуация, относящаяся к тяжёлым запроектным авариям, с суммарной активностью выброса $3,36 \cdot 10^{18}$ Бк. В составе выброса присутствует 69 радионуклидов, основными из которых являются ^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{89}Sr , ИРГ, и т.д. В качестве исходных были приняты следующие параметры выброса: эффективная высота – 35 м, скорость ветра – 0,5 м/с, категория стабильности атмосферы по Паскуиллу-Гиффорду – F.

Вычисления плотности радиоактивных выпадений проводились с использованием Гауссовой модели рассеивания примесей. Для описания процессов вертикальной миграции радиоактивных веществ была разработана модель, учитывающая задерживание радионуклидов

растениями, осаждение на поверхность почвы, экологическое очищение и радиоактивный распад.

На рисунке 1 представлена концептуальная модель с указанием потоков радионуклидов, переменных и параметров: A – плотность выпадений рассматриваемого радионуклида; C_v и C_s – содержание радионуклида в растительном слое и на поверхности почвы, λ_{eff} и λ_r – константы эффективного очищения и радиоактивного распада соответственно.

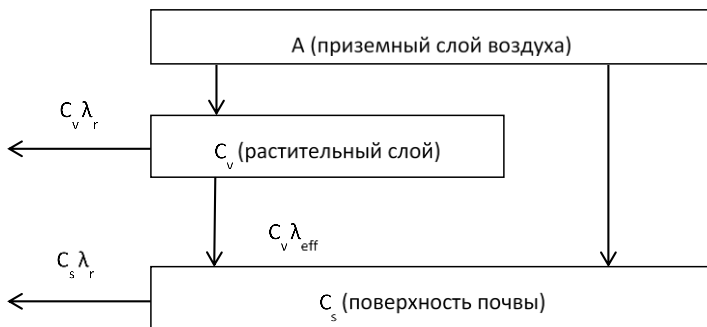


Рисунок 1 – Схема модели миграции радионуклидов в системе «атмосфера – растительный слой – поверхность почвы»

Оценка дозовых нагрузок на референтные организмы биоты проводилась для периода в один год на различном удалении от источника выброса – от 1 до 50 км. Результаты расчетов представлены в таблице 1. Наиболее высокие годовые дозы зафиксированы на расстоянии 1,75 км и составили 117 Гр и 26,4 Гр для травы и сосны соответственно.

Максимальная мощность дозы в течение первого года после радиоактивного выброса наблюдается на расстоянии 1,75 км достигает 1,8 Гр/сут, но к концу рассматриваемого периода она снижается до 10,6 мГр/сут.

Таблица 1 – Дозовые нагрузки на референтные организмы биоты для первого года после аварии

Расстояние, км	Референтная трава		Референтная сосна	
	Годовая доза, мГр	Средняя мощность дозы, мГр/сут	Годовая доза, мГр	Средняя мощность дозы, мГр/сут
1,75	1,17E+05	3,20E+02	2,64E+04	7,22E+01
5	3,99E+04	1,09E+02	9,00E+03	2,46E+01
10	9,61E+03	2,63E+01	2,17E+03	5,93E+00
20	1,48E+03	4,04E+00	3,41E+02	9,31E-01
30	3,83E+02	1,05E+00	9,09E+01	2,48E-01
40	1,27E+02	3,46E-01	3,13E+01	8,54E-02
50	4,78E+01	1,31E-01	1,23E+01	3,35E-02

Для сравнения результатов оценки с данными по эффектам для рассматриваемых референтных организмов, проявляющимся при воздействии ионизирующего излучения с разными уровнями мощностей доз (таблица 2) была определена средняя за годичный период мощность дозы.

Таблица 2. – Мощности доз и эффекты, формируемые при воздействии ионизирующего излучения на референтные организмы [2]

Мощность дозы (мГр/сут)	Референтная сосна	Референтная трава
> 1000	Гибель [LD ₅₀ : 5 – 16 Гр]	Гибель [LD ₅₀ : 16 – 22 Гр]
100 – 1000	Гибель некоторых деревьев после продолжительного воздействия радиационного фактора	Сниженная репродуктивная способность
10 – 100	Гибель некоторых деревьев после очень длительного воздействия радиационного фактора. Дефекты роста/развития. Снижение количества успешных репродуктивных циклов	Сниженная репродуктивная способность
1 – 10	Заболеваемость, выраженная анатомическими и морфологическими повреждениями. Пролонгированное воздействие приводит к снижению количества успешных репродуктивных циклов	Информация отсутствует
0.1 – 1	Информация отсутствует	Информация отсутствует
0.01 – 0.1	Информация отсутствует	Информация отсутствует
< 0.01	Естественный радиационный фон	Естественный радиационный фон

Сопоставление результатов расчета дозовых нагрузок (средних мощностей доз – таблица 1) с данными МКРЗ по радиационным эффектам (таблица 2) показывают, что на расстоянии до 10 км от источника выброса возможно снижение репродуктивности травянистых растений. У отдельных деревьев на расстоянии до 5 км от источника могут наблюдаться дефекты развития и гибель.

Следует подчеркнуть, что оценки с использованием в качестве опорных показателей, усредненных за годичный период мощностей доз, носят скрининговый характер. С одной стороны, суточные мощности доз в течение первого года после выброса существенным образом снижаются, с другой - действие ионизирующего облучения является пролонгированным. В этой связи, важным вопросом при прогнозировании последствий аварийного загрязнения природных

объектов, является установление критериев радиационного воздействия с учетом временного характера формирования дозовых нагрузок.

Для полновесной оценки воздействия радиационного фактора на референтные природные объекты целесообразно учитывать пространственное распределение дозовых нагрузок на территории радиоактивного следа. Параметры такого распределения могут быть использованы при расчете вероятностных радиоэкологических рисков для растений на этой территории [4].

В настоящее время отсутствуют общепринятый подход к оценке радиационного воздействия на биоту для радиоэкологических ситуаций, связанных с аварийными выбросами объектов ядерного топливного цикла. Такая оценка с учетом временного и пространственного факторов, упомянутых выше, представляется важным элементом обоснования ядерноэнергетических объектов нового поколения.

Список литературы

1. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Environmental Protection: The Concept and Use of Reference Animals and Plants, ICRP Publication 108, Elsevier (2008).
2. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Protection of the environment under different exposure situations. ICRP Publication 124, 2014.
3. State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses Project Volume 2: Surry Integrated Analysis (NUREG/CR-7110, Volume 2, Revision 1). Office of Nuclear Regulatory Research, 2013. 565 p.
4. Спиридонов С.И., Микаилова Р.А. Оценка радиоэкологических рисков для природных экосистем при аварийных выбросах предприятий ядерного топливного цикла // Радиационная биология. Радиоэкология. 2015. Т. 55. № 2. С. 197-206.

УДК 671.4

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ (Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137) В ПОЧВАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «КАМЕННАЯ СТЕПЬ» С 1929 ПО 2011 ГГ.

Е.В. Мингареева

ФГБНУ Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева,
Санкт-Петербург, Россия

e-mail: elena.mingareeva@yandex.ru

Проведен сравнительный анализ изменения содержания радионуклидов (Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137) в почвах 3 типов угодий заказника «Каменная степь» за почти 80-летний период. Дана оценка пространственно-временной неоднородности содержания исследуемых радионуклидов.

До 50-х годов XX столетия космическое излучение и излучение природных радионуклидов, содержащихся в почве, воде и воздухе, составляли естественный радиационный фон, к которому адаптирована современная биота. В связи с активными исследованиями и ядерными испытаниями в военных и мирных целях второй половине XX столетия радиоактивное загрязнение стало проявляться повсеместно, особенно в почвах.

Почвенные монолиты и образцы из коллекции ФГБНУ Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева (ЦМП), отобранные в разных природных зонах, типах угодий, на разных почвообразующих породах и в разные временные периоды (начиная с 1902 г.) позволяют в полной мере охарактеризовать естественный радиационный фон почв, его динамику, а главное проводить почвенно-экологический мониторинг.

Целью работы явилось исследование изменения содержания радионуклидов Ra-226, Th-232, K-40, Cs-137 (в период с 1929 г. по 2011 г.) в почвах государственного природного заказника федерального подчинения «Каменная степь» с использованием коллекции почвенных монолитов ЦМП. Определение активности радионуклидов проводилось гамма-спектрометрическим методом в лаборатории ФГБНУ ВНИИРАЭ.

Объектами исследования явились черноземы (миграционно-мицелярный, миграционно-сегрегационный, сегрегационный) и агрочерноземы (сегрегационный) (КиДР, 2004 г.), образованные на породах тяжелого гранулометрического состава. Разрезы были заложены на территории заказника «Каменная степь» (Таловский район Воронежской области) под тремя типами угодий: пашня - 3 разреза, защитная лесополоса - 2 разреза и залежь - 4 разреза. Защитная лесополоса была организована в 1903 г. для борьбы с засухой, залежь - в 1912 г. для изучения динамики растительности без влияния хозяйственной деятельности, а распашка территории началась с заселением территории в XVIII веке.

Образцы для определения содержания радионуклидов были отобраны с глубин 0-5, 5-10, 10-20 и 90-100 см из 6 почвенных монолитов и 3 современных разрезов. Монолиты были отобраны сотрудниками ЦМП в 1929, 1947, 1952 и 1970 гг. Данные по содержанию радионуклидов в образцах, отобранных из монолитов (1929-1947 гг.), были условно приняты как **фоновые**, образцы 1952 и 1970 гг. также были отнесены к фоновым, поскольку не содержали цезия-137. В 2011 году в целях почвенно-экологического мониторинга на территории заказника сотрудниками музея было заложено 3 разреза, расположенные близко к точкам отбора монолитов. Общее количество образцов составило 35 ед.

Обсуждение результатов. Исследование содержания радионуклидов проводилось по следующей схеме:

1. Общее содержание радионуклида без разделения на горизонты и типы угодий, сравнение фоновых и современных образцов почв.

2. Содержание радионуклида в почвообразующей породе, сравнение фоновых и современных образцов почв.

3. Содержание радионуклида в гумусовом горизонте, сравнение фоновых и современных образцов почв. Сравнение активности радионуклида на глубине 0-10 см и 90-100 см.

4. Содержание радионуклида в трех типах угодий, сравнение диапазонов их содержаний.

Во всех вариантах проводился анализ пространственной и временной неоднородности на основе расчета коэффициента вариаций.

Диапазон активности **радия-226** во всех образцах почв составил 7,5-59,5 Бк/кг, при среднем значении 24,4 Бк/кг. Диапазон фоновых образцов почв (отобранные с 1929 по 1970 гг.) оказался в тех же пределах (7,5 - 59,5 Бк/кг), но среднее значение активности было немного ниже - 23,4 Бк/кг. Современные образцы почв характеризовались более узким диапазоном – 16-36 Бк/кг, при среднем значении 26,5 Бк/кг. Расчет коэффициента вариаций (совокупность данных считалась однородной при коэффициенте вариации $V_{\sigma} \leq 30\%$) для всех образцов почв показал наличие пространственно-временной неоднородности в содержании радия-226. В случае расчета коэффициента вариаций по глубинам и отдельно для фоновых и современных образцов почв для последних наблюдается пространственная однородность (V_{σ} 22-30%). С глубиной данный показатель уменьшался с 43,4 до 39%.

Почвообразующая порода (90-100 см) характеризовалась более узким диапазоном содержания радия-226 (7,5 - 31,9 Бк/кг), по сравнению со всей совокупностью. При этом в фоновых образцах диапазон был выше, чем в современных (7,5-31,9 Бк/кг со средним значением – 18,8 Бк/кг и 16 – 25 Бк/кг со средним значением – 19,7 Бк/кг, соответственно). При расчете коэффициента вариаций только в образцах почв 2011г. не было выявлено пространственной неоднородности (29,8%). Для всей совокупности данных и только для фоновых образцов коэффициент вариаций составлял 39% и 44%, соответственно.

Гумусовые горизонты (0-20 см) характеризовались широким диапазоном активности радия-226 – 7,6 - 59,5 Бк/кг (ср. значение - 24,0 Бк/кг), что практически соответствовало диапазону фоновых образцов почв. В современных образцах диапазон был уже и составлял - 21-36 Бк/кг (ср. значение – 27,3 Бк/кг). Коэффициент вариаций для всех образцов составил 43,9 %. При этом, как и в случае с почвообразующей породой, отсутствие пространственной неоднородности наблюдалась только современных почвенных образцов ($V_{\sigma} = 26\%$). Для всей совокупности данных и только фоновых образцов $V_{\sigma} = 43,9\%$ и 51,1%, соответственно.

Средняя активность радия-226 в верхних 10см была выше, чем в почвообразующей породе (28,2 и 19,1 Бк/кг, соответственно). Коэффициент вариаций составил 46,5%, что свидетельствует о том, что данная выборка неоднородна.

Наиболее широким диапазоном содержания радия-226 характеризовались (фоновые и современные) образцы почв под залежью (12,7 - 59,9 Бк/кг), а наименее – почвы под защитной лесополосой (16,1 – 34,7 Бк/кг). Почвы под пашней занимали промежуточное положение (7,5-36,0 Бк/кг). При этом современные образцы почв под пашней характеризовались более узким диапазоном содержания радия-226. Наименьшая пространственно-временная неоднородность наблюдалась в почвах под защитными лесополосами ($V_{\sigma} = 30,5\%$). При этом, если рассматривать каждую глубину в отдельности, то, в отличие от пашни и залежи, неоднородности не наблюдается (ср. значение $V_{\sigma} \sim 19\%$). Образцы почв под залежью и пашней характеризовались близкими значениями пространственно-временной неоднородности – 44,4 и 48%, соответственно.

Диапазон содержания **тория-232** во всех образцах составил 17,0-59,1Бк/кг, при среднем значении 39,3 Бк/кг, что, в свою очередь, полностью соответствует диапазону и среднему значению для фоновых образцов. В современных образцах диапазон активности, как и в случае с радием-226, был более узкий и составляет 30-45 Бк/кг, при среднем значении близком к фоновым образцам (39,2Бк/кг). Расчет коэффициента вариаций для всех образцов почв, в отличие от радия-226, показал пространственно-временную однородность ($V_{\sigma} \sim 27,8\%$). Расчет коэффициента вариаций отдельно для фоновых и современных образцов почв (по каждой глубине в отдельности) выявил неоднородность в случае фоновых образцов ($V_{\sigma} \sim 31,7\%$) и ее отсутствие в современных ($V_{\sigma} \sim 17,3\%$).

Почвообразующая порода характеризовалась более узким диапазоном содержания тория-232 (24,3 – 48,4 Бк/кг), чем для всей совокупности. При этом для фоновых образцов диапазон был шире, чем в современных – 24,3 – 48,4 Бк/кг (среднее значение – 37,1Бк/кг) и 30-45Бк/кг (среднее значение – 38,0 Бк/кг), соответственно. В отличие от радия-226, пространственная неоднородность наблюдалась только в случае фоновых почв - $V_{\sigma} = 30,9\%$.

Гумусовые горизонты характеризовались широким диапазоном активности тория-232 – 17,0 - 59,1Бк/кг. Этот диапазон определялся активностью фоновых образцов, т.к. для современных образцов был характерен более узкий диапазон - 33 - 48Бк/кг. Среднее значение в обоих случаях составило 39,9Бк/кг. Как и в случае почвообразующей породы, пространственная неоднородность была выявлена только для фоновых образцовы почв – $V_{\sigma} = 32,1\%$.

Существенной разницы между активностью тория-232 в верхних 10см (41,4 Бк/кг) и в почвообразующей породе (37,4 Бк/кг) не наблюдалось. Коэффициент вариаций в данном случае составил 27,8%.

Наиболее широким диапазоном по содержанию тория-232 характеризовались почвы под залежью (20,0 - 50,0Бк/кг) и пашней (25,5-

59,1Бк/кг), а наименее – почвы под защитной лесополосой (33,0 – 48,4 Бк/кг). Пространственно-временная неоднородность наблюдалась в образцах почв под залежью (32,4%), за исключением почвообразующей породы (27,8%) и на глубине 90-100см в почвах под пашней (32,8%). В остальных случаях коэффициент вариаций варьировал в пределах 17-28,2%, т.е. наблюдалось отсутствие пространственной и временной неоднородности.

Диапазон содержания **калия-40** во всех исследуемых образцах варьирует в пределах 154 – 728 Бк/кг (ср. знач. – 505 Бк/кг). Эти границы полностью соответствуют максимальным и минимальным значениям активностей калия-40 в фоновых образцах, но среднее значение активности радионуклида в фоновых образцах выше – 527 Бк/кг. В современных образцах, как и для радия-226 и тория-232, диапазон активности калия-40 уже – 343-543 Бк/кг, при среднем значении – 457 Бк/кг. Коэффициент вариаций для всех образцов почв не превышает 27,1%, при этом, с глубиной данный показатель уменьшался (с 27,1 до 16,8%). Диапазон содержания калия-40 в современных образцах почв был практически в 2,5 раза меньше, чем в образцах почв, отобранных до 1970г.

Почвообразующая порода характеризуется более узким диапазоном содержания калия-40 (290-455 Бк/кг), чем вся совокупность. В фоновых образцах диапазон был значительно шире, чем в современных – 154-728 Бк/кг (среднее значение – 439 Бк/кг) и 343 – 543 Бк/кг (среднее значение – 440 Бк/кг), соответственно. Расчет коэффициента вариаций во всех случаях показал отсутствие пространственной и временной неоднородности ($V_{\sigma} \sim 16\%$).

Гумусовые горизонты (0-20 см) имеют широкий диапазон активности калия-40 (154 (411) – 728 Бк/кг), что соответствует диапазону фоновых образцов почв (среднее значение - 560 Бк/кг). У современных образцов диапазон был значительно более узкий и составил – 430-543Бк/кг (среднее значение – 484 Бк/кг). Коэффициент вариаций во всех случаях выявил отсутствие неоднородности полученных данных и составил 19,1% (современные образцы) и 25,5% (все образцы вместе и фоновые).

Средняя активность калия-40 в верхних 10см слое почв была выше (537 Бк/кг), чем в почвообразующей породе (439 Бк/кг). Коэффициент вариаций составил 26,5%, что свидетельствует об однородности полученных данных.

Наиболее широким диапазоном содержания калия-40 характеризовались почвы под залежью (154 - 645Бк/кг) и пашней (290-714 Бк/кг), а наименее широким – почвы под защитной лесополосой (430 – 728 Бк/кг). Наименьшее значение V_{σ} наблюдалось на глубине 90-100 см в почвах под защитными лесополосами (10,9%) и залежью (11,0%). Для этих почв (под залежью и лесополосой) также было характерно уменьшение значений коэффициента вариаций с глубиной (от 34 до 11,0%

и от 24,2 до 10,9%, соответственно), в то время как для почв под пашней наблюдалась обратная ситуация (от 19,5 до 24,7%).

Цезий-137 был обнаружен только на глубинах 0-10 и 10-20 см в образцах почв 2011 г. Диапазон его содержания был достаточно широкий и варьировал в пределах 26,9-111 Бк/кг (ср. значение 84,1 Бк/кг). Среднее значение активности цезия-137 для современных образцов почв составило 76,4 Бк/кг. Была выявлена пространственная неоднородность для всех образцов (52,7%) и для глубины 0-10 см (41,9%). На глубине 10-20 см пространственная неоднородность отсутствует (26,9%).

Наиболее широким диапазоном по содержанию цезия-137, в отличие от радия-226, тория-232 и калия-40, характеризовались почвы под защитной лесополосой (26,9-111 Бк/кг), а наименее – почвы под пашней (36,1 – 47,7 Бк/кг). Почвы под залежью занимают промежуточное положение (46,2-74,8 Бк/кг).

Выводы: Для фоновых образцов почв характерны более широкие диапазоны содержания радия-226, тория-232 и калия-40. Минимальные значения активности радионуклидов в современных образцах были выше, чем в фоновых, а максимальные – ниже.

Диапазон содержания исследуемых радионуклидов в почвообразующей породе был более узкий, а максимальные значения меньше, чем в верхних 10 см слое. При этом расчет коэффициента вариаций показал наличие существенной разницы в данных и пространственно-временной неоднородности только для радия-226.

Наиболее широким диапазоном по активности радия-226, тория-232 и калия-40 характеризовались почвы под пашней и залежью, в отличие от почвы под защитной лесополосой. Для цезия-137 наблюдалась обратная тенденция: в почвах под защитной лесополосой содержалось максимальное количество этого радионуклида, почвы под пашнями имели минимальные значения, а под залежью – промежуточные.

Во всех исследуемых почвенных образцах, отобранных в 1929, 1947, 1952 и 1970 гг. наблюдается отсутствие цезия-137. В образцах почв 2011 года цезий-137 присутствует только на глубине 0-20 см. Максимальные значения содержания цезия-137 составляют 111 Бк/кг, причем, разница в максимальном и минимальном содержании достигает 4 раз. Коэффициент вариаций выявил пространственную неоднородность в содержании данного элемента, как при расчете для всех образцов, так и для образцов с глубины 0-10 см ($V_{\sigma} = 52,7$ и 41,9%, соответственно). На глубине 10-20 см – неоднородность отсутствовала, коэффициент вариаций был равен 27%.

Работа рекомендована для публикации профессором Апариным Б.Ф.

ОЦЕНКА ОЖИДАЕМЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТНИКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПЫЛЕОБРАЗУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ С ЧЕРНОБЫЛЬСКИМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ РАДИОНУКЛИДАМИ

Е.К. Нилова

РНИУП «Институт радиологии», г. Гомель, Республика Беларусь
e-mail: k_nilova@mail.ru

Выполнена оценка ожидаемых эффективных доз внутреннего облучения, обусловленных ингаляционным поступлением ^{137}Cs , ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$ в организм сельскохозяйственных работников при выполнении пылеобразующих сельскохозяйственных операций в условиях полевого эксперимента на территории Гомельской области Республики Беларусь.

The article presents committed effective doses of internal exposure due to inhalation of ^{137}Cs , ^{241}Am and $^{238,239+240}\text{Pu}$ by agricultural workers during the dust-rising agricultural operations, obtained in the field experiment implemented on the lands of Gomel region in Belarus.

Полевые эксперименты были заложены на участках земель общей площадью 4 га, принадлежащих территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника возле бывшего населенного пункта Рафалов Брагинского района Гомельской области, находящегося в 42 км от ЧАЭС (рис. 1).



Рисунок 1 – Расположение экспериментального участка на космическом снимке (заимствовано с веб-портала <http://google.earth/>)

Эти земли расположены на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Плотность загрязнения пахотного горизонта почвы ^{137}Cs – 840-990 кБк/м², ^{90}Sr – 75-90 кБк/м², ^{241}Am – 2,2-8,9 кБк/м², $^{239+240}\text{Pu}$ – 2,2-3,2 кБк/м², ^{238}Pu – 0,8-1,2 кБк/м².

Особенности и характеристики отбора проб воздуха при выполнении основных пылеобразующих сельскохозяйственных операций, измерений удельных активностей ^{137}Cs , ^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$ в пробах почвы и объемных активностей радионуклидов в пробах воздуха изложены в работе [1].

Полученные значения объемных активностей ^{137}Cs , ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$ в воздухе рабочей зоны были использованы для оценки ожидаемых эффективных доз внутреннего облучения, формируемых за счет ингаляционного поступления указанных радионуклидов в организм сельскохозяйственных работников при выполнении пылеобразующих операций. Эффективные дозы внутреннего облучения людей были рассчитаны с учетом международных требований [2]. Из консервативных соображений расчет доз производился с использованием дозовых коэффициентов для частиц диаметра 1 мкм, исходя из предположения, что вся зарегистрированная объемная активность представлена наиболее респирабельными частицами. При одновременном воздействии на человека источников внешнего и внутреннего облучения суммарная эффективная доза не должна превышать основных пределов доз облучения [3, 4].

В результате исследований установлено, что содержание весового количества пыли в кабине комплекса К-Г-6 являлось максимальным и составляло 5,2 мг/м³, а содержание пыли в кабине комбайна «Полесье», которая оборудована кондиционером, наоборот, было минимальным и составляло 0,2 мг/м³ (табл.).

Максимальными значениями объемной активности ^{137}Cs и ТУЭ (^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$) в воздухе рабочей зоны и, соответственно, мощности ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения работников от ингаляционного поступления радионуклидов характеризуется рабочее место «в кабине механизатора» при укосе трав и уборке зерновых с использованием комплекса К-Г-6 и зерноуборочного комбайна «Лида–1300» ОАО «Лидагропромаш» (табл.). Кабины комбайна «Лида–1300» и комплекса К-Г-6 не оснащены системой кондиционирования, вследствие чего возникает необходимость непрерывного проветривания рабочей зоны механизатора в течение всего рабочего времени через открытые оконные проемы, куда могут поступать частицы радиоактивного материала, поднятого из почвенных слоев.

Основной вклад в ожидаемую эффективную дозу внутреннего облучения от ТУЭ (^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$) сельскохозяйственных работников при выполнении рассмотренных пылеобразующих операций на загрязненных радионуклидами территориях вносит ингаляционное поступление ^{241}Am – 46-65% от суммы всех ТУЭ (табл. 1).

Таблица 1 – Объёмная активность радионуклидов в воздухе рабочей зоны и мощность ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения сельскохозяйственных работников при выполнении различных пылеобразующих операций

Вид сельскохозяйственной деятельности	Объёмная активность	Масса пыли, г/м ³	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs
	Мощность эффективной дозы внутреннего облучения					
Дискование (в поле)	Бк/м ³	н/о*	4×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁵	7×10 ⁻³
	мЗв/ч		7,8×10 ⁻⁹	3,2×10 ⁻⁸	3,6×10 ⁻⁸	1,3×10 ⁻⁸
Вспашка (в поле)	Бк/м ³	н/о*	1×10 ⁻⁵	3×10 ⁻⁵	5×10 ⁻⁵	3×10 ⁻²
	мЗв/ч		2,4×10 ⁻⁸	7,1×10 ⁻⁸	9,3×10 ⁻⁸	4,8×10 ⁻⁸
Уборка зерна тритикале (в поле)	Бк/м ³	н/о*	2×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁵	1×10 ⁻²
	мЗв/ч		2,4×10 ⁻⁸	1,2×10 ⁻⁷	1,7×10 ⁻⁷	1,8×10 ⁻⁸
Уборка зерна тритикале (в кабине комбайна «Лидар-1300»)	Бк/м ³	н/о*	<1×10 ⁻⁶	4×10 ⁻⁵	8×10 ⁻⁵	6×10 ⁻²
	мЗв/ч		-	5,3×10 ⁻⁷	8,6×10 ⁻⁷	1,0×10 ⁻⁷
Укос трав (в поле)	Бк/м ³	0,0024	1×10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁵	4×10 ⁻⁵	2×10 ⁻²
	мЗв/ч		1,2×10 ⁻⁷	2,6×10 ⁻⁷	4,3×10 ⁻⁷	3,2×10 ⁻⁸
Укос трав (в кабине комплекса для заготовки кормов К-Г-6)	Бк/м ³	0,0052	5×10 ⁻⁵	1,5×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	8×10 ⁻²
	мЗв/ч		5,9×10 ⁻⁷	1,9×10 ⁻⁶	2,2×10 ⁻⁶	1,5×10 ⁻⁷
Уборка зерна рапса (в поле)	Бк/м ³	0,0012	1×10 ⁻⁶	5×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁵	4×10 ⁻³
	мЗв/ч		1,2×10 ⁻⁸	6,4×10 ⁻⁸	1,4×10 ⁻⁷	7,5×10 ⁻⁹
Уборка зерна рапса (в кабине комбайна «Полесье»)	Бк/м ³	0,0002	<1×10 ⁻⁶	<1×10 ⁻⁶	<1×10 ⁻⁶	<4×10 ⁻²
	мЗв/ч		-	-	-	-

Примечание: * – не определялось

На рабочем месте «в поле» ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения от ингаляционного поступления всех рассматриваемых радионуклидов для каждой сельскохозяйственной операции на один числовой порядок величины меньше соответствующих доз внутреннего облучения на рабочем месте «в кабине», не оснащенной системой кондиционирования (табл. 1).

Данные таблицы свидетельствуют о том, что при выполнении всех рассмотренных сельскохозяйственных операций вклад от ¹³⁷Cs, по сравнению с таковым от суммы ТУЭ, в формирование эффективной дозы внутреннего облучения на один порядок величины меньше (рис. 2).

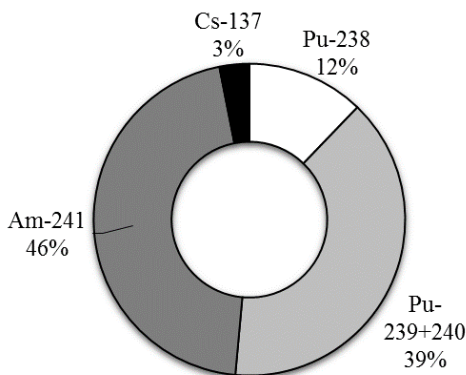


Рисунок 2 – Структура эффективной дозы внутреннего облучения сельскохозяйственного работника от ^{137}Cs и ТУЭ (^{241}Am и $^{238,239,240}\text{Pu}$) на примере рабочего места «в кабине механизатора» комплекса К-Г-6

Показатели дозы внешнего облучения работников, выполняющих операции на экспериментальном участке, характеризуются величиной мощности эквивалентной дозы, которая составляла: «на поле» – $0,4-0,5 \times 10^{-3}$ мЗв/ч, а «в кабинах механизаторов» – $0,15-0,20 \times 10^{-3}$ мЗв/ч. Таким образом, при выполнении наиболее пылеобразующих сельскохозяйственных операций ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления ^{137}Cs и суммы ТУЭ ($^{241}\text{Am} + ^{238+239+240}\text{Pu}$) на два математических порядка величины меньше эффективной дозы внешнего облучения работников.

Время, которое сельскохозяйственным работникам (полеводам, механизаторам) необходимо затратить на выполнение операций на экспериментальном участке, зависит от технологического регламента по возделыванию различных сельскохозяйственных культур. Полный цикл возделывания отдельных культур может достигать затрат времени – до 70 часов в год [1]. При этих затратах времени суммарная годовая эффективная доза (сумма эффективной дозы внешнего облучения и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения) сельскохозяйственных работников, занятых на самых пылеобразующих операциях, будет достигать 3×10^{-2} мЗв в год. Указанная величина суммарной дозы облучения сельскохозяйственных работников составляет 3% от основного предела доз облучения – 1 мЗв в год для населения.

Для снижения дозы внутреннего облучения работников рекомендуется использовать сельскохозяйственную технику, кабина которой оснащена системой кондиционирования, а также минимизировать время нахождения на рабочем месте «в поле».

Список литературы

1. Подоляк А.Г., Тагай С.А., Аверин В.С., Буздалькин К.Н., Нилова Е.К. Дозы облучения работников при проведении сельскохозяйственных операций на загрязненной радионуклидами (^{137}Cs , ^{241}Am и $^{238,239+240}\text{Pu}$) территории // Радиация и риск. 2014. Т.23, вып. 2. С. 85-94.
2. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards: general safety requirements. – Interim edition. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011.–303 p.
3. Критерии оценки радиационного воздействия: Гигиенический норматив / утв. постановлением Минист. Здравохр. Респ. Беларусь, 28 дек. 2012 г. № 213 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2013. 8/26850.
4. Требования к радиационной безопасности: санитарные нормы и правила, утвержд. постановл. Мин. здрав. Респ. Беларусь, 28 дек. 2012 г. №213 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2013. – 2/26850.

УДК 577.346

БАЗА ДАННЫХ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАДИОАКТИВНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

**С.Н. Нуштаев, И.Е. Титов, В.В. Кречетников, В.Э. Куртмулаева,
Р.А. Микаилова, О.А. Шубина**

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: nusht_90@mail.ru

В статье приводится краткое описание базы данных радиационного мониторинга в сельском хозяйстве на территориях РФ, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС (Брянская, Калужская, Тульская и Орловская области).

The article provides a brief description of the database on results of radiation monitoring of the agricultural sector on the territories of the Russian Federation affected by the Chernobyl accident (the Bryansk, Kaluga, Tula and Orel regions).

Авария на Чернобыльской АЭС явилась крупнейшей в истории ядерной энергетики и привела к масштабному загрязнению сельскохозяйственных угодий. На территории Российской Федерации наиболее высокие уровни радиоактивного загрязнения отмечены на территории 4 областей: Брянской, Калужской, Орловской и Тульской.

Объективная оценка радиэкологической обстановки, выявление тенденции в ее изменении, оптимизация проведения реабилитационных мероприятий должны быть основаны на данных радиационного мониторинга загрязненных территорий. Информация, полученная в ходе

радиационного мониторинга территорий, должна быть обобщена в специализированных базах данных.

По результатам радиологического обследования загрязненных территорий и данных радиационного контроля создана база данных радиационного мониторинга на территориях РФ, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС, которая включает данные по загрязнению почв сельскохозяйственных угодий, продукции растениеводства, кормопроизводства и животноводства и т.д. [1]

База данных создана с использованием системы управления базами данных (далее - СУБД) Access-2007. Основу составляют таблицы для хранения информации. Ввод данных осуществляется посредством форм. Она включает в себя два основных блока информации: радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель и радиационного контроля продукции.

Блок радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель содержит следующую информацию: административно-хозяйственная характеристика сельскохозяйственного предприятия; экономическая характеристика сельскохозяйственного предприятия; характеристики сельскохозяйственных угодий (структура землепользования, характеристики почвенного покрова и т.д.); характеристика радиационной обстановки; перечень основных мероприятий по преодолению последствий аварии на ЧАЭС в хозяйстве.

Блок радиационного контроля продукции содержит обозначение места отбора (идентификатор места отбора проб), вид контролируемой продукции и характеристика пробы с результатами измерений содержания ^{137}Cs , а также датой отбора проб.

Идентификация места отбора проб почвы и продукции растениеводства проводилась по названиям районов, хозяйств и номерам полей, а продукции животноводства - по названиям районов, коллективных хозяйств и населенных пунктов. В базе данных предусмотрен ввод информации для 4х областей (Брянской, Тульской, Орловской, Калужской).

Источниками информации являлись подразделения агрохимической службы Минсельхоза России и подразделения Россельхознадзора, осуществляющие радиационный контроль. Радиологическими подразделениями агрохимической службы Минсельхоза при обследовании загрязненных территорий проводится сбор информации по уровням загрязнения сельскохозяйственных земель, продукции (картофель, зерновые, различные виды кормов), производимой в хозяйствах различных форм собственности (коллективных, фермерских, личных подсобных). Радиационный контроль ветеринарными радиологическими службами проводится по продукции личных подсобных хозяйств, контроль на рынках и на производственных предприятиях по переработке животноводческого сырья.

Источниками информации по административно-хозяйственным и экономическим характеристикам являются администрации районов, муниципальных образований, сельских поселений, управления государственной статистики.

По состоянию на ноябрь 2015 г. в базу данных включена информация для 163 сельскохозяйственных предприятия Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей.

Всего в базу данных внесено более 250 тыс. записей. В таблице 1 приведена информация по заполнению основных таблиц базы данных радиационного мониторинга на территориях, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС.

Таблица 1 - Статистика по заполнению базы данных

Наименование	Количество записей
Административно-хозяйственная характеристика сельскохозяйственного предприятия	191
Загрязнение продукции (данные ветеринарного контроля)	186294
Загрязнение продукции сельскохозяйственных предприятий (данные агрохимических центров)	26685
Объемы проведенных реабилитационных мероприятий	3905
Уровни загрязнения сельхозугодий	46764

В базе данных во вспомогательных таблицах представлена информация о мехсоставе почв (глинистые, суглинистые, супесчаные, песчаные, торфяные, легкосуглинистые), виде угодий (пашня, пастбище, сенокос, сад, заливной луг (пастбище), заливной луг (сенокос), лес) и типе почв (аллювиально-слоистые, болотные глеевые, болотные торфяные, дерновые глеевые, дерново-подзолистые, пойменные торфяные, серые лесные почвы и комплекс овражно-балочных почв).

Блок радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных земель содержит 46,7 тыс. записей. Информация по уровням загрязнения сельскохозяйственных угодий добавлена за несколько туров радиационного обследования для Брянской области: 1993 г., 1996-98 гг., 2002-03 гг., 2008-09 гг. Информация по Калужской области внесена по итогам обследования 2010-11 гг. По Орловской области внесены данные за 2009 г. обследования. Для Тульской области внесены данные за 1994 – 2014 гг.

Блок радиационного контроля продукции содержит информацию как по общественному (продукция сельскохозяйственных предприятий), так и по частному сектору (личные подсобные хозяйства), всего более 200 тыс. записей. Данные предоставлены более, чем для 70 видов продукции.

Наибольшее количество записей таблицы «Контроль», включающей данные агрохимических служб, относится к кормам (травы, сено, зеленая масса и т.д.) (рис. 1).

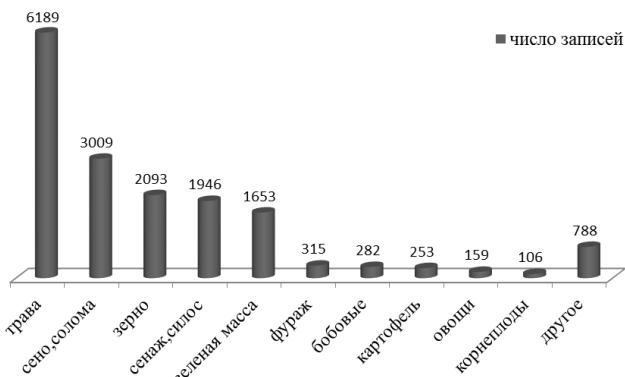


Рисунок 1 – Распределение количества записей по видам продукции в таблице «Контроль»

Информация ветеринарного контроля представлена более, чем для 100 видов продукции. Наибольшее количество данных относится к молоку, кормам и мясу (рис. 2).

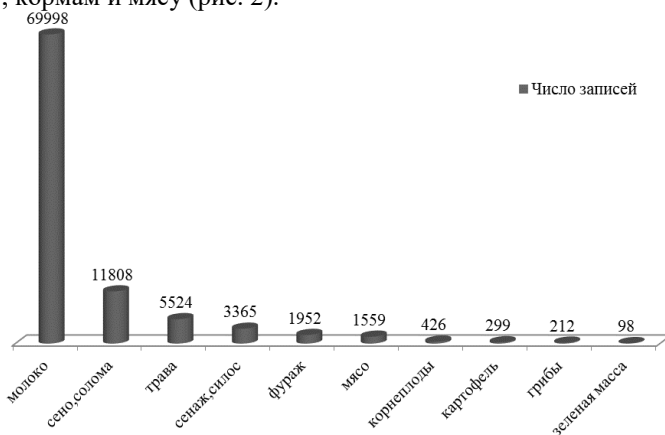


Рисунок 2 – Распределение количества записей по видам продукции в таблице «Вет-Контроль»

В результате проведенных исследований в СУБД Access разработана и заполнена база данных радиационного мониторинга в сельском хозяйстве на территориях РФ, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС (Брянская, Калужская, Тульская и Орловская области). В базе данных представлена информация для 163 хозяйств Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей. Всего база данных радиационного мониторинга в сельском хозяйстве на территориях РФ, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС содержит более 250 тыс. записей.

Список литературы

1. Титов И.Е., Шубина О.А., Кречетников В.В., Нуштаев С.Н. База данных радиационного мониторинга на территориях, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС / Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 412-415.

УДК 631.438.2

НАКОПЛЕНИЕ ЦЕЗИЯ-137 ЧЕРНИКОЙ МИРТОЛИСТНОЙ В ОКРЕСТНОСТЯХ КОЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

М.Б. Попова

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: marbpop@gmail.com

Загрязнение почв в окрестностях КоАЭС ^{137}Cs не превышает фоновых значений, сформированных глобальными выпадениями. В то же время, при низких удельных активностях данного радионуклида в корнеобитаемой толще почвы, интенсивность его накопления растительностью очень высока.

Кольская атомная электростанция является объектом потенциальной радиационной опасности для окружающей природной среды как в районе размещения станции, так и в регионе в целом.

Кольская атомная электростанция расположена за Полярным кругом на берегу озера Имандра. Район расположения станции характеризуется своеобразными природными условиями: переходом от тундры и лесотундры к крупным лесным массивам и характерным рельефом с выположенными возвышенностями и моренными холмами с глубокими расчленениями.

Лаборатория охраны окружающей среды КАЭС осуществляет экологический мониторинг состояния различных объектов окружающей среды, но не проводит детального изучения поведения радионуклидов в почвах и растительности.

Данные о содержании и распределении главного станционного радионуклида ^{137}Cs в растительности в окрестностях атомной станции в последние годы в литературе не публиковались, поэтому изучение накопления ^{137}Cs доминантными видами растительности в зоне влияния Кольской атомной электростанции является актуальным.

В ходе исследования в августе 2014 года было заложено 12 пробных площадок:

- по одной в СЗЗ АЭС и в СЗЗ хранилища сухих слабоактивных отходов (С1 и С2);
- 5 в зоне наблюдения на расстоянии 10 км от станции (1-5);
- 4 – на границе зоны наблюдения на расстоянии 15 км (I-IV);

- 1 фоновая площадка на расстоянии 30 км к северо- западу от станции (Ф).

На каждой из этих площадок был произведен отбор почвенных проб из генетических горизонтов и растительных образцов, а именно, ветвей и листьев черники миртолистной.

Данные об особенностях накопления ^{137}Cs растениями черники миртолистной (*Vaccinium myrtillus*) до сих пор немногочисленны. Тем не менее, изучение этого вида представляет большой интерес с точки зрения радиоэкологии, т.к. ягоды растений данного вида употребляются непосредственно в пищу населением, что может вносить вклад в формирование дозовый нагрузок у людей на обширных северных территориях. Представители семейства Брусничных, к которым относится черника, являются признанными концентраторами радиоцезия, способными к его избирательному накоплению, что делает их актуальными объектами исследования.

Плотность загрязнения (запас) ^{137}Cs корнеобитаемой толщи (0-30 см) исследованных почв составляет 530-2459 Бк/м², что существенно ниже установленного контрольного уровня в 1 Ки/км² и позволяет отнести исследованные участки к территориям с относительно благоприятной ситуацией [3].

Расчитанные КП и КН ^{137}Cs в листья черники существенно выше, чем полученные в ходе проводившихся ранее исследований этих растений, произрастающих на подзолах и даже в некоторых аккумулятивных ландшафтах других природных зон (таблица 1).

Таблица 1 – Сопоставление КН и КП ^{137}Cs в листьях черники миртолистной с литературными данными

Объект	КН	КП, п*10 ⁻³ м ² /кг
КоАЭС		
С1	5,14-44,77	17-117
По данным Дайнеко, Сапегина, Тимофеева (2013)		
Сосняк ракитниково-мшистый, почва дерново-подзолистая супесчаная	0,78	-
По данным Бордзыко, Маркеловой (2009), Брянская обл.		
Сосняки бруснично-черничные	0,97-2,87	15,99-25,19
Березняки бруснично-черничные	0,85-2,41	17,84-24,49
По усреднённым данным Щеглова на 1987-1992 (1999)		
Аккумулятивные ландшафты 30-км зоны отчуждения ЧАЭС	-	50

В ходе проведения исследования не представилось возможности отобрать образцы ягод черники с каждой площадки в объеме,

достаточном для измерения удельной активности ^{137}Cs . Однако, в изученной местности была отобрана смешанная проба ягод черники. Удельная активность ^{137}Cs в ней составила $13,5 \pm 1,6$ Бк/кг, что многократно ниже установленного контрольного уровня для высушенных дикорастущих ягод, который составляет 800 Бк/кг [4].

Черника обыкновенная входит в Государственный реестр лекарственных средств Российской Федерации, что дает возможность сравнить удельные активности ^{137}Cs в ее листьях, ветвях и ягодах с допустимым уровнем содержания ^{137}Cs в лекарственных растениях. Во всех отобранных образцах эти активности оказались существенно ниже установленного допустимого уровня в 400 Бк/кг [4].

Влияние КоАЭС на накопление ^{137}Cs структурными компонентами черники миртолистной на фоне глобальных выпадений путём расчётов коэффициентов ранговой корреляции Спирмена между радиоэкологическими показателями черники, расстояниями пробных площадок от атомной станции и повторяемостью ветров в районе ее расположения не выявлено. Вместе с тем, на изученной территории наблюдается очень интенсивное накопление ^{137}Cs черникой миртолистной. Оно существенно превышает значения, известные в литературе для других природных зон. Поэтому дальнейшее изучение накопления ^{137}Cs растительностью Арктического региона является очень важным.

Список литературы

1. Бордзыко Е.В., Маркелова Н.В. Сравнительная характеристика гамма-спектрометрических показателей лекарственных растений из юго-западного нечерноземья РФ / Ученые записки Брянского государственного университета, Биология, 2009, 118-123 с.
2. Дайнеко Н.М., Сапегин Л.М., Тимофеев С.Ф. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях сосняков рацитниково-мшистых Гомельской области после катастрофы на чернобыльской АЭС / Растительные ресурсы, вып. 3, 2013, 380-390 с.
3. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Методика министерство природных ресурсов РФ (утв. 30 ноября 1992).
4. СанПин 2.3.2.1078-01 в редакции от 06.07.11
5. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: По материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. - М.: Наука, 2000, - 268 с.

ИЗУЧЕНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЧВ СТАЦИОНАРНЫХ УЧАСТКОВ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

А.Д. Русских, А.И. Радин, А.Н. Раздайводин, В.В. Калнин

ФБУ ВНИИЛМ, г. Пушкино, Россия

e-mail: romashkina@roslesrad.ru

В данной работе описаны результаты исследования биогеохимических особенностей почв в сети единого радиационного мониторинга лесов Союзного государства на примере трех стационарных участков, расположенных на территории Брянской и Гомельской областей. Исследовалось горизонтальное и вертикальное распределение ^{137}Cs в почве в пределах участков, и его связь с мощностью дозы и основными агрохимическими показателями. Установлено, что в дерново-подзолистых и серых лесных почвах в условиях Брянского полесья основная часть ^{137}Cs в настоящее время остается в подстилке и гумусовых горизонтах. Достоверно не выявлено однозначных трендов корреляции содержания ^{137}Cs с основными агрохимическими показателями.

ВВЕДЕНИЕ

Чернобыльская катастрофа является самой масштабной в истории и ее последствия даже спустя 30 лет нуждаются в изучении. Поведение цезия-137 (^{137}Cs) в почве и его миграция в сопредельные среды до сих пор остаются актуальными вопросами [1]. Целью исследования является изучение вертикального и горизонтального распределения ^{137}Cs в почве и его связь с мощностью дозы и основными агрохимическими показателями.

Объектами исследования были выбраны три стационарных участка единой сети радиационного мониторинга лесов Союзного государства, расположенные на территории Гомельской и Брянской областей в зонах радиоактивного загрязнения. Стационарный участок представляет собой постоянную пробную площадку (50x50 м) с однородным лесным покровом, с ровным рельефом в лесном массиве площадью не менее 1 га. Стационарный участок поделен на 9 квадратных секций, углы которых являются контрольными точками отбора проб (16 шт.), а также 4 контрольных точки в центрах угловых секций, на местности все контрольные точки отмечены пикетными кольями.

Согласно схеме агроклиматического районирования [2] почвы района исследований относятся к белорусской провинции дерново-подзолистых слабогумусированных и болотных низинных почв. Участки СУ-1Б и СУ-1Р характеризуются дерново-подзолистыми мощными и

среднемощными глубокоосветленными песчаными почвами на флювиогляциальных отложениях под следующими типами леса: сосняк плауново-зеленомошный (тип лесорастительных условий В2) и сосняк злаково-разнотравный (В2) соответственно. Стационарный участок СУ-2Р отличается более влажными условиями (В3), тип леса - березняк злаково- черничный на серой лесной маломощной профильно-оглеенной супесчаной почве на флювиогляциальных отложениях.

Отбор проб почвы произведен в соответствии с Методикой организации и ведения радиационного мониторинга в лесах и состоит из следующих видов отбора проб: отбор проб почвы из разреза по генетическим горизонтам; отбор общей почвенной пробы с живым напочвенным покровом стандартным пробоотборником (диаметр 4 см, глубина 20 см) в 4 контрольных точках, расположенных в центрах угловых секций; отбор почвенных проб с живым напочвенным покровом стандартным пробоотборником по две пробы в 16 контрольных точках; отбор почвенных проб стандартным пробоотборником в 16 контрольных точках с отделением лесной подстилки с живым напочвенным покровом и разделением оставшейся почвы на односантиметровые слои на глубину до 20 см, при этом все пробы одного слоя почвы и лесной подстилки с живым напочвенным покровом с каждой из 16 контрольных точек помещают в один и тот же соответствующий глубине отбора мешок.

В каждой контрольной точке проведены измерения мощности дозы гамма-излучения на высоте 3-4 см и 1 м от поверхности почвы дозиметром-радиометром поисковым МКС-РМ 1401К.

Измерение удельной активности ^{137}Cs проводилось на спектрометре энергий гамма-излучений полупроводниковом ГАММА-1П с ПО SpectraLine.

Агрохимические показатели почв измерялись в каждом генетическом горизонте, в общей почвенной пробе и в почвенных пробах, отобранных в 16 точках на глубину до 20 см. Определение рН водной вытяжки произведено в соответствии с ГОСТ 26423-85 [3]. Определение подвижных форм калия и фосфора осуществлено по методу Мачигина [4]. Определение гумуса произведено по методу Тюрина [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам измерений удельной активности ^{137}Cs в разрезе по горизонтам удельная активность радионуклида на глубине ниже 50 см незначительна и составляет сотые доли процента для всех изучаемых почв. Основное содержание радионуклида сконцентрировано преимущественно в гумусовых горизонтах (Рис. 1).

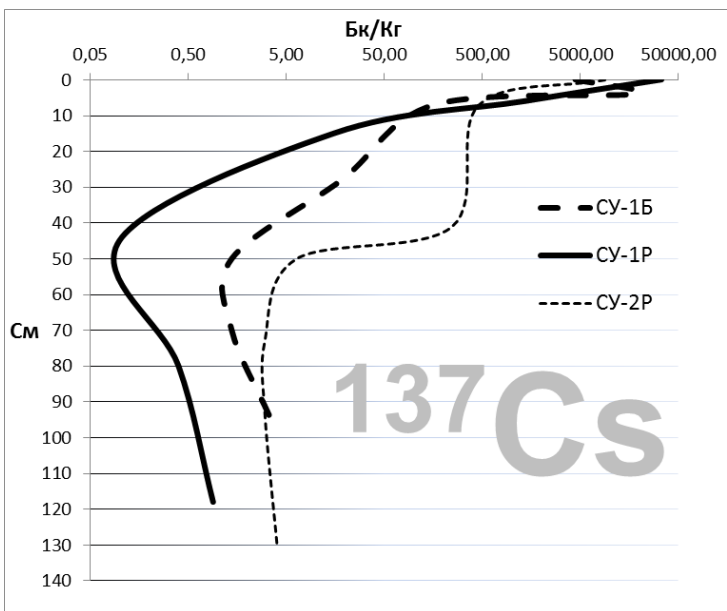


Рисунок 1 – Распределение удельной активности ^{137}Cs по почвенному профилю

График, построенный на основе измерения удельной активности ^{137}Cs в почвенных пробах, отобранных послойно по одному сантиметру, показывает, что 95% радионуклида содержится в подстилке и верхних 10 см почвы (Рис. 2).

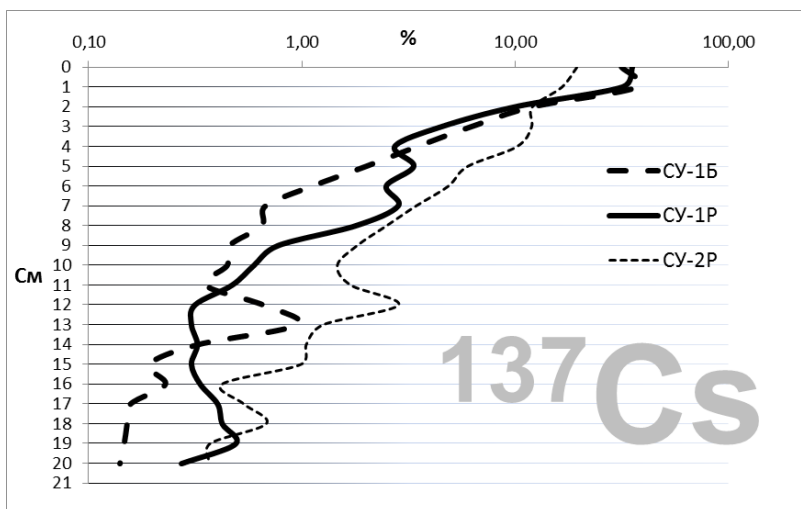


Рисунок 2 – Распределение активности ^{137}Cs в % по слоям толщиной 1 см

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что вертикальная миграция ^{137}Cs в лесных почвах происходит на незначительную глубину.

Для исследуемых радиационных показателей: плотность загрязнения, мощность эквивалентной дозы и основных агрохимических показателей почвы: рН, содержание углерода, содержание подвижных форм калия и фосфора, было проанализировано пространственное распределение по 16 точкам (Табл. 1).

Таблица 1 – Показатели вариации средних значений изучаемых свойств

Показатели	СУ-1Б		СУ-1Р		СУ-2Р	
	Среднее	Коеф. вариации	Среднее	Коеф. вариации	Среднее	Коеф. вариации
Плотность загрязнения, кБк/м ²	362,1±29,1	32,18	717,8±51,4	28,64	534,8±40,6	30,34
МЭД (поверхность), мкЗв/ч	0,55±0,01	8,07	0,89±0,02	9,60	0,62±0,03	22,42
МЭД (1 м), мкЗв/ч	0,55±0,01	5,05	0,68±0,01	5,00	0,53±0,02	16,14
рН (Н ₂ О)	4,64±0,05	3,93	4,73±0,05	4,20	4,18±0,05	4,80
P ₂ O ₅ , мг/кг	75,6±3,8	20,15	142,5±13,6	38,32	166,1±24,5	59,09
K ₂ O, мг/кг	577,4±15,2	10,54	102,3±15,8	61,67	97,2±19,6	80,86
C, %	0,8±0,1	26,40	1,1±0,1	29,30	3,2±0,5	58,15

Данные, приведенные в таблице, демонстрируют высокую неоднородность пространственного распределения плотности загрязнения лесных почв на всех участках (Кoeffициенты вариации 28,64 - 32,18). На рисунке 3 приведена диаграмма распределения плотности загрязнения одного из стационарных участков.

Агрохимические показатели показывают неоднородную вариабельность на разных участках. Наибольшая вариабельность отмечается на участке СУ-2Р. Вероятно, пространственная неоднородность данных показателей вызвана высокой мозаичностью почвенного покрова в лесных экосистемах и выраженным микрорельефом [6].

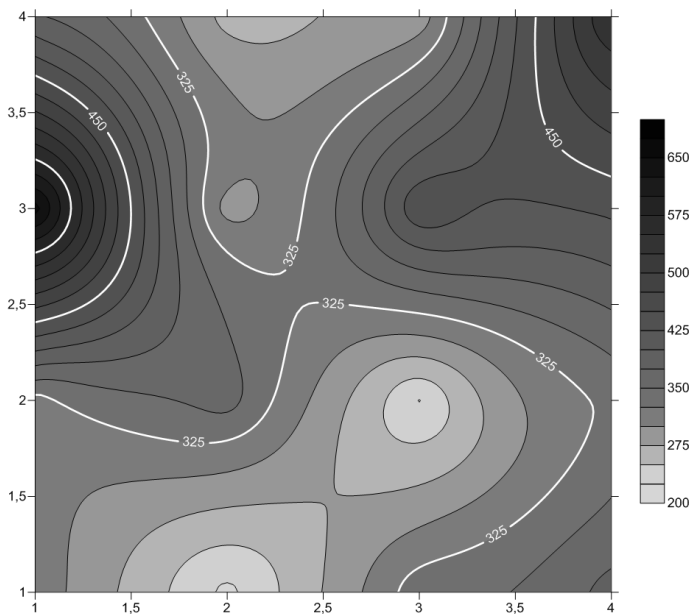


Рисунок 3 – Пространственное распределение плотности загрязнения ^{137}Cs на СУ-1Б, кБк/м²

Для каждого исследуемого участка был проведен корреляционный анализ всех исследуемых показателей. На участке 1Б достоверных зависимостей не обнаружено. Величина плотности загрязнения ^{137}Cs и содержание углерода демонстрирует тенденцию к положительной зависимости на участке СУ-1Р. рН отрицательно коррелирует с содержанием углерода и соединениями фосфора на стационарных участках СУ-1Р и СУ-2Р. Содержание доступного фосфора и величины рН отрицательно коррелирует по причине зависимости содержания доступных для растений форм фосфора от кислотности почвенного раствора. Содержание подвижного калия на участке СУ-2Р положительно коррелирует с содержанием фосфора и углерода. Фосфор в свою очередь имеет положительную связь с углеродом. Плотность загрязнения и мощность эквивалентной дозы коррелируют, так как обе величины зависят от содержания радионуклида в почве.

ВЫВОДЫ

На примере обследованных участков установлено:

- На дерново-подзолистых и серых лесных почвах в условиях Брянского полесья основная часть ^{137}Cs в настоящее время остается в горизонтах О (подстилка), Ad (дерновый горизонт), ОА (переходный горизонт), А (гумусовый горизонт), АЕ (переходный горизонт).
- 95% ^{137}Cs содержится в подстилке и верхних 10 см почвы.

- Достоверно не выявлено связи удельной активности ^{137}Cs в почве с основными агрохимическими показателями (кислотностью, содержанием подвижных форм калия и фосфора и запасом гумуса).

- Наблюдается высокая неоднородность пространственного распределения плотности загрязнения лесных почв на всех участках, коэффициент вариации составляет $\approx 30\%$.

- Варьирование агрохимических показателей неодинаково для разных участков, что может быть связано с различными типами леса и лесорастительными условиями.

- Полученные данные могут быть использованы для дальнейшего изучения влияния агрохимических показателей на коэффициенты перехода ^{137}Cs в лесную растительность и основные виды лесных ресурсов.

Список литературы

1. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. / Под общей ред. Ильина Л.А. и Губанова В.А. - М.: ИздАТ, 2001, 438 с.
2. Добровольский Г.В. География почв: учебник. - 3-е изд. / Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская. - М.: Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2006. - 460с.: илл.
3. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. - введ. 1986-01-01. - М.: М.: Стандартинформ, 2011 год
4. ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. - Взамен ГОСТ 26205-84; введ. 1993-07-01. - М.: Издательство стандартов, 1992 год
5. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. - Взамен ГОСТ 26213-84; введ. 1993-07-01. - М.: Издательство стандартов, 1992 год
6. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: По материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. - М.: Наука, 2000. - 268 с.

УДК 551.495: 504.4.054: 546.11.02.3

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ТРИТИЯ В ГРУНТАХ РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

З.Б. Сержанова, А.К. Айдарханова, С.Н. Лукашенко

Филиал ИРБЭ НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан
e-mail: serzhanova@nnc.kz

В данной работе представлены результаты по исследованию распределения форм нахождения трития (ЗН) в поверхностных грунтах и грунтах на различной глубине радиационно-опасных объектов (РОО) Семипалатинского испытательного полигона (СИП), отличающихся механизмом поступления ЗН на данный объект.

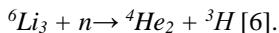
Одним из самых распространенных техногенных радионуклидов на территории СИП является ^3H . Концентрация ^3H как в воде, так и в грунте на некоторых участках СИП может достигать нескольких сотен тысяч Бк/кг. Несмотря на это, формы нахождения ^3H в грунте в местах проведения ядерных испытаний, являющиеся основным параметром, характеризующим процессы его миграции, практически не изучены. Недостаток такой информации вызывает необходимость детального изучения форм нахождения ^3H в грунте с целью дальнейшего прогнозирования его поведения в природной среде.

Согласно литературным данным, известно лишь то, что водород в грунте может содержаться в составе воды и в органических соединениях [1, 2]. В минералах грунта, водород может содержаться в поверхностно-адсорбированной и межслоевой воде, которые являются формами свободной воды. Свободная вода, присутствующая в минеральных массах, характеризуется тем, что не принимает прямого участия в строении кристаллической решетки минералов [3].

Вода также входит и в состав кристаллической решетки минерала. Водород в составе такой воды называется гидроксильным. [3, 4]. Водород в составе органических соединений образует органически связанный ^3H , замещая водород в устойчивой связи С-Н [5]. Таким образом, гидроксильный и органически связанный водород, входящие в структуру кристаллической решетки минерала, являются связанными формами.

Так как ^3H является одним из изотопов водорода, предполагается, что ^3H в грунтах содержится в тех же формах.

Также к связанным формам относится и менее известный ^3H в кристаллически связанной (прочносвязанной) форме. О возможности существования такой формы можно утверждать, учитывая, что ^3H может нарабатываться на легких элементах в результате реакции активации, имевших место в момент проведения взрывов, например, ядерных реакций типа:



Для определения форм нахождения ^3H в грунте в качестве участков исследования были выбраны различные РОО, расположенные на территории СИП – это площадки «Дегелен», «Балапан» и «Опытное поле». На данных объектах отмечается повышенное содержание ^3H как в воде, так и в грунтах. Исследования также проводились в грунтах юго-восточной части (ЮВЧ) СИП, которая не является радиационно-опасным объектом, но согласно ранее проведенным исследованиям были зафиксированы незначительные концентрации ^3H в растениях, при этом в грунтовых и поверхностных водах численных значений содержания ^3H зафиксировано не было.

На выбранных участках исследование форм нахождения ^3H проводилось как в поверхностных грунтах, так и в грунтах, залегающих на различной глубине. Отбор образцов поверхностного грунта для

исследования проводился во всех точках исследования и в отдельных точках проводился отбор проб грунта послойно на различной глубине.

Методология определения форм нахождения ^3H заключалась в поэтапном извлечении каждой из форм. Определение форм нахождения ^3H содержащихся в виде свободной воды проводилось методом дистилляции при различных температурах. Так, ^3H в поверхностно-адсорбированной воде почти полностью выделялся из грунта при нагреве до 150°C . Для выделения ^3H в межслоевой воде производился нагрев образца до 400°C [1, 2]. Связанные формы ^3H определялись методом двухстадийного автоклавного разложения с промежуточным прокаливанием с целью удаления органически связанного ^3H . Автоклавное разложение основывается на окислительно-кислотной минерализации грунта в герметично замкнутом объеме при воздействии температуры и давления. Ход эксперимента схематично представлен на рисунке 1.

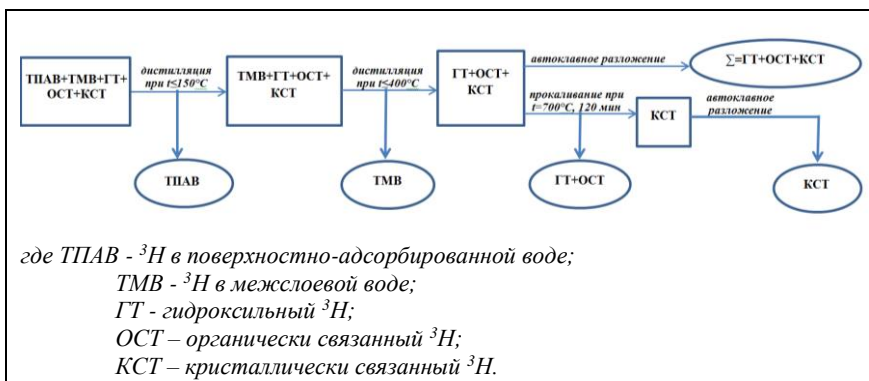


Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента по определению форм нахождения ^3H

В полученных образцах определение содержания ^3H проводилось методом жидкосцинтилляционной β -спектрометрии согласно [7].

В результате проведенных экспериментальных работ по определению форм нахождения ^3H в грунтах различных РОО СИП было установлено, что распределение форм нахождения ^3H носит неоднородный характер, что связано с механизмом образования и поступления ^3H на данный объект. Полученные результаты распределения форм нахождения ^3H в поверхностных грунтах представлены в таблице 1, а распределение форм нахождения ^3H по глубине – в таблице 2.

Таблица 1 – Распределение форм нахождения ^3H в поверхностных грунтах

№	Место отбора	Точка отбора	Удельная активность ^3H , Бк/кг			
			^3H в поверхностно-адсорбированной воде	^3H в межслоевой воде	Гидроксильный ^3H + ОСТ	КСТ
1	«Дегелен»	р. Карабулак	4400±440	2100±210	230±120	<120
2		р. Байтлес	10300±1000	4100±420	<120	<120
3	Река Шаган	т.2	28000±2500	15500±1200	2400±200	<120
4		т.3	650±120	60±10	430±120	250±120
5	«Атомное» озеро	т.1	850±80	5500±560	11000±1100	730±120
6		т.3	1700±170	3200±320	4400±500	710±120
7	ЮВЧ	т.1	<1	<1	<120	<120
8		т.2	10±1	<1	<120	<120
9	«Опытное поле»	П1, т.1	250±16	2200±20	6000±630	270±120
10		П-3, центр	1340±130	13000±1300	31000±3000	1500±150

Таблица 2 – Распределение форм нахождения ^3H по глубине

№	Место отбора	Точка отбора	Глубина отбора, м	Удельная активность ^3H , Бк/кг			КСТ
				^3H в поверхностно-адсорбированной воде	^3H в межслоевой воде	Гидроксильный ^3H + ОСТ	
1	«Дегелен»	Байтлес	0-1,0	500±50	72±5	<120	<120
2			1,0-2,0	1800±140	-	150±120	<120
3			2,0-3,0	2600±180	140±10	<120	<120
4			3,0-3,6	4000±370	100±10	<120	<120
5	Река Шаган	т.3	0-1,0	100±5	-	<120	<120
6			1,0-2,0	60±5	-	<120	<120
7			2,0-3,0	55±5	-	<120	<120
8	«Атомное» озеро	т.1	0,2	2000±200	9000±9000	78000±8200	4700±420
9			3,0	8000±800	6000±600	800±120	160±120
10			5,5	3300±300	720±100	330±120	<120
11	ЮВЧ	т.2	0-1,0	10±1	<1	130±10	<120
12			1,0-2,0	7±1	3±1	1600±120	<120
13			2,0-3,5	6±1	3±1	1300±120	<120

Площадка «Дегелен». Как следует из результатов, в поверхностных грунтах преобладают формы, содержащиеся в виде свободной воды. Их содержание составляет порядка 85-98 %, соответственно оставшуюся незначительную часть составляют связанные формы ^3H - от 2 до 15%.

При проведении исследований по глубине можно отметить, что, как и в поверхностных грунтах, в глубинных слоях грунта преобладают формы, содержащиеся в виде свободной воды. Однако исследования по

глубине показали, что с увеличением глубины содержание связанных форм ^3H уменьшается.

Таким образом, полученные результаты дают основание предположить, что преобладание форм нахождения ^3H , содержащихся в виде свободной воды, в грунтах площадки «Дегелен» связано с его поступлением на данный объект путём выноса ^3H с поверхностными водами из штолен.

Река Шаган. Из полученных данных следует, что в поверхностных грунтах р. Шаган преобладают формы, содержащиеся в виде свободной воды – 60-95%. В т.3 зафиксировано содержание кристаллически связанного ^3H , содержание которого в точке 2 не зафиксировано.

Как показывают результаты, распределение форм нахождения ^3H по глубине аналогично распределению в поверхностных грунтах, т.е. с преобладанием форм ^3H , содержащихся в виде свободной воды.

Полученные результаты позволяют предположить, что преобладание форм нахождения ^3H , содержащихся в виде свободной воды, в грунтах р. Шаган связано с наличием подтока загрязнённых грунтовых вод на данном участке.

«Атомное» озеро. Из полученных результатов следует, что в поверхностных грунтах «Атомного» озера преобладает содержание связанных форм, а именно особенности органически связанный и гидроксильный ^3H . Их процентное содержание составило суммарно более 50%.

По результатам исследований распределения форм нахождения ^3H по глубине следует, что в верхних слоях грунтах (до 1 м) распределение аналогично распределению форм нахождения ^3H в поверхностных грунтах, т.е. преобладают связанные формы ^3H . При этом их содержание уменьшается далее по глубине.

Преобладание связанных форм ^3H в грунтах «Атомного» озера, вероятно, связано с характерными особенностями проведения ядерного взрыва (экскавационного испытания) на данной площадке, в результате чего произошло значительное загрязнение грунта ^3H , а именно верхних слоев.

Юго-восточная часть СИП. Исходя из полученных данных распределения форм нахождения ^3H в поверхностных грунтах юго-восточной части СИП можно отметить, что в точках, расположенных рядом с площадкой «Балапан», ^3H фиксируется в незначительных количествах в поверхностно-адсорбированной воде, а в одной из точек – фиксируется и в связанных формах.

По полученным данным распределения форм нахождения ^3H по глубине следует, что, несмотря на незначительное содержание ^3H в поверхностных грунтах, при распределении по глубине зафиксировано значимое содержание связанных форм ^3H , а именно органически связанного – 90%.

Такое распределение форм нахождения ^3H по глубине, а именно преобладание органически связанного ^3H , подтверждает ранее проведенные исследования, согласно которым ^3H был зафиксирован в растениях.

Предполагается, что содержание связанных форм в значительном количестве в грунтах на различной глубине данного исследуемого участка, вероятно, связано с его расположением в зоне влияния площадки «Балапан».

«*Опытное поле*». Исследование форм нахождения ^3H в грунтах площадки «Опытное поле» проводилось только в поверхностных грунтах.

В грунтах испытательных площадок, где проводились наземные и воздушные ядерные испытания различной мощности преобладают связанные формы ^3H .

Как показали результаты исследований, на большей части испытательных площадок «Опытного поля» преобладают связанные формы ^3H , что, возможно, связано с образованием ^3H в результате проводимых на них различных видов ядерных испытаний.

В результате проведенных экспериментальных работ по определению форм нахождения ^3H в поверхностных грунтах различных РОО СИП было установлено, что преобладание форм нахождения ^3H , содержащихся в виде свободной воды наблюдается в местах миграции ^3H с поверхностными водами из полостей штолен и в местах существования подтока загрязненных грунтовых вод. Преобладание связанных форм ^3H наблюдается в местах проведения и влияния ядерных испытаний.

При рассмотрении распределения форм нахождения ^3H по глубине можно отметить, что в местах, где загрязнение связано с подтоками загрязненных поверхностных или грунтовых вод содержание ^3H в связанных формах не изменяется по глубине, а содержание ^3H в формах в виде свободной воды увеличивается (грунты пл. «Дегелен») и уменьшается (грунты р. Шаган). В местах проведения ядерных испытаний содержание связанных форм по глубине уменьшается.

Полученные результаты позволяют судить о механизме загрязнения исследуемого объекта.

Список литературы

1. Пушкарев А.В., Долин В.В., Приймаченко В.М., Бобков В.Н., Пушкарева Р.А. Кинетика изотопно-водородного обмена в бентонито-песчаной смеси.
2. Lopez-Galindo A., FenollHach-AliP., PushkarevA.V. etal. Tritium redistribution between water and clay minerals. AppliedClayScience 39, 2008. – С. 151-159.
3. Шишелова Т.И., Созинова Т.В., Коновалова А.Н. // Практикум по спектроскопии. Вода в минералах: Учебное пособие. – Москва: Академия Естествознания, 2010. - ISBN 978-5-91327-093-1.
4. Д. Аллен, С. Крэри, Б. Фридман и др. Использование ядерно-магнитного резонанса при исследованиях скважин. – Нефтегазовое обозрение, 2001 г.

5. Мосин О.В. Водородный обмен на дейтерий и тритий в макромолекулах белков и ДНК.
6. Ляхова О.Н. Тритий как индикатор мест проведения ядерных испытаний // Вестн. НЯЦ РК. 2011. Вып. № 3. - С. 125–129.
7. Качество воды. Определение активности трития, соответствующей данной концентрации – жидкостной методом сцинтилляционного счета. Международный стандарт ISO 9698:2010 (E). – Введ. 2010.

УДК: 631; 614.876

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Н.А. Сотникова

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: biology07@rambler.ru

Представлена оценка современной радиоэкологической ситуации в юго-западных районах Брянской и южных районах Калужской областей. Выполнен сравнительный анализ и дано обоснование наиболее эффективных агрохимических приемов ведения сельскохозяйственного производства в наиболее загрязненных ¹³⁷Cs хозяйствах Брянской и Калужской областей.

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 ¹³⁷Cs в части производимой сельскохозяйственной продукции [2; 3]. В последние годы на сельскохозяйственных угодьях этих районов агроメリоранты, из-за высоких цен, применяются в ограниченных объемах, которые не обеспечивают достаточный уровень почвенного плодородия и снижения содержания ¹³⁷Cs 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.

Методология радиологической и экономической оценки эффективности реабилитационных мероприятий представляет собой систему комплексного анализа и сравнения следующих критериев:

- радиоэкологические (кратность снижения удельной активности ^{137}Cs в продукции, доля продукции с превышением норматива);
- радиологические (предотвращенная коллективная доза облучения населения);
- нормативные (СанПиН 2.3.2.1078-01, СанПиН 2.3.2.2650-10 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 из БД в широком диапазоне дозы агромелиорантов 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. Предложенный в СППР комплекс критериев позволяет проводить оценку эффективности на уровне отдельного поля (участка) с детализацией параметров по группам исследуемых почв, агрохимическим характеристикам почвенного покрова и уровням загрязнения ^{137}Cs . С помощью разработанной СППР проведен анализ радиологической и экономической эффективности, и даны рекомендации

по производству продукции растениеводства, кормопроизводства в наиболее загрязненных ^{137}Cs хозяйствах Брянской и Калужской областей.

В Калужской области рассматривались хозяйства южных районов - Жиздринского, Ульяновского и Хвастовичского. Оценивалось потенциальное загрязнение ^{137}Cs сельскохозяйственной продукции, которая может производиться в выделенных критических хозяйствах с максимальными уровнями загрязнения данным радионуклидом (консервативный подход). Модельные расчеты показали, что даже при самых высоких уровнях загрязнения пашни ^{137}Cs , содержание данного радионуклида в продукции растениеводства будет полностью соответствовать нормативам СанПиН 2.3.2.1078-01 и СанПиН 2.3.2.2650-10. Удельная активность ^{137}Cs в зерновых культурах будет от 2 до 5 раз, в овощных – от 3 до 5 раз и в картофеле – до 11 раз ниже действующих стандартов. Поэтому в южных районах Калужской области при ведении растениеводства следует вносить агроメリоранты в объемах, принятых при традиционной технологии возделывания культур в данном регионе.

Выполненные расчеты по содержанию ^{137}Cs в сене и зеленой массе трав показали превышение в 1,5-3 раза уровней, установленных ВП 13.5.13/06-01, в продукции кормопроизводства, получаемой на лугопастбищных угодьях общей площадью 209 га в хозяйствах «Авангард» и «Маяк» Жиздринского, 164 га – «Мир» и «Коммунар» Ульяновского, 157 га – «Коммунар» и «Коллектив» Хвастовичского районов. Однако, как показали оценки СППР, при использовании агроメリорантов производимая на данных участках продукция кормопроизводства будет полностью соответствовать нормативным требованиям. Выбор агрохимического мероприятия при этом будет определяться высокими радиоэкологическими и экономическими показателями их применения (табл. 1).

В Брянской области для исследования были выбраны 5 хозяйств юго-западных районов. 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, соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям без применения агрохимических мероприятий и потенциальная удельная активность ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции. Данные оценки показали, что 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 (555-1480 кБк/м²). Возделывание этих культур в рассматриваемых хозяйствах Брянской области можно

проводить по принятым для данной зоны технологиям, а урожай использовать без ограничений.

Таблица 1 – Агрохимические приемы, обеспечивающее снижение содержания ^{137}Cs в продукции кормопроизводства хозяйств южных районов Калужской области

Хоз-во/ участок	Агрохимический прием	К _{сн} , раз	Зп, тыс. руб. (всего/на 1 га)		Зн, тыс. руб. (всего/на 1 га)		Р _н доп. затрат, %
<i>Зеленая масса многолетних сеяных трав</i>							
Мир №113	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ +навоз 40 т/га	3,5	2061,3	52,9	1690,8	43,4	14
Коммунар №173	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	3,0	190,8	11,2	170,4	10,0	-15
	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀	2,8	222,4	13,1	202,0	11,9	-25
<i>Сено</i>							
Мир №113	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	4,3	742,8	19,0	602,4	15,4	13
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	2,3	862,0	22,1	721,6	18,5	8
	CaCO ₃ 3 т/га	1,3	250,4	6,4	110,0	2,8	2
Коммунар №173	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	4,3	323,8	19,0	262,6	15,4	5
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₁₂₀	2,3	375,7	22,1	314,5	18,5	3

Примечание: К_{сн} – кратность снижения содержания ^{137}Cs в продукции; Зп – затраты на производство; Зн – затраты по технологии; Р_н – рентабельность дополнительных затрат

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, особенно зеленой массы трав. Модельные расчеты показывают, что получение продукции с превышением нормативов возможно при невысоких уровнях загрязнения ^{137}Cs (185-555 кБк/м²). На большей части кормовых угодий хозяйств 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.

Данные по содержанию обменного калия в почвах исследуемых хозяйств позволили сформировать рекомендации по ведению кормопроизводства (на примере СХПК «Комсомолец») (табл. 2).

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
<i>Дерново-подзолистая супесчаная</i>			
З.м. (многолетние злаковые травы)	-	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ +навоз 40 т/га	CaCO ₃ 3 т/га
Кукуруза на силос	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀		-
Сено (многолетние злаковые травы)	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₂₄₀	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀
<i>Дерново-подзолистая суглинистая</i>			
З.м. (многолетние злаковые травы)	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ +навоз 40 т/га	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
Кукуруза на силос	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-
Сено (многолетние злаковые травы)	-	N ₆₀ P ₉₀ K ₁₂₀	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + CaCO ₃ 3 т/га

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.

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 и кормопроизводства на загрязненных ¹³⁷Cs территориях, учитывающая специфику сельскохозяйственных предприятий, с возможностью детализации оценки эффективности на уровне отдельного участка по характеристикам почвенного покрова и уровням загрязнения ¹³⁷Cs. С использованием разработанной СППР даны рекомендации по организации ведения растениеводства и кормопроизводства в загрязненных ¹³⁷Cs хозяйствах

Брянской области, учитывающие кратности снижения ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции и рентабельность дополнительных затрат при внедрении реабилитационных технологий.

Список литературы

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 // Агрохимический 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. Агрохимическое 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.

УДК 631.4:504.053:546.11.02.3

ХАРАКТЕР ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ В МЕСТЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСКАВАЦИОННОГО ВЗРЫВА

Л. В. Тимонова, О. Н. Ляхова, С. Н. Лукашенко, А. М. Кабдыракова

Филиал ИРБЭ НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан
e-mail: Timonova@nnc.kz

В статье рассматриваются результаты распределения трития в почве в месте проведения экскавационного взрыва на территории «Атомного» озера. Определены механизмы образования трития.

В качестве объекта исследования была выбрана территория «Атомного» озера, образовавшегося на испытательной площадке «Балапан» вследствие проведения экскавационного взрыва в скважине 1004. Экскавационный взрыв был произведен с целью отработки методики создания искусственных водохранилищ в засушливых районах. Диаметр образовавшейся воронки по гребню составил 408 м [1].

Для исследования поверхностного распределения трития (^3H) в почве отбор проб производился на гребне воронки «Атомного» озера и по профилю, заложенного вдоль следа радиоактивных выпадений в северо-западном направлении. Глубина отбора проб почвы составляла 0-10 см. Расстояние профиля – 3000 м.

Для исследования распределения ^3H по глубине почвы отбор проб осуществлялся с шагом 25 см в процессе бурения скважины по всей высоте гребня воронки «Атомного» озера – 6 м.

Для исследования распределения ^3H в гранулометрических фракциях почвы пробы отбирались по профилю, заложенного вдоль следа радиоактивных выпадений в северо-восточном направлении. Глубина отбора проб почвы составляла 0-10 см. Расстояние профиля – 1000 м.

Схема расположения точек отбора проб почвы в месте проведения экскавационного взрыва представлена на рисунке (Ошибка! Источник ссылки не найден.).

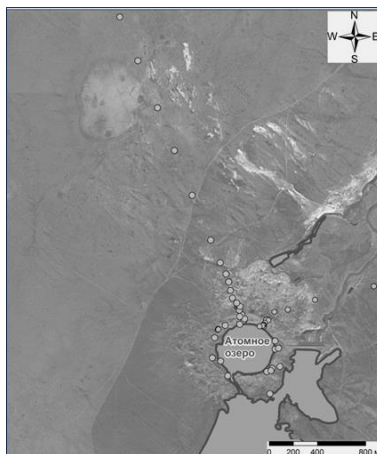


Рисунок 1 – Расположение точек отбора проб почвы

В ходе анализа выявлено, что ^3H содержится на всех участках исследования.

Максимальное содержание ^3H в поверхностном слое почвы зафиксировано на гребне воронки, в месте максимального радионуклидного загрязнения почвы. Значение удельной активности ^3H на данном участке составило 150 000 Бк/кг.

Исследование распределения ^3H по мере удаления от гребня воронки показало, что с увеличением расстояния удельная активность ^3H изначально возрастает, а затем снижается. Похожая картина отмечена и для распределения ^{152}Eu на данном исследовательском участке (Ошибка! Источник ссылки не найден.).

В результате исследований глубинного распределения ^3H в почве выявлено, что его максимальная концентрация 98 000 Бк/кг зафиксирована на глубине 0,25 - 0,50 м. На этой же глубине зафиксирована и максимальная концентрация ^{152}Eu (Ошибка! Источник ссылки не найден.).

Для определения механизма образования ^3H учитывался факт, что ^3H при проведении взрыва мог нарабатываться в результате реакции

нейтронной активации, так же, как и ^{152}Eu , поэтому почва дополнительно анализировалась гамма-спектрометрическим методом на определение ^{152}Eu . По полученным данным об уровне содержания ^3H и ^{152}Eu определены отношения их удельных активностей (рис. 4-5).

Согласно анализу данных отмечено, что полученные отношения характеризуется линейной зависимостью. Это говорит о том, что одним из путей образования ^3H в почве на данных участках являлись нейтронно-активационные процессы, имевшие место во время испытаний.

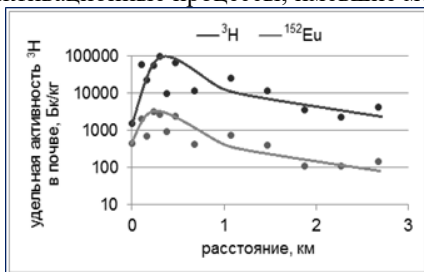


Рисунок 2 – Результаты распределения ^3H и ^{152}Eu в почве по мере удаления от «Атомного» озера

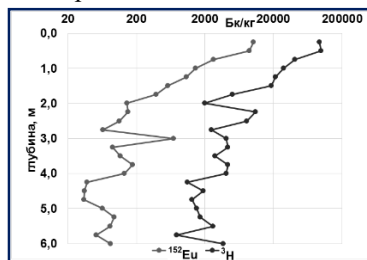


Рисунок 3 – Результаты распределения ^3H и ^{152}Eu на глубине почвы

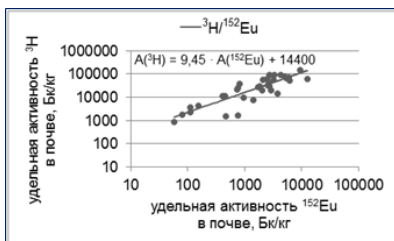


Рисунок 4 – Отношение удельной активности ^3H и ^{152}Eu на поверхности почвы

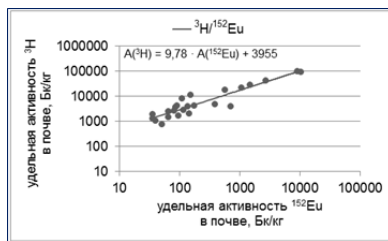


Рисунок 5 – Отношение удельной активности ^3H и ^{152}Eu по глубине почвы

В формулах линейных зависимостей коэффициенты отношения удельных активностей ^3H и ^{152}Eu составили порядка 10-и, что может говорить об одинаковом механизме загрязнения почвы ^3H , как на поверхности, так и по глубине. Так же в уравнениях присутствует значение свободного члена, которое предположительно отображает количество остаточного ^3H , образованного вследствие иных механизмов, имеющих место при проведении взрывов.

На сорбционные процессы радионуклидов в почвах влияет гранулометрический состав почв. Чем меньше размер почвенных частиц, тем выше способность почвы сорбировать химические элементы, как техногенные радионуклиды, так и тяжелые металлы [2].

Распределение ^3H в гранулометрических фракциях почвы «Атомного» озера представлено в графическом виде на рисунках (рис.6-9).

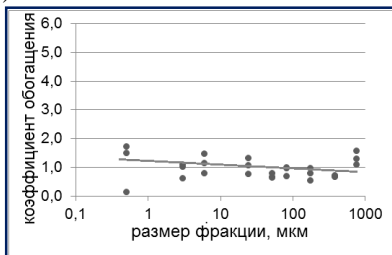


Рисунок 6 – Распределение ^3H в гранулометрических фракциях почвы на расстоянии 0-10 м от «Атомного» озера

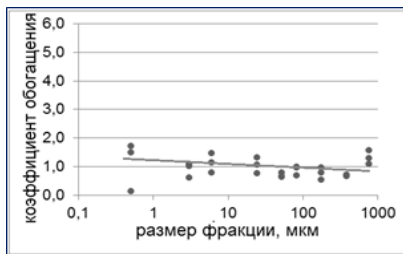


Рисунок 7 – Распределение ^3H в гранулометрических фракциях почвы на расстоянии 15-125 м от «Атомного» озера

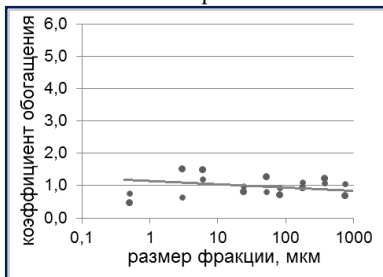


Рисунок 8 – Распределение ^3H в гранулометрических фракциях почвы на расстоянии 250-500 м от «Атомного» озера

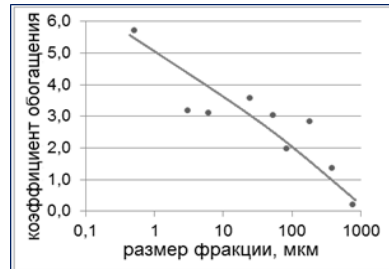


Рисунок 9 – Распределение ^3H в гранулометрических фракциях почвы на расстоянии 500-1000 м от «Атомного» озера

Результаты исследований показали, что по мере удаления от «Атомного» озера, характер распределения ^3H в исследуемых фракциях почвы различный. Так, например, на расстоянии от 0 до 10 м и от 250 до 500 м от берега «Атомного» озера значимого перераспределения ^3H не наблюдается. А на расстоянии от 15 до 125 м и от 500 до 1000 м от «Атомного» озера отмечен явный рост концентрации ^3H с уменьшением размеров фракций.

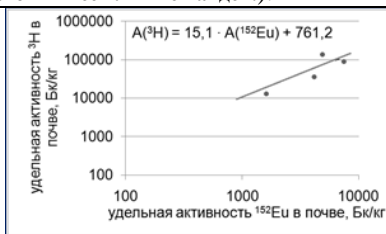
Для сравнения распределения ^3H с распределением других радионуклидов в различных фракциях, почва дополнительно исследовалась на ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{152}Eu и ^{60}Co . В ходе анализа выявлено, что на территории «Атомного» озера существует 3 различные тенденции распределения исследованных радионуклидов.

Для продукта материала ядерного заряда ^{241}Am и продуктов активации ^{152}Eu и ^{60}Co наибольшее обогащение отмечено в самой крупной фракции размером 1000-500 мкм, а для продукта деления ^{137}Cs , наоборот, обогащение отмечено в более мелких фракциях размером 40-<1 мкм.

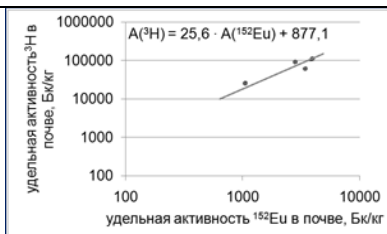
Для ^3H отмечен совершенно иной характер распределения, что может быть связано с физико-химическими особенностями данного радионуклида и может говорить о возможно дополнительном механизме образования ^3H .

Для исследования другого механизма образования ^3H определены отношения удельных активностей ^3H и ^{152}Eu для каждой фракции (Ошибка!

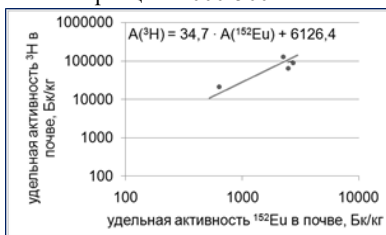
Источник ссылки не найден.).



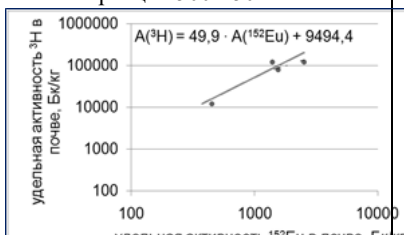
Фракция 1 000-500 мкм



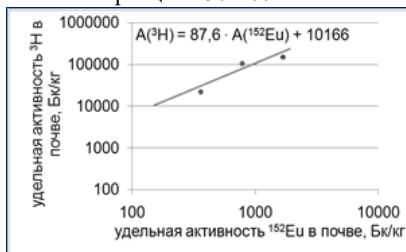
Фракция 500-250 мкм



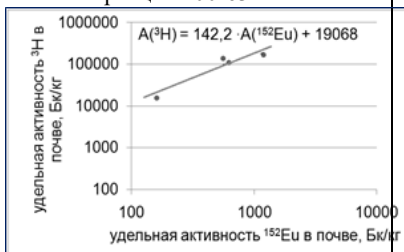
Фракция 250-100 мкм



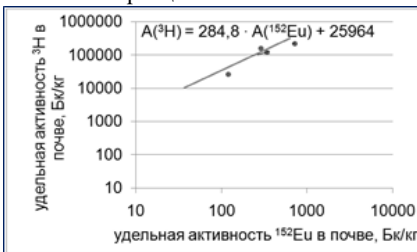
Фракция 100-63 мкм



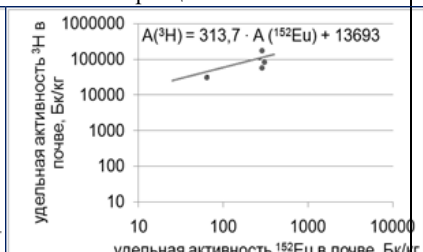
Фракция 63-40 мкм



Фракция 40-8 мкм



Фракция 8-5 мкм



Фракция 5-1 мкм

Рисунок 10 – Отношения удельных активностей ^3H и ^{152}Eu в различных почвенных фракциях

В ходе исследований было выявлено, что полученные уравнения линейных зависимостей для каждой фракции имеют свой коэффициент отношения удельных активностей ^3H и ^{152}Eu , который различен от других. Было отмечено, что по мере уменьшения почвенной фракции, в уравнениях линейных зависимостей, увеличивается коэффициент и значение количества остаточного ^3H .

Используя полученные коэффициенты и значения количества остаточного ^3H для различных почвенных фракций, построены следующие зависимости (рис. 11-12):

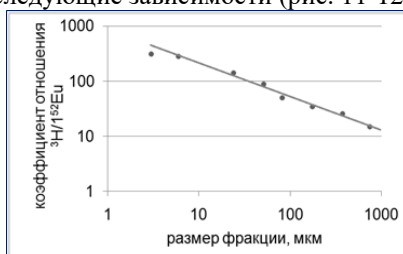


Рисунок 11 – Зависимость коэффициента отношения $^3\text{H}/^{152}\text{Eu}$ от размера фракции

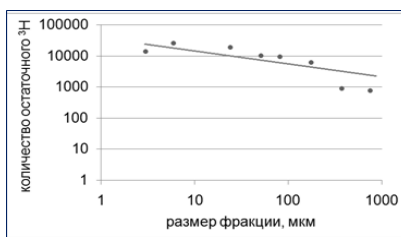


Рисунок 12 – Зависимость количества ^3H от размера фракции

По полученным зависимостям видно, что чем меньше почвенная фракция, тем она больше обогащена ^3H .

Предположительно, ^3H на исследованной территории мог образоваться двумя механизмами – нейтронной активацией и захватом ^3H , который имелся в термоядерном устройстве, частицами породы при испытаниях.

Анализ всех проведенных исследований показал, что на территории «Атомного» озера ^3H содержится на всех исследованных участках в значимых количествах. Характер распределения ^3H в почве неравномерный. Скорее всего, это связано с видом испытания – испытание с выбросом почвы на поверхность.

Список литературы

1. Айдарханов, А. О. Состояние экосистемы р. Шаган и основные механизмы его формирования /А. О. Айдарханов, С. Н. Лукашенко, С. Б. Субботин [и др.] // Актуальные вопросы радиозоологии Казахстана [Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007 – 2009гг.] / под рук. Лукашенко С.Н. – Вып. 2. – Павлодар: Дом печати, 2010. – С. 9-55.
2. Линник, В.Г. Распределение химических элементов в почвенных микрочастицах северной тайги в зоне влияния Кольской АЭС / В. Г. Линник, В. М. Шкинев, И. А. Рощина, А. П. Борисов, Т. В. Данилова // Вестник Тюменского государственного университета. Экология. - 2011. - № 12. - С. 48.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ВОЗВРАЩЕНИЯ В ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ ТЕРРИТОРИЙ, ВРЕМЕННО ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

И.Е. Титов, О.А. Шубина, В.В. Кречетников

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: titan13_08@mail.ru

Разработана геоинформационная система (ГИС) для обоснования возвращения в хозяйственный оборот территорий, временно выведенных из землепользования после аварии ЧАЭС. Построены электронные карты, позволяющие выполнить оценку необходимости проведения реабилитационных мероприятий и наглядно продемонстрировать эффективность их применения на загрязненных территориях.

A Geographic Information System (GIS) to support the return to economic use temporarily excluded after the Chernobyl accident lands (abandoned lands) was created. Built electronic maps allow to assess the need for rehabilitation and demonstrate the effectiveness of their use in contaminated areas.

В Российской Федерации после аварии на Чернобыльской АЭС сельскохозяйственные угодья с высокими уровнями загрязнения (свыше 1480 кБк/м²) были выведены из землепользования. Всего в зону отчуждения вошли сельскохозяйственные угодья 23 хозяйств Гордеевского, Злынковского, Клинцовского, Красногорского и Новозыбковского районов Брянской области. Общая площадь сельскохозяйственных земель с плотностью загрязнения свыше 1480 кБк/м² (40 Ки/км²) составила 17,1 тыс. га, в том числе сенокосов и пастбищ - 9,8 тыс. га, а пахотных земель - 7,3 тыс. га. Выведенные из оборота земли сельскохозяйственного назначения переведены в земли запаса.

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.

Оценка современной радиационной обстановки показывает, что часть отчужденных земель, в настоящее время может быть возвращена в хозяйственный оборот по радиологическим критериям.

В восстановительный период после аварии основной целью является, с одной стороны, обеспечение радиационной безопасности сельского

населения, а, с другой, ведение хозяйственной деятельности без каких-либо ограничений по радиационному фактору, что требует применения наиболее эффективных технологий, разработанных и успешно внедренных в РФ.

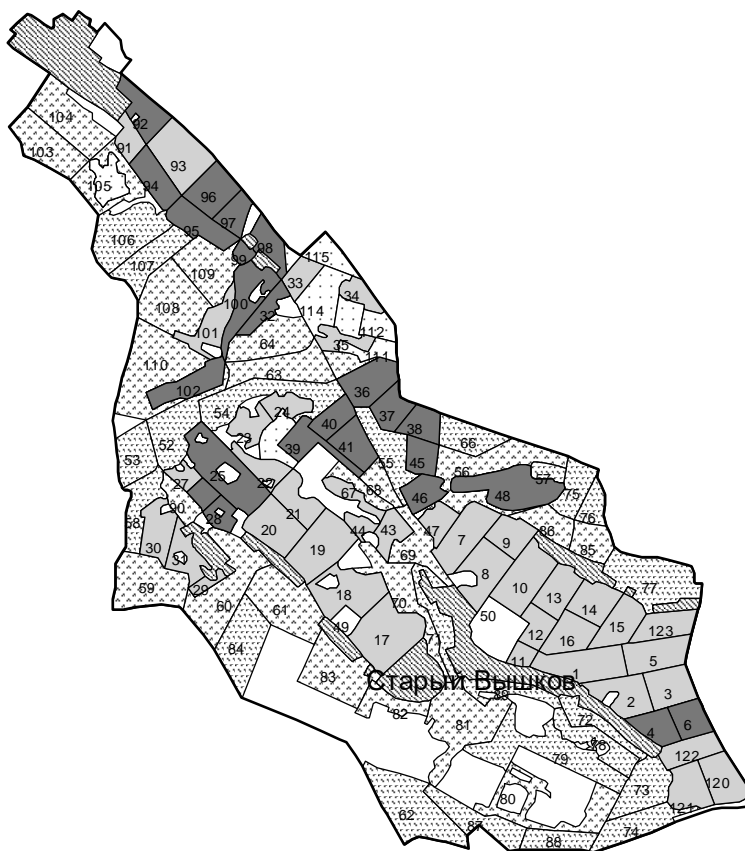
Реабилитация выведенных из землепользования сельскохозяйственных угодий является комплексной задачей. Развитие информационных технологий значительно расширяет варианты решения этой проблемы. Одним из направлений является привлечение ГИС-технологий.

ГИС являются достаточно мощным, удобным и наглядным инструментом решения различных задач, связанных с оптимизацией, разработкой систем поддержки принятых решений и наряду с визуализацией информации позволяют производить пространственный анализ радиологических данных и разрабатывать оптимальные схемы использования сельскохозяйственных земель.

В ходе работ на основе карт землепользования была создана геоинформационная система обоснования возвращения в хозяйственный оборот территорий, временно выведенных из землепользования после аварии ЧАЭС и включает информацию по всем выведенным из землепользования участкам для 23 хозяйств 5-ти районов Брянской области.

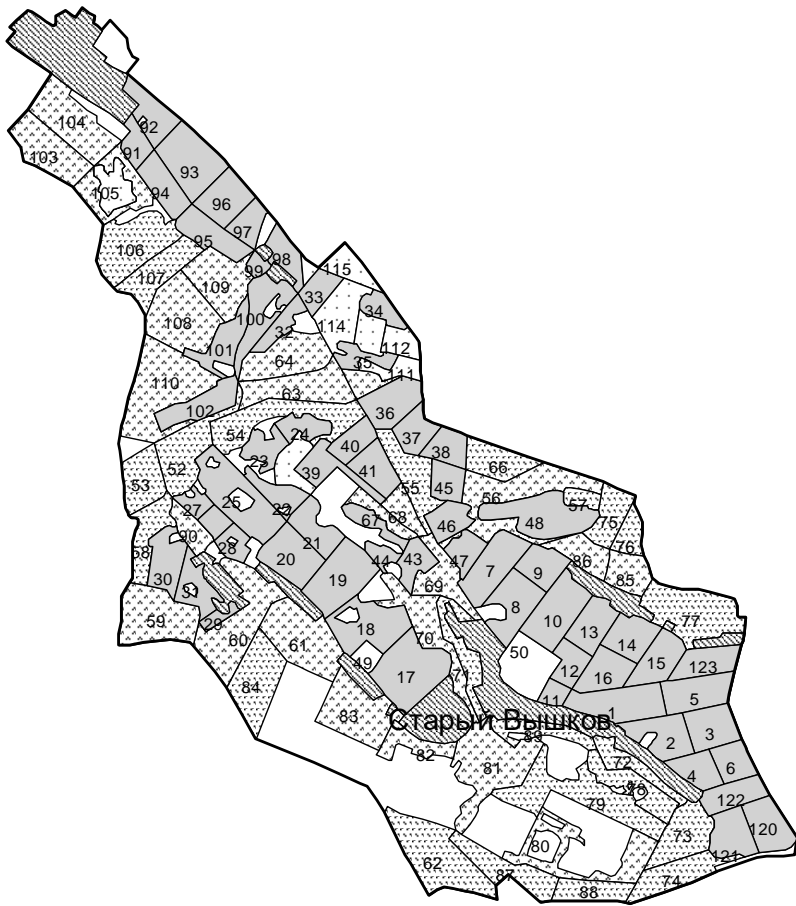
В состав разработанной ГИС входит база данных по радиоэкологическим, агрономическим, культуртехническим и хозяйственным характеристикам территорий, временно выведенных из землепользования. ГИС включает в себя библиотеку электронных для 23 хозяйств 5-ти районов Брянской области: типы землепользования, поверхностное загрязнение ^{137}Cs по разным турам обследования с 1988 по 2015 год, типы почв; содержание гумуса в почве, агрохимический состав почвы (рН, P_2O_5 , K_2O), прогнозные карты с оценкой возможности выращивания различных культур (зерно, картофель, овощи, однолетние травы, многолетние травы) с учетом характеристик почвенного покрова и коэффициентов перехода без применения защитных мероприятий (рис. 1), прогнозные карты с оценкой возможности получения продукции, удовлетворяющей СанПиН 2.3.2.1078-01 (с доп. и изм. №18 - СанПиН 2.3.2.2650-10), при условии применения защитных мероприятий (известкование, внесение повышенных доз минеральных удобрений, органических удобрений, коренное улучшение, применение ферроцинсодержащих препаратов) (рис. 2).

Созданная библиотека электронных карт позволяет выполнить оценку радиоэкологической ситуации на территориях, временно выведенных из землепользования и дать обоснование необходимости проведения реабилитационных мероприятий.



- Возможность производства зерна (овес)
- возможно
 - не возможно
- тип землепользования
- лес
 - насел. пункт
 - пастбище
 - пастбище (заливной луг)
 - пашня
 - сенокос
 - сенокос (заливной луг)

Рисунок 1 - Возможность производства зерна (овес) в зависимости от обеспеченности обменным калием, удовлетворяющего СанПиН 2.3.2.1078-01 (с доп. и изм. №18 - СанПиН 2.3.2.2650-10) в СПК «Комсомолец» Новозыбковского района Брянской области



- Возможность производства зерна (овес)
- возможно
 - не возможно
- тип землепользования
- лес
 - на сел. пункт
 - пастбище
 - пастбище (заливной луг)
 - пашня
 - сенокос
 - сенокос (заливной луг)

Рисунок 2 - Возможность производства зерна (овес) в зависимости от обеспеченности обменным калием, удовлетворяющего СанПиН 2.3.2.1078-01 (с доп. и изм. №18 - СанПиН 2.3.2.2650-10) после комплексного применения удобрений в СПК «Комсомолец» Новозыбковского района Брянской области

В разработанной геоинформационной системе обоснования возвращения в хозяйственный оборот территорий, временно выведенных из землепользования после аварии ЧАЭС скомпилирован большой объем экспериментальной информации, на базе которой были построены электронные карты, позволяющие наглядно демонстрировать эффективность применения реабилитационных мероприятий на загрязненных территориях. Показана возможность возвращения выведенных из землепользования угодий в сельскохозяйственный оборот.

Результаты исследований являются основой для оценки последствий радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий и обоснования стратегий реабилитации и возвращения в хозяйственный оборот территорий, временно выведенных из землепользования в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

УДК 502.65:553.76(575.23)

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АГРОЭКОСИСТЕМ ПРИИССЫККУЛЬЯ

Т.Э. Токтоева, Б.К. Калдыбаев, Б.М. Дженбаев

ИГУ им. К. Тыныстанова, Каракол, Республика Кыргызстан
e-mail: tamara200885@mail.ru

Иссык-Кульская межгорная впадина представляет собой природную урановую биогеохимическую провинцию, в пределах которой обогащены ураном все компоненты природной среды: горные породы, почвы, озерные, речные и подземные воды, озерные осадки и живые организмы.

Целью настоящего исследования явилась оценка уровней накопления радионуклидов в почвах и семенах зерновых культур агроэкоцистем Прииссыккулья.

Мощность естественного радиационного фона по гамма излучению в регионе составляет от 0,13 до 0,23, местами до 0,4 мкЗв/ч. Вариации естественного фона связаны с неоднородным распределением элементов радиоактивных рядов урана и тория в земной коре.

Контрольные участки исследуемого региона представлены горно-долинными светло-каштановыми, темно-каштановыми, светло-бурыми почвами, по механическому составу в основном среднесуглинистые. Содержание гумуса варьирует в пределе 2,3-4,3%, что характерно значениям типов исследуемого региона. Почвы в достаточной степени обеспечены элементами минерального питания, содержание общего азота варьирует в пределе 0,11-0,18%, фосфора 0,15-0,19%, калия 2,0-2,4%. Описываемые почвы в основном слабо карбонатные 0,22-1,76%. Реакция почвенного раствора щелочная 8,0-8,4. Емкость поглощения составляет 14-24 мг-экв на 100 г.

Результаты гамма-спектрометрического анализа по определению радионуклидов в пробах почв Прииссыкулья представлены в таблице 1.

По биогеохимической классификации для естественных радионуклидов (^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) характерно слабое накопление в почве (от 2 до 10 кларков). Содержание искусственного радионуклида (^{137}Cs) в почве не превышает допустимых уровней вмешательства (НРБ-99).

^{238}U . Кларк ^{238}U в почве составляет 12,4 Бк/кг, для осадочных пород – 39,7 Бк/кг, в почвах Прииссыкулья удельная активность ^{238}U варьирует в пределе 42,3-106,6 Бк/кг, кларк концентрации составил K_k (3,9-8,6).

^{226}Ra . В почвах Прииссыкулья удельная активность ^{226}Ra варьирует в пределе 59,4-111,7 Бк/кг, K_k составил (4,8-9). Радиоактивное равновесие между $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$ в почвах сдвинуто в сторону радия (0,94).

^{232}Th . Кларк ^{232}Th в почве составляет 24,6 Бк/кг, для осадочных пород – 45 Бк/кг, в почвах Прииссыкулья удельная активность ^{232}Th варьирует в пределе 61-112,2 Бк/кг, K_k составил (2,5-4,6).

^{40}K . Кларковое содержание ^{40}K в земной коре составляет 655 Бк/кг, в почве – 370 Бк/кг. В почвах Прииссыкулья удельная активность ^{40}K варьирует в пределе 861-1012 Бк/кг, K_k составил (2,4-2,7).

^{137}Cs . Уровень вмешательства ^{137}Cs в почве составляет 15 Бк/кг, в почвах Прииссыкулья удельная активность ^{137}Cs варьирует в пределе 4,1-9,5 Бк/кг.

Растительность принимает активное участие в процессах миграции и превращениях химических соединений в почве, тем самым выступает в роли активного геохимического агента и мощного почвообразовательного фактора. В связи с этим известный интерес представляет изучение содержания радионуклидов в растениях. В различных точках минимальные и максимальные значения в золе семенах пшеницы исследуемого района составляют от 9 до 10 по ^{238}U , ^{226}Ra от 9 до 14, ^{232}Th - от 4 до 22, ^{40}K - 4104 и 6519 Бк/кг соответственно (таблица 2).

Результаты исследований показали, что наибольшая удельная активность в семенах пшеницы наблюдается для калия-40, как одного из наиболее распространенных в природе естественных радионуклидов, который, в свою очередь, является распространенным источником естественной радиоактивности. Изотопы радиоактивных элементов слабо накапливаются в семенах зерновых культур, коэффициенты их биологического накопления меньше 1, за исключением естественного радионуклида (^{40}K), КБП которого составляет 5,3. Удельная активность цезия-137 в семенах пшеницы Прииссыкулья варьирует в пределе 0,8-1,5 Бк/кг, что на много ниже установленных норм радиационной безопасности.

Таблица 1 – Удельная активность радионуклидов в почвах Прииссыккульы

Место отбора	Тип почвы	²³⁴ Th, Бк/кг	²²⁶ Ra, Бк/кг	²¹⁴ Bi, Бк/кг	²¹⁰ Pb, Бк/кг	²²⁸ Ac, Бк/кг	²²⁴ Ra, Бк/кг	²¹² Pb, Бк/кг	²⁰⁸ Tl, Бк/кг	²³⁵ U, Бк/кг	²²⁷ Th, Бк/кг	⁴⁰ K, Бк/кг	¹³⁷ Cs, Бк/кг
с. Григорьевка	Светло-каштановые	49,1 ± 2,6	59,4 ± 3,6	38,3 ± 0,8	63,2 ± 3,4	61,6 ± 1,3	61,4 ± 3,8	68,7 ± 0,7	64,1 ± 1,3	2,3 ± 0,2	1,7 ± 0,7	879 ± 12	4,1 ± 0,2
	Светло-каштановые	106,6 ± 1,7	68,7 ± 2,1	36,0 ± 0,4	82,8 ± 2,0	61,0 ± 0,7	68,0 ± 2,1	66,8 ± 0,4	63,4 ± 0,7	4,9 ± 0,1	3,0 ± 0,4	984 ± 6	9,5 ± 0,1
с. Маман	Темно-каштановые	42,3 ± 2,5	66,8 ± 3,6	39,5 ± 0,9	72,6 ± 3,4	62,2 ± 1,3	65,5 ± 3,6	68,6 ± 0,7	64,9 ± 1,3	2,0 ± 0,2	3,0 ± 0,7	861 ± 10	9,0 ± 0,3
	Светло-каштановые	57,8 ± 2,7	71,5 ± 3,7	45,4 ± 0,9	75,3 ± 3,4	67,5 ± 1,3	79,2 ± 3,8	77,4 ± 0,7	74,8 ± 1,4	2,7 ± 0,2	1,7 ± 0,7	911 ± 10	6,2 ± 0,2
с. Тон	Светло-бурые	97,3 ± 3,2	111,7 ± 4,2	69,2 ± 1,0	123,9 ± 4,0	112,2 ± 1,5	121,6 ± 4,3	119,4 ± 0,9	113,4 ± 1,6	4,5 ± 0,2	3,7 ± 0,8	1012 ± 10	7,4 ± 0,3

Таблица 2 – Удельная активность радионуклидов в семенах пшеницы

Место отбора	²³⁴ Th, Бк/кг	²²⁶ Ra, Бк/кг	²¹⁴ Pb, Бк/кг	²¹⁴ Bi, Бк/кг	²¹⁰ Pb, Бк/кг	²²⁸ Ac, Бк/кг	²²⁴ Ra, Бк/кг	²¹² Pb, Бк/кг	²¹² Bi, Бк/кг	²²⁷ Th, Бк/кг	⁴⁰ K, Бк/кг	¹³⁷ Cs, Бк/кг
с. Григорьевка	<10	<13	7 ± 1	5 ± 2	42 ± 8	11 ± 3	12 ± 7	1,5 ± 0,7	19	<4	5459 ± 55	<1,5
	<10	<12	<2	<3	70 ± 8	9 ± 3	<11	1,7 ± 0,7	11	<4	4104 ± 50	<1,2
с. Маман	9 ± 4	<9	6 ± 1	4 ± 1	55 ± 6	<4	<8	<0,8	8	<3	4723 ± 37	<0,8
	<9	<12	8 ± 1	4 ± 2	53 ± 8	<4	12 ± 7	4,2 ± 0,7	10	<4	4134 ± 49	<1,4
с. Тон	<9	14 ± 7	9 ± 1	9 ± 2	18 ± 7	22 ± 3	<10	3,8 ± 0,7	18 ± 7	<3	6519 ± 55	<1,3

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ХИЩНЫМИ И МИРНЫМИ РЫБАМИ Р.ЕНИСЕЙ

Е.А. Трофимова, Т.А. Зотина, А.Я. Болсуновский

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск, Россия

e-mail: e.trofimova11@yandex.ru

Исследовано накопление техногенных радионуклидов в промысловых видах рыб, обитающих на радиоактивно загрязненном участке р. Енисей, в 2010-2013 гг. В телах рыб были зарегистрированы такие техногенные радионуклиды как ^{60}Co , ^{65}Zn и ^{137}Cs . Выявлены отличия в накоплении ^{137}Cs в мышцах хищных и мирных рыб. Расчет коэффициентов накопления (КН) показал, что в телах и мышцах щуки возможно эффективное накопление ^{137}Cs (КН=1,0-7,2 и 2,1-7,7) из тел ельцов и хариусов.

Экосистема реки Енисей загрязнена техногенными радионуклидами в результате более чем полувековой работы Горно-химического комбината Госкорпорации «Росатом» (ГХК), расположенного на 60 км ниже г. Красноярска по течению реки [1]. Ихтиофауна – ключевое звено водной экосистемы, связывающее водные трофические сети с наземными, в том числе с человеком. Рыбы в зависимости от типа питания по-разному накапливают радионуклиды. Например, установлено, что хищные рыбы и рыбы со смешанным типом питания накапливают более высокие активности такого долгоживущего радионуклида как ^{137}Cs , чем фито- и бентофаги [2-4]. Цель данной работы – оценить интенсивность накопления техногенных радионуклидов промысловыми видами рыб р. Енисей, отличающихся типом питания.

Для исследования использовали фоновые виды рыб, обитающих на среднем участке р. Енисей и являющихся объектами промысла для населения: сибирский елец (*Leuciscus leuciscus baicalensis* Dyb.), сибирский хариус (*Thymallus arcticus* P.) и щука (*Esox lucius* L.). Рыб отлавливали на участке р. Енисей, расположенном на расстоянии до 20 км вниз по течению реки от ГХК в летне-осенний период 2010–2013 гг. Выборки были представлены преимущественно половозрелыми особями возрастом 2+–6+. Содержание радионуклидов в телах и мышцах рыб измеряли на гамма-спектрометре (Canberra, США), значения приведены в Бк/кг сырой массы. Коэффициенты накопления (КН) радионуклидов в трофических парах рассчитывали, как отношение удельной активности радионуклидов в биомассе консумента к удельной активности в биомассе пищевого объекта на сырую массу.

В телах и мышцах исследованных видов рыб из техногенных радионуклидов были зарегистрированы: ^{60}Co , ^{65}Zn и ^{137}Cs , а из природных – ^{40}K (Таблица 1).

Таблица 1 – Содержание радионуклидов (Бк/кг сырой массы) в телах и мышцах рыб р. Енисей

Вид рыб	Год	⁴⁰ K	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	¹³⁷ Cs	⁴⁰ K	⁶⁵ Zn	¹³⁷ Cs
		Тела				Мышцы		
Елец	2010	87±11	0,18 ±0,07	2,61±0,80	0,93±0,40	115±8	1,27±0,21	0,99 ± 0,20
	2011	120±7	—	0,48±0,11	0,77±0,19	127±7	—	0,34±0,04
	2012	99±5	—	—	1,18±0,06	н.а.	н.а.	н.а.
	2013	101±5	—	—	0,58±0,04	118±6	—	0,67±0,03
Хариус	2010	136±11	—	2,59±0,51	0,59±0,29	146±8	—	0,50±0,12
	2011	139±7	0,09±0,02	1,16±0,21	1,22±0,09	155±7	0,82±0,19	1,03±0,05
	2012	87±5	0,10±0,02	—	0,80±0,05	н.а.	н.а.	н.а.
	2013	123±6	—	—	0,56±0,04	142±6	—	0,49±0,03
Щука	2010	98±7	—	1,21±0,28	1,85±0,13	119±7	—	2,24±0,13
	2011	105±6	—	1,04±0,35	5,58±0,32	113±5	—	5,93±0,32
	2012	95±5	—	—	2,17±0,12	109±5	—	2,44±0,11
	2013	123±6	—	—	1,93±0,09	139±7	—	2,20±0,12

Примечание: «—» - величины меньше предела обнаружения; «н.а.» – проба не анализировалась

⁶⁵Zn встречался в телах и некоторых пробах мышц рыб только в период работы реакторного производства на ГХК и спустя год после остановки реактора, притом его активности в телах ельцов и хариусов в 2011 г. снизились по сравнению с 2010 г. В пробах изредка встречался ⁶⁰Co, он был зарегистрирован в телах ельцов в 2010 г., а хариусов в 2011-2010 гг. ¹³⁷Cs был обнаружен во всех проанализированных пробах тканей исследованных видов рыб, его активности не значительно колебались по годам исследований, за исключением пробы тел щуки в 2011 г., в которых активность ¹³⁷Cs 2,6-3 раза выше чем в другие годы. Удельная активность радионуклидов в мышцах рыб не превышала таковую в телах, за исключением ¹³⁷Cs, удельная активность которого в мышцах щуки была выше, чем в телах.

Были выявлены отличия в накоплении ¹³⁷Cs в мышцах рыб в зависимости от типа их питания: максимальная удельная активность ¹³⁷Cs зарегистрирована в мышцах хищника - щуки (2,2-5,9 Бк/кг). У мирных рыб содержание ¹³⁷Cs в мышцах составляло: 0,3-1,0 Бк/кг у ельца и 0,5-1,0 Бк/кг у хариуса. ¹³⁷Cs является основным дозообразующим радионуклидом у исследованных видов рыб, и его наибольшая доля была сосредоточена в мышцах (24-100 % от ¹³⁷Cs активности в телах). Однако, содержание ¹³⁷Cs в мышцах рыб (Таблица) не превышало норматива (СанПин 2.3.2.1078–01), установленного в РФ для этого радионуклида в рыбной продукции (130 Бк/кг).

О способности радионуклидов включаться в круговорот веществ, мигрируя вверх по трофическим уровням, можно судить по величине КН. Если КН превышает единицу можно говорить о накоплении

радионуклида консументом, если величина КН меньше единицы накопление не происходит. Как установлено основной пищей для хариусов служат гаммариды и личинки ручейников [5] и у ельцов приблизительно такой же спектр питания. Расчет КН радионуклидов в телах и мышцах рыб-бентофагов из гаммарид показал, что накопление возможно для ^{40}K с $\text{КН}=1,7-4,3$. Накопление техногенных радионуклидов в трофических парах гаммариды-елец и гаммариды-хариус неэффективно (Рисунок), за исключением ^{65}Zn КН которого в 2011 г. телах хариусов составлял 1,2. В трофических парах елец/хариус-щука возможен эффективный трофический перенос ^{137}Cs с $\text{КН}=2,1-7,7$ для ельцов и $\text{КН}=3,1-4,8$ для хариусов. Так же накопление возможно для ^{40}K ($\text{КН}=1,0-1,4$) хотя и менее эффективно чем в предыдущей трофической паре, и для ^{65}Zn в 2011 г. в тела щук из ельцов ($\text{КН}=2,2$). В накоплении радионуклидов телами и мышцами рыб не наблюдалось существенных различий (Рисунок 1).

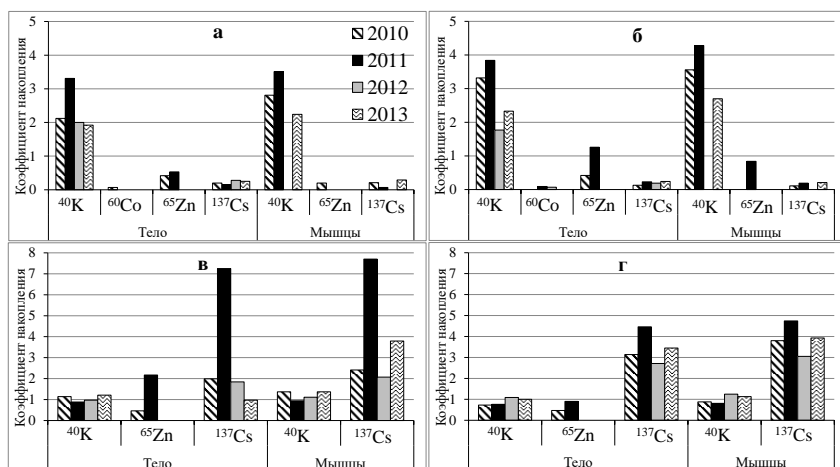


Рисунок 1 – Коэффициенты накопления радионуклидов между звеньями трофических цепей р. Енисей: а – в телах и мышцах ельцов из гаммарид; б - в телах и мышцах хариусов из гаммарид; в - в телах и мышцах щук из тел ельцов; г – в телах и мышцах щук из хариусов

Таким образом, из техногенных радионуклидов, в телах промысловых рыб р. Енисей (ельца, хариуса и щуки) в 2010–2013 гг. регистрировались, в основном, ^{60}Co , ^{65}Zn и ^{137}Cs . Выявлены отличия в накоплении ^{137}Cs в мышцах рыб, отличающихся по типу питания: наибольшее содержание ^{137}Cs отмечено в хищных рыбах (щуке); мирные рыбы-бентофаги (елец и хариус) накапливали ^{137}Cs в меньшей степени. Оценка КН показала, что ^{137}Cs может эффективно накапливаться в мышцах щуки из тел ельцов и хариусов. Следовательно, техногенные радионуклиды, накапливаясь в мышцах промысловых видов рыб, могут мигрировать в пищевых сетях р. Енисей, а также поступать к человеку.

Список литературы

1. Болсуновский А.Я., Суковатый А.Г. Радиоактивное загрязнение водных организмов реки Енисей в зоне влияния Горно–химического комбината // Радиационная биология. Радиоэкология. 2004. Т. 44. № 3. С. 361–366.
2. Зотина Т.А., Трофимова Е.А., Карпов А.Д., Болсуновский А.Я. Накопление радионуклидов в трофических цепях р. Енисей после остановки реакторного производства на Горно-химическом комбинате // Радиационная биология. Радиоэкология. 2014. Т. 54. № 4. С. 405–414.
3. Каглян А.Е., Гудков Д. И., Кленус В.Г., Широкая З.О., Поморцева Н.А., Юрчук Л.П., Назаров А.Б. Радионуклиды в аборигенных видах рыб Чернобыльской зоны отчуждения // Ядерна фізика та енергетика. 2012. Т. 13. № 3. С. 306–314.
4. Трофимова Е.А., Зотина Т.А., Дементьев Д.В., Болсуновский А.Я. Накопление техногенных радионуклидов хищными и мирными рыбами реки Енисей // Вопросы радиационной безопасности. 2014. №4. С. 55–61.
5. Зуев И.В., Семенова Е.М., Шулепина С.П., Резник К.А., Трофимова Е.А., Шадрин Е.А., Зотина Т.А. Питание хариуса *Tumallus sp.* в среднем течении р. Енисей. Journal of Siberian Federal University. Biology. 2011. Т. 4. № 3. С. 281–292.

УДК 577.4:504.064:546.11.02.3

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ И МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ НА СИП

Д.В. Турченко, С.Н. Лукашенко, О.Н. Ляхова, А.О. Айдарханов

Филиал ИРБЭ НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

e-mail: Turchenko@nnc.kz

В работе представлены данные о содержании трития в снежном покрове местах проведения подземных ядерных взрывов. Выявлено, что котловые полости подземных ядерных взрывов являются потенциальными источниками поступления трития в окружающую среду. На приустьевых участках боевых скважин 1355 и 1010 концентрация трития в приземном слое снежного покрова достигает 70 Бк/кг, при том, что фоновые концентрации трития для данной местности находятся ниже уровня 10 Бк/кг. Установлено, что в местах проведения ядерных испытаний основным механизмом поступления трития в снежный покров является эманация из почвы.

The paper provides concentrations of tritium in snow cover in venues of underground nuclear tests. Gopher cavities of underground explosions were found to be potential sources of tritium entry into environment. At the periportal sites of warfare boreholes 1355 and 1010 tritium concentration in the bottom snow cover layer achieves the value of 70 Bq/kg, while background concentrations of tritium for this area lie below 10 Bq/kg. It was found, that in

venues of nuclear tests the main mechanism of tritium entry into snow cover is emanation from soil.

За последние 5 лет на территории испытательных площадок Семипалатинского испытательного полигона проведено комплексное обследование основных компонентов окружающей среды. Результаты проведенных работ показали, что среди всех техногенных радионуклидов (^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, тритий и др.) обнаруженных в окружающей среде СИП, наибольшими миграционными способностями обладает тритий. Все биологические компоненты окружающей среды, расположенные или прилегающие к участкам с высокими концентрациями трития в русловой воде, накапливают тритий. По мере отдаления от центра русла в сторону (более 100 м), концентрация трития в компонентах экосистемы уменьшается до значений фоновых уровней.

Целью работы являлось исследование характера распределения и изучение механизмов поступления трития в снежный покров.

Данная работа включала следующие этапы:

- исследование уровней и характера распределения трития в снежном покрове на водотоках СИП;
- оценка содержания трития в снежном покрове на эпицентрах подземных ядерных взрывов (ПЯВ) СИП;
- изучение механизмов поступления трития в снежный покров.

Исследование уровней и характера распределения трития в снежном покрове проводилось на ручьях Карабулак, Узынбулак, Байтлес площадки «Дегелен», реке Шаган (до и после впадения в «Атомное озеро»), непосредственно на «Атомном озере». Оценка содержания трития в снежном покрове на эпицентрах подземных ядерных испытаний СИП проводилась в местах проведения ПЯВ на боевых скважинах 1355 и 1010 площадки «Балапан». Для изучения механизмов поступления трития в снежный покров на эпицентрах ПЯВ площадки «Балапан» определялось содержание трития почве.

Максимальные концентрации трития в снежном покрове обнаружены непосредственно на водотоках СИП (ручьи на площадке «Дегелен», река Шаган) и достигают концентрации трития в поверхностных водах (40 кБк/кг). На расстоянии 100-150 м от центра русла в перпендикулярном направлении концентрация трития в снега уменьшается до значений фонового уровня (12 Бк/кг). Основным механизмом поступления трития в снежный покров является эманация трития из почвенного или ледяного покрова. Также стоит отметить, что на реке Шаган и «Атомном озере» одновременно действует 2 механизма поступления трития: эманация из почвы и атмосферный перенос трития с загрязненных участков поверхностных водотоков.

Ранее проведенными исследованиями установлено, что в местах проведения ПЯВ на площадке «Балапан» обнаружено поступление трития

в воздушную среду. Предположительно, что после проведения ядерного испытания в геологических породах образовались разломы, через которые тритий может поступать на поверхность почвы и в атмосферу.

На боевых скважинах 1355 и 1010 площадки «Балапан» обнаружено наличие трития в снежном покрове. При этом, как правило, содержание трития в приземном слое снега больше, чем в поверхностном слое снежного покрова, что также подтверждает наличие основного механизма поступления трития, эманация из почвы. Учитывая тот факт, что на территории площадки «Балапан» проведено большое количество ПЯВ с различным типом и мощностью взрыва, все приустьевые участки скважин площадки «Балапан» являются потенциальными источниками поступления трития, на которых следует ожидать наличие трития в объектах окружающей среды.

Для изучения механизмов поступления трития в снежный покров, в местах с повышенным содержанием трития в снеге пробурены скважины с отбором проб почвы. В почве определялось содержание трития свободной воды. Глубина скважин составляла 7-9 м, на каждой скважине отбор почвы проводился на различной глубине (0, 1, 2 м и т.д.).

На всех исследовательских участках обнаружен тритий в почве. На приустьевом участке боевой скважины 1355 максимальная концентрация трития в глубине 5 м достигает 90 кБк/кг, а на скважине 1010 – не превышает 1 кБк/кг. Наличие трития в почве указывает, что основным механизмом поступления трития в снежный покров является эманация из почвы.

Данное исследование показало, что распространение трития на территории СИП, гораздо масштабнее, чем предполагалось нами ранее. Определение трития в снежном покрове можно успешно использовать при идентификации или верификации мест проведения подземных ядерных испытаний.

УДК 631.8:632.118.3:631.445.24

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ ПОДВИЖНОСТЬ ^{137}CS В АГРОЦЕНОЗЕ

М.В. Федоркова, Н.В. Белова, Н.В. Андреева

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: shishulina2005@yandex.ru

Исследовано модифицирующее действие органической, органоминеральной и минеральной систем удобрения дерново-подзолистой песчаной почвы на такие показатели биологической подвижности ^{137}Cs как: соотношение форм ^{137}Cs в почве,

коэффициент распределения ^{137}Cs между твердой и жидкой фазой (K_d), коэффициент перехода из почвы в растения ($KП$).

ВВЕДЕНИЕ

Радиоактивно загрязненные в результате аварии на ЧАЭС дерново-подзолистые песчаные почвы юго-запада Брянской области характеризуются низким плодородием и повышенной доступностью для растений радионуклидов, наибольшую опасность из которых представляет долгоживущий изотоп ^{137}Cs . Реабилитация сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, базируется на знании закономерностей миграции радионуклидов в системе почва-растение.

В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал о влиянии отдельных видов удобрений на аккумуляцию ^{137}Cs в урожае сельскохозяйственных культур. Однако отсутствие ясных представлений о механизмах влияния систем удобрения на подвижность ^{137}Cs в системе почва-растение затрудняет разработку приемов реабилитации загрязненных радионуклидами территорий. Нами были изучены факторы, определяющие изменение подвижности ^{137}Cs в дерново-подзолистой песчаной почве при применении разных систем удобрения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в условиях многолетнего стационарного опыта НГ СОС ВНИИА на загрязненной в результате аварии на Чернобыльской АЭС дерново-подзолистой песчаной почве. Плотность загрязнения ^{137}Cs составляла 475 ± 30 кБк/м². Влияние удобрений изучалось в четырехпольном севообороте: картофель, овес, люпин на зеленый корм, озимая рожь. Для сравнения были взяты три системы удобрений: органическая (80 т/га подстилочного навоза), органоминеральная (40 т/га навоза + минеральные удобрения) и минеральная (возрастающие дозы минеральных удобрений). Органические удобрения вносились под пропашную культуру. Дозы минеральных удобрений выбирались в зависимости от зональных рекомендаций.

Распределение радионуклида между твердой и жидкой фазой почвы, а также качественный и количественный состав почвенного раствора изучали модельном эксперименте при искусственном внесении радионуклида. Удельная активность по ^{137}Cs составила $3.35 \cdot 10^5$ Бк/кг. После инкубации в почву высевали семена ячменя сорта «Зазерский-85». Срок вегетации ячменя – три недели, вес воздушно-сухой почвы в сосуде – 1 кг, число растений в сосуде – 12 шт., повторность опыта 3-х кратная.

В почве определяли основные агрохимические показатели по стандартным методикам, формы нахождения ^{137}Cs методом последовательных вытяжек (Павлоцкая, 1974). При определении

коэффициента распределения (Kd) использовали методику М. Шеппарда (1985). В почвенном растворе измеряли также концентрацию катионов Ca^{2+} , K^+ методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, а концентрацию NH_4^+ колориметрически. Содержание ^{137}Cs в почвенных образцах и вытяжках определяли на многоканальном анализаторе IN-1200 (Франция) с полупроводниковым детектором из сверхчистого германия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Для оценки подвижности ^{137}Cs в почве нами были использованы такие параметры, как доля его обменной и подвижной формы, коэффициент распределения ^{137}Cs между твердой и жидкой фазой почвы - Kd, выраженный соотношением удельной активности радионуклида в твердой фазе (Бк/кг) к активности радионуклида в почвенном растворе (Бк/л). Применение минеральной системы удобрения увеличивало Kd в 1.9 раза, органической – в 2.4 раза, а их совместное внесение обеспечило повышение значений данного показателя в 3.7 раза относительно контроля. Доля обменного и подвижного ^{137}Cs в почве снижалась суммарно на 11.2-11.4% в варианте с органической и органоминеральной системой удобрения; а в случае с минеральной - на 2.3%(табл.1).

Таблица 1 – Содержание и соотношение катионов в почвенном растворе и их влияние на подвижность ^{137}Cs в почве

Вариант	Содержание и соотношение катионов в почвенном растворе				Параметры подвижности ^{137}Cs в почве		
	[K ⁺]	[NH ₄ ⁺]	[Ca ²⁺]	[K ⁺]/ [NH ₄ ⁺]	Обменный	Подвижный	Kd
	mM (ммоль/л)				% от общего содержания		
Контроль	0.12	0.05	3.5	2:1	18.1	16.7	441
Последствие навоза 80 т/га	0.54	0.16	7.0	3:1	13.0	10.6	1040
Последствие навоза 40 т/га + НРК	0.48	0.11	6.8	4:1	14.1	9.4	1623
НРК	0.32	0.21	5.4	1.5:1	16.4	16.1	844
НСР _{0.5}	0.08	0.04	0.3	-	0.03	0.04	36

2. Расширение соотношения K^+ к NH_4^+ за счет возрастания концентрации аммония, может привести к увеличению доступности радиоцезия для растений, и напротив увеличение содержания K^+ способствует снижению подвижности ^{137}Cs (Smolders et al., 1996; Waegeneers et al., 2001; Анисимов и др., 2002). Согласно полученным данным, соотношение K^+ к NH_4^+ в почвенном растворе на контроле составило $\approx 2:1$, при органической системе удобрений – $3:1$, при совместном применении минеральных и органических удобрений $4:1$, а при одностороннем внесении минеральных удобрений - $1.5:1$.

3. Корреляционный анализ показал достоверную зависимость между параметрами подвижности ^{137}Cs в почве и содержанием катионов K^+ и Ca^{2+} . При увеличении концентрации калия и кальция в почвенном растворе соответственно снижается доля обменного и подвижного радионуклида, а его сорбция твердой частью почвы увеличивается. Такой эффект может быть связан с явлением межслоевого коллапса кристаллической решетки глинистого минерала при резком увеличении концентрации K^+ в почвенном растворе после внесения удобрений.

Таким образом, увеличение концентрации K^+ и Ca^{2+} в почвенном растворе, вызванное применением удобрений, приводит к снижению подвижности ^{137}Cs в исследуемой почве. Исходя из полученных данных, органическая и органоминеральная система удобрений способствуют снижению подвижности ^{137}Cs в дерново-подзолистой песчаной почве в большей степени, чем минеральная.

Внесение удобрений оказывает значимое влияние на агрохимические свойства почвы, а их сочетание, в свою очередь, во многом определяет состояние ^{137}Cs в почве и его доступность для растений, а также влияет на рост и развитие сельскохозяйственных культур, и в конечном итоге вносит существенный вклад в формирование урожая как по биомассе, так и по качеству, в том числе – по содержанию поллютантов.

Корреляционный анализ выявил обратную зависимость между содержанием гумуса и обменной формы ^{137}Cs в почве, коэффициент корреляции (r^2) = 0,66 (табл.2). Это может служить косвенным доказательством образования комплексных соединений радионуклида с органо-минеральными веществами почвы, играющими важную роль в изменении подвижности ^{137}Cs в почве и системе почва-растение (Агапкина, 2002; Илахун и др., 2008).

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции (r^2) между агрохимическими характеристиками почвы и параметрами биологической подвижности ^{137}Cs

	Обменная форма	Подвижная форма	КП ^{137}Cs Картофель	КП ^{137}Cs Овес	КП ^{137}Cs Люпин	КП ^{137}Cs Озимая рожь
pH _{солевое}	0.06	0.05	0.01	0.01	0.12	0.07
N _{гидр.}	0.05	0.08	0.70	0.10	0.39	0.16
S (сумма обменных оснований)	0.17	0.15	0.15	0.84*	0.15	0.50
Гумус	0.66	0.38	0.44	0.76	0.81	0.40
ЕКО	0.20	0.16	0.33	0.73	0.34	0.31
Фосфор подвижный	0.32	0.17	0.97	0.52	0.94	0.54
Калий обменный	0.31	0.17	0.84	0.53	0.79	0.76

Примечание: * - Жирным шрифтом выделены показатели, где $r^2 \geq 0,5$

Анализ полученных данных показал, что значимое влияние на коэффициент перехода (КП) радиоцезия в большинство культур оказывают такие параметры почвенного плодородия как: содержание обменного калия, подвижного фосфора и гумуса. Степень воздействия тех или иных агрохимических показателей на переход ^{137}Cs из почвы в разные культуры различалась. Так, обеспеченность элементами питания влияла на накопление ^{137}Cs всеми культурами, изменения значений гидролитической кислотности отразились на содержании ^{137}Cs в клубнях картофеля ($r^2=0,70$), а на переход радионуклида в зерно овса и зеленую массу люпина дополнительно повлияло содержание гумуса ($r^2=0,76$ и $0,81$ соответственно). Значение суммы обменных оснований отразилось на коэффициенте перехода (КП) ^{137}Cs в зерно овса и озимой ржи ($r^2=0,84$ и $0,50$ соответственно).

ВЫВОДЫ:

1. В отдаленный период после аварии на ЧАЭС одним из основных факторов, определяющих биологическую подвижность ^{137}Cs при внесении удобрений, является сочетание показателей плодородия почвы.

2. Действие минеральных и органических удобрений на подвижность ^{137}Cs в почве обусловлено изменением содержания обменных катионов K^+ и Ca^{2+} в почве и в почвенном растворе, а также качественным и количественным составом органического вещества почвы.

3. По усилению своего влияния на переход ^{137}Cs из исследуемой почвы в сельскохозяйственные культуры агрохимические показатели располагались в ряд: pH , $\text{H}_{\text{гидр}} < \text{Сумма обменных оснований (S)} = \text{ЕКО} < \text{гумус} < \text{фосфор} < \text{калий}$.

УДК [504.062:004]/[631.153+631.6.02]

РЕАБИЛИТАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ АГРОЛАНДШАФТОВ БЕЛАРУСИ ПРИ ПОМОЩИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СРЕДСТВ

А.Н. Червань, А.Ф. Черныш

РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси, г. Минск,
Республика Беларусь
e-mail: ChervanAlex@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы реабилитации сельскохозяйственных земель, загрязненных радионуклидами при помощи геоинформационных технологий. Результаты пространственного анализа агротехнологических, геосистемных и радиологических условий сельскохозяйственной деятельности служат обоснованием возврата в использование загрязненных земель и разработки типовых схем применения элементов системы земледелия в агроландшафтах республики.

The article deals with the rehabilitation of agricultural land, contaminated by radioactive agents with the help of geoinformation technologies. The results of spatial analysis of agrotechnological, geosystem and radiological conditions for conducting agricultural activities are the substantiation of return to economic use of contaminated land and the development of model schemes of applying farming system elements in agricultural landscapes of the country.

В настоящее время в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС площадь сельскохозяйственных земель, подверженных радиоактивному загрязнению, составляет около 1,5 млн. га. В соответствии с действующим законодательством с 1993 года осуществляется возврат выведенных из сельскохозяйственного оборота радиационно опасных земель. Стратегия сельскохозяйственного производства на загрязненных радионуклидами землях должна представлять собой систему радиационно-экологических и организационно-экономических мер, направленных на обеспечение стабильного получения самокупаемой и конкурентоспособной продукции, отвечающей радиационно-гигиеническим нормативам. Поэтому в производстве продукции растениеводства определяющей должна стать система земледелия, адаптированная к условиям радиоактивного загрязнения. Это наиболее актуально для возвращаемых в состав сельскохозяйственных земель при исключении деградации почвенного покрова, обеспечении их экономически эффективного использования.

Для разработки и освоения адаптивных систем земледелия в Республике Беларусь необходима адекватная агроэкологическая оценка земель сельскохозяйственных организаций, включающая:

- ландшафтно-экологический анализ территории;
- агроэкологическую оценку почвенно-земельных ресурсов;
- агроэкологическую типизацию и группировку земель сельскохозяйственного назначения.

На территорию каждого базового административного района подготовлена мозаика ортотрансформированных растровых изображений планово-картографических материалов (топографических, почвенных, землеустроительных карт) и данных дистанционного зондирования, сведенных в единую базу данных в геоинформационном комплексе при помощи границ типов земель.

Построение и корректировка точных карт сельскохозяйственных полей с помощью геоинформационных технологий заключается с одной стороны в точном позиционировании границ рабочих участков, в другой – в максимально приближенном к натурному варьированию факторов землепользования. С точки зрения внедрения адаптивно-ландшафтных систем земледелия, экономически целесообразнее подготовить высокоточную картографическую навигационную основу, провести многофакторный пространственный анализ в базе геоданных с

проектированием маршрутных треков, а затем их подгружать в бортовой компьютер сельскохозяйственной техники. Треки могут быть классифицированы по тематическим блокам (способ обработки, система удобрений, возделываемая культура), соответствующим основным технологическим операциям. В числе прочего это позволяет рассчитывать экологические риски в использовании сельскохозяйственных земель, например, на территории загрязнения радионуклидами, не превышающего предельно допустимого уровня для возделывания сельскохозяйственных культур.

Технология почвозащитной организации агроландшафтов основана на дифференцированном подборе элементов почвозащитного земледелия согласно данным количественной оценки потенциального смыва почвы, которые являются главным критерием опасности проявления и развития водной эрозии. Алгоритм работы расчетного блока заключается в следующем: по каждой отдельной агротехнологической группе земель определяется оптимальный тип севооборота умножением значения потенциального смыва почвы на нормативы противоэрозионной способности различных севооборотов, способов обработки почвы и последующего сравнения полученного значения смыва с предельно допустимым смывом почвы (2 т/га). В базе данных подбирается тип севооборота, при котором расчетный смыв будет меньше предельно допустимого значения смыва (2 т/га) или максимально приближен к нему.

Разрабатываемая в Институте почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси система управления базой данных оценки агроэкологического состояния почвенно-земельных ресурсов апробирована на базовых агроландшафтах, дифференцированных по уровню радионуклидного загрязнения. Технология агроэкологической оценки предусматривает геосистемный, агротехнологический и радиологический блоки.

В геосистемном блоке оптимизации землепользования по рисунку почвенного покрова и по формуле почвенной комбинации можно оценивать интегральные показатели факторов хозяйствования, в первую очередь неоднородность структуры почвенного покрова. Выполненные автором ранее исследования более чем в 80 сельскохозяйственных организациях доказали существование достоверной корреляционной зависимости урожайности сельскохозяйственных культур с показателями неоднородности структуры почвенного покрова в границах типов земель. Идеальным вариантом практического использования результатов оценки неоднородности является приведение границ обрабатываемых участков в соответствие с границами типов земель. Но даже в условиях сложившихся границ землепользования применение данного подхода возможно при помощи разрабатываемой базы данных или систем глобального позиционирования в качестве треков с реальными координатами местности. Треки являются границами виртуальной делимитации

(размежевания, разграничения) полей с разными свойствами почв и уровнем плодородия для последующей дифференциации агротехнологий: способов обработки, разных доз и соотношений удобрений, средств защиты растений. Перспективно и то, что в случае отсутствия на территории хозяйства крупномасштабных почвенных карт индикационные признаки почвенных комбинаций могут быть выявлены по материалам дистанционного зондирования. Блок геосистемной оценки агроэкологического состояния заканчивается расчетом принадлежности каждого рабочего участка к группе целесообразности (от 1 до 5) возделывания той или иной сельскохозяйственной культуры.

Агротехнологический блок учитывает пространственное варьирование данных почвенного обследования, агрофизического и агрохимического мониторинга земель, применяемые системы земледелия. Детальный расчет в базе данных при помощи средств геостатистики проводится с целью максимального учета возможных лимитирующих факторов при рекомендации каждой из 16 основных возделываемых в республике культур. Первичная оценка факторов природной среды с учетом радиологической обстановки сделана в сплошном порядке, без учета границ рабочих участков в базовых агроландшафтах. Объектами пространственного многофакторного анализа выступали границы элементарных участков (внешняя граница условно однородных показателей мониторинговых наблюдений), видов земель, почвенных разновидностей и почвенных комбинаций (состава и структуры почвенного покрова).

В сформированной базе данных предусмотрены программные алгоритмы автоматизированного картометрического и геостатистического анализа для территориальной дифференциации технологических методов и приемов оптимизации землепользования по результатам картометрического анализа типов земель и учета агроэкологического состояния почвенно-земельных ресурсов.

При этом система управления базой данных определяет не только возделываемую культуру, но и тип севооборота, при котором смыв на рабочем участке снижается до предельно допустимого значения или максимально к нему приближается. Выходная таблица содержит как данные об исходном потенциальном смыве почвы, так и рассчитанном смыве с учетом выбранного типа севооборота для удобства их сравнения. Также в выходной таблице представлены выбранные типы севооборотов, их нормативы противозерозионной способности, соотношение культур в выбранном типе севооборота, нормативы противозерозионной способности способов обработки и систем удобрения по каждому типу севооборота. Заключительным этапом является приведение границ распространения выбранных типов севооборота в соответствие с границами существующих рабочих участков в агроландшафте.

Типовые решения в уточнении специализации сельскохозяйственного производства, обосновании видов и объемов получаемой продукции на территории радиоактивного загрязнения обеспечат стратегию эффективного сельскохозяйственного производства, направленной на возврат загрязненных земель и обеспечение стабильного получения самокупаемой и конкурентоспособной продукции, отвечающей радиационно-гигиеническим нормативам.

УДК 504.064.2

ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ Sr-90 НА БИОТУ ТЕРРИТОРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ХРАНИЛИЩА РАО

Р.Р. Шошина, Е.Е. Черкасова

ИАТЭ НИЯУ «МИФИ», г. Обнинск, Россия

e-mail: regina.rinatovna.m@mail.ru

Рассмотрено воздействие Sr-90 в цепочке «почва-растения-моллюски». Определены и проанализированы удельные активности, биогеохимические показатели, мощности доз компонент изучаемой системы.

The consider of the impact of Sr-90 in the "soil - plant - mollusk " chain. Identified and analyzed specific activity, biogeochemical indicators, dose rate component of the system under study

Глобализация охраны природы предусматривает изменения в системе радиационной защиты в пользу обеспечения безопасности для окружающей среды. При этом, МКРЗ предлагает использовать концепцию референтных животных и растений, с использованием принципа ступенчатого, подхода анализа радиоэкологических ситуации: 1 этап – проведение скринингового анализа; выявление тривиальных ситуаций; 2 этап – детальный анализ (в случаях превышения контрольных уровней облучения) [1].

На севере Калужской области в пойме р. Протва в результате разгерметизации емкости хранилища РАО существует радиоэкологическая проблема регионального уровня – загрязнение Sr-90 прилегающих к хранилищу геосистем [3]. В виду отсутствия пищевой цепочки с участием человека и согласно концепции экоцентризма, **целью** работы является изучение экологических аспектов воздействия Sr-90 на биоту территории расположения хранилища РАО. Что является, 1-ым этапом предложенного МКРЗ анализа. При этом, определяется ряд задач, выполнение которых, разъяснит целесообразность выполнения мониторинговых мероприятий на данной локации. Прежде всего,

необходим *выбор объектов* изучения с учетом предыдущих исследований на данной территории. В нашей работе это наземные моллюски (*Bradybaena fruticum*) и крапива двудомная (*Urtica dióica*). Моллюски известны как концентраторы радиоактивных загрязнений [2]. Однако, наземные представители - малоизучены. Тем не менее, отмечается, что в раковинах наземных моллюсков уровни загрязнения не зависят от сезонных, таксономических явлений и связаны со степенью загрязненности территории. И весь Sr-90 аккумулируется в раковине (95-99%), ввиду аналогии радионуклида с кальцием, являющимся строительным материалом раковин [4]. Имеются сведения, что основную кормовую базу для наземного моллюска составляет крапива двудомная, являющаяся кальциефильным растением. И, в рамках изучаемой системы целесообразно рассматривать это растение.

Далее, проводили *определение и анализ удельных активностей* с применением радиохимического анализа в изучаемой системе. Анализ многолетних (2010-2015 гг.) данных по содержанию Sr-90 в почвах позволил установить, что на территории, в сторону которой направлен основной сток с аварийного объекта, образовался очаг вторичного радиоактивного загрязнения Sr-90. Здесь зафиксирована максимальная удельная активность (более 3 кБк/кг) Sr-90 в почве локальных участков. И вследствие миграционных процессов ареал радиоактивного загрязнения почв со временем расширяется. Также отмечается повышение удельной активности Sr-90 в компонентах биоты. Так, в 2011 году при Ауд радионуклида в почве порядка 10^1 , 10^2 , 10^3 зафиксированы значения Ауд Sr-90 в раковинах до 359, до 477, до 1471 Бк/кг и в растительности до 326, до 1048, до 1265 Бк/кг соответственно. Тогда как в 2015 год при Ауд в почве порядка 10^1 , 10^2 значения в раковинах достигают до 5974 и 7750 Бк/кг соответственно, а в растительности до 1545 и 1765 Бк/кг. При этом отмечается значительное увеличение Ауд Sr-90 в раковинах моллюсков, нежели в растительности.

Далее проведено *рассмотрение биогеохимических показателей* миграции Sr-90 в системе. Коэффициенты накопления (Кн) и перехода (Кп) Sr-90 варьируют в широком диапазоне (0,01 – 7,3 и 0,01-2,8 соответственно) в зависимости от геоморфологических и литологических особенностей территории. В условиях переувлажненных дерново-глеевых почв наблюдается аккумуляция Sr-90. И выявлена степенная функция зависимости Кн в раковинах от Ауд в растительности, описываемая уравнением $y=10,895x^{-1,942}$, предполагающее наличие критического уровня Кн, равное 3,99 (при котором происходит 10-кратное снижение коэффициента накопления Sr-90). При Ауд Sr-90 в растениях, превышающих 1кБк/кг, показатель приближается к нулевому значению.

Следующая задача – *расчет* и анализ *мощностей доз* с помощью программы ERICA TOOL, который показал, что в 2011 году диапазон

мощностей доз для наземного моллюска составляет 0,03-2,4 мкГр/час, а к 2013 и 2015 году значения варьируют в диапазоне 0,6-9,0 и 0,3-9,0 мкГр/час соответственно. Скрининг мощностей доз со значениями безопасного уровня воздействия предложенным в ERICA (10 мкГр/ч), показал, что значения, расположенные в пределах от 5 до 9 мкГр/ч, предполагают детального рассмотрения расчетов и уточняющих исследований с учетом существующих неопределенностей, связанные, видимо, кроме всего остального и с особенностями программного обеспечения (сложности выбора геометрии объекта, невозможность учета мощности доз от растительности (в программе заложены среды: воздух, вода, почва), дуальное понимание раковины: орган или среда облучения?).

Таким образом, наземные моллюски -специфичные концентраторы Sr-90. Наиболее выражена связь «растения-раковины моллюсков», учитывающая характер питания организмов. Определение мощностей доз, при наличии существующих неопределенностей, показал необходимость дополнительных, уточняющих исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Договор №НК-15-38-20142\15).

Список литературы

1. ICRP, 2008. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38 (4-6).
2. Гудков Д.И. Назаров А.Б., Дзюбенко Е.В. и др. Радиоэкологические исследования пресноводных моллюсков в Чернобыльской зоне отчуждения//Радиационная экология, 2009, №6, с. 703-713
3. Лаврентьева Г.В., Силин И.И., Сынзыныс Б.И. Загрязнение геосистем радиоактивным стронцием в районе размещения регионального хранилища радиоактивных отходов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология, 2015, № 1, с. 36–46
4. Францевич Л.И., Паньков И.В., Ермаков А.А. и др. Моллюски – индикаторы загрязнения среды радионуклидами // Экология, 1995. - С. 57 – 62

СЕКЦИЯ 3. РАЗВИТИЕ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ, СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ, ПИЩЕВОЙ И ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 539.1.04; 579.67; 633/635+635-156

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ СВЕЖЕЙ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

Т.В. Чиж

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: rirae70@gmail.com, taras.chizh@rambler.ru

Исследования, проведенные за последние десятилетия в области применения радиационных технологий в сфере пищевой промышленности, доказывают безопасность и необходимость использования данной технологии. Весьма перспективным видится применение ионизирующего излучения в целях повышения качества и безопасности свежей продукции растениеводства.

Studies conducted over the last decades in the use of radiation technologies in the food industry prove the safety and the need to use of this technology. It seems very promising application of ionizing radiation in order to improve the quality and safety of fresh fruits and vegetables.

Первой страной, выдавшей разрешение на потребление человеком свежих облученных продуктов, стал бывший Советский Союз. В марте 1958 года советское правительство предоставило разрешение на облучение картофеля в целях ингибирования его прорастания (Nordion materials, 2011). Также в СССР были проведены исследования по радиационной обработке плодовоовощной продукции общей массой 50 т с последующей реализацией их через торгующие организации с разрешения Министерства здравоохранения (Баюров Л.И., 2008).

В 1960 году разрешение на облучение картофеля при максимальной дозе 0,1 кГр предоставила Канада. В 1963 году эта доза была увеличена до 0,15 кГр. В 1965 году в список было добавлено разрешение на облучение лука в той же дозе (Nordion materials, 2011). Постепенно происходило повышение порога применяемой дозы облучения и расширение списка продуктов, для которых допустимо использование радиации, и в 1980 г. Комитет экспертов по облучению пищевых продуктов (JESFI) постановил, что облучение любого вида пищевой продукции в дозах до 10 кГр не представляет какой-либо

токсикологической опасности для здоровья человека. В 1988 г. Всемирной организацией здравоохранения и Управлением по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных препаратов (FDA, США) был издан документ, регламентирующий дозы радиации для различных целей облучения пищевых продуктов, в т.ч. свежих фруктов и овощей (WHO, 1988). В настоящее время разрешение на облучение плодовоовощной продукции действует более чем в 30 странах мира (Kausar Abdulla Malik, 2015). Лидерами в данной области сегодня являются Соединенные Штаты Америки и Китайская Народная Республика.

Верхний порог применяемой дозы, а также цели облучения и спектр продукции, разрешенной к облучению, между отдельными государствами различаются весьма существенно. Так, например, в США верхний порог дозы облучения применяемой в целях фитосанитарной обработки в 2008 г. был увеличен с 0,5 до 1 кГр. Разрешено облучение в целях борьбы с патогенами как для фруктов, так и овощей. В то же время, например, в Индии и некоторых других странах разрешение на облучение действует пока лишь применительно к овощам. Причины этих различий, по всей видимости, связаны с особенностями нормативных документов на облучение, действующих в этих государствах, и уровнем безопасности, который они могут гарантировать.

С 1 января 2017 г. вступает в силу в качестве национального стандарта Российской Федерации ГОСТ 33302-2015. Продукция сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки. Данное руководство содержит информацию о применении ионизирующего излучения при обработке свежей сельскохозяйственной продукции для снижения количества насекомых и других членистоногих вредителей с целью обеспечения соответствия фитосанитарным требованиям. Рекомендуемый диапазон поглощенной дозы составляет от 150 до 600 Гр.

При нормативном регулировании облучения пищевой продукции должны соблюдаться требования «Общего стандарта на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением» (Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением, 2003), а также нормы и правила, изложенные в Кодексе Алиментариус (Кодекс Алиментариус, 2007). При облучении любого пищевого продукта минимальная доза поглощенного излучения должна быть достаточной для достижения технологической цели, а максимальная должна быть меньше такой, при которой мог бы возникнуть риск для безопасности потребителя, или которая могла бы отрицательно сказаться на структурной целостности, функциональных или органолептических свойствах продукта (Кодекс Алиментариус, 2007). Данное правило в полной мере справедливо и по отношению к облучению свежей продукции растениеводства.

В основе технологии облучения свежей продукции растениеводства лежит способность ионизирующего излучения очень эффективно повреждать молекулы ДНК микроорганизмов, гамет насекомых, а также меристематических тканей растений. В зависимости от цели облучения применяются различные подходы, среди которых стерилизация и снижение численности насекомых-вредителей, ингибирование прорастания, задержка созревания, снижение популяции патогенных микроорганизмов, а также улучшение технологических свойств. Все эти меры направлены на повышение безопасности продукции для потребителя и увеличение сроков ее хранения.

При хранении сочных видов продукции, в особенности картофеля, корнеплодов, луковиц, происходит ухудшение их качества и большие потери за счет продолжающихся процессов метаболизма. Традиционные способы увеличения сроков хранения основаны на ингибировании обменных процессов с помощью понижения температуры в хранилищах или химической обработки ингибиторами метаболизма. Первый способ достаточно эффективен, но необычайно дорог вследствие высоких затрат электроэнергии. На территории Российской Федерации в настоящее время действует ряд нормативных документов, устанавливающих правила хранения и транспортировки свежих овощей и фруктов. В соответствии с данными документами практически вся продукция растениеводства является крайне требовательной к температуре хранения. При этом сроки хранения для некоторых видов продукции, как, например, для клубники ограничиваются всего 3-5 сут, а при транспортировке не более чем 24 ч. Второй способ трудоемок, плохо поддается механизации, менее эффективен для борьбы с прорастанием луковиц, у которых зона роста находится глубоко внутри, а не на поверхности, как, например, у картофеля или корнеплодов. Спорным остается вопрос и о безопасности применяемых ингибиторов. Данные химические соединения могут попадать в пищу и, несмотря на свою невысокую токсичность, способны оказывать негативное влияние на здоровье человека. В противоположность обработке химическими агентами, радиационная обработка такого воздействия не оказывает (Edu F.V. и соав., 2011). С помощью облучения в определенных дозах ионизирующего излучения удастся задержать или даже полностью подавить процессы обмена и прорастания меристематических тканей в зонах роста и существенно увеличить сроки хранения (Гудков И.Н., 1991).

В последние десятилетия становится все более актуальной проблема микробиологической безопасности свежей плодовоовощной продукции. С ростом числа потребителей увеличивается частота случаев заболеваний, вызванных употреблением в пищу загрязненных фруктов, овощей и свежавыжатых соков. К примеру, за период с 1994 г. по 2004 г. этот показатель вырос более чем в пять раз (Sivapalasingam и соавт., 2004). Еще одной возможной причиной следует указать повышение

устойчивости некоторых видов патогенов к традиционным методам стерилизации. Несмотря на то, что контроль всех этапов производства, начиная с предпосевной обработки, и, заканчивая передачей продукции потребителю, помогает снизить риски, эти меры не способны предотвратить повторные случаи заболеваний.

Свежие фрукты и овощи, как правило, употребляются в пищу сырыми, без предварительной обработки, поэтому такие патогенные микроорганизмы как *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, вирус гепатита А и Норовирус, могут беспрепятственно попадать в организм человека. Кроме того, некоторые виды патогенных микроорганизмов, таких как *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Shigella*, *Aeromonas hydrophila*, *Yersenia enterocolitica* и *Cyclospora caetanensis* способны переносить условия низких температур при хранении овощей и фруктов (IAEA-TECDOC-1530, 2006).

Так, в 2007 г. в США зарегистрировано 325 тыс. случаев госпитализации с диагнозом пищевое отравление. Из них 5 тыс. случаев с летальным исходом. В 2011 г. в странах Западной Европы возникла эпидемия гемолитико-уремического синдрома, вызванного энтерогеморрагической кишечной палочкой *E. coli* серотипа O104:H4. Была установлена связь между случаями заболевания и потреблением в пищу контаминированных томатов, огурцов и листового салата, а также проростков бобовых (Топорков В.П. и соавт., 2011).

Дозы облучения, достаточные для достижения 1-log подавления поверхностно-загрязняющих бактериальных патогенов, обычно лежат в диапазоне 0,2 – 0,8 кГр. Вирусы и грибы более устойчивы, и для достижения того же уровня их подавления зачастую требуется 1–3 кГр (Niemira и Sommers, 2006). Дозы, необходимые для 3-log подавления вирусов и грибов для большинства видов продукции оказываются неприемлемыми. Тем не менее, важно признать тот факт, что большинство серьезных заболеваний пищевой природы (60% и 72% от общего количества, соответственно) вызваны патогенами бактериальной природы (Mead и соавт., 1999). Поэтому облучение является удобным методом инактивации бактериальных патогенов, таких как *E. coli* O157:H7, *Salmonella* или *Listeria* – самых серьезных угроз безопасности потребителей свежих фруктов и овощей.

В ходе исследований было показано, что высокие дозы излучения могут оказывать негативное действие на качество свежей продукции растениеводства, однако большинство свежих овощей и фруктов допустимо облучать в дозе до 1 кГр без появления каких-либо нежелательных эффектов.

К сожалению, проведено очень мало исследований по изучению влияния мощности применяемой дозы на показатели качества облучаемой

продукции. Этот фактор видится весьма важным. Также необходимы исследования по определению приемлемых диапазонов доз и режимов облучения для отдельных видов плодовоовощной продукции. Применительно к Российской Федерации могут быть актуальными исследования рынка и экономической целесообразности, ввиду того, что в нашей стране данная технология была развита не так успешно, как например, в США, где изначально установки по облучению строились преимущественно для обработки мясной продукции еще в 70-80 гг. прошлого века и часть из них была в скором времени перепрофилирована под новые задачи. Исследования в области безопасности облучения свежей продукции растениеводства, в т.ч. на предмет вероятности образования токсичных веществ в упаковочных материалах под действием облучения и перехода их в пищу, продолжаются и сегодня. Проведение подобных исследований вызвано необходимостью не только разработки более совершенной технологии облучения, но также с целью контроля изменяющихся параметров, таких, например, как изменчивость микроорганизмов.

Помимо разработки надлежащего дозиметрического контроля облучаемой продукции, необходимо дальнейшее совершенствование методов детекции облучения, протоколов исследований и методов выявления возможных фальсификаций применительно именно к свежей продукции растениеводства.

Список литературы

1. Nordion materials. The History of Food Irradiation. 2011. p. 1-5. (http://www.nordion.com/wp-content/uploads/2014/10/GT_History-of-Food-Irradiation.pdf).
2. Баяров Л.И. Радиобиология. Краснодар: КубГАУ, 2008. 311 с.
3. WHO. Food irradiation. A technique for preserving and improving the safety of food // Geneva, 1988. p. 34.
4. Kauser Abdulla Malik. Status of food irradiation in Pakistan, 2015. <http://www.slideshare.net/Adrienna/status-of-food-irradiation-in-pakistan-2015>
5. Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением. CODEX STAN 106-1983, REV, 1-2003. 5 с.
6. Топорков В.П., Шиянова А.Е., Меркулова Т.К., Дмитриева Л.Н., Топорков А.В. Эпидемия ОКИ, вызванной E. coli 0104:H4, Германия, май-июнь 2011 г. Обзор. ФГУЗ «Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб», 2011. 10 с.
7. Продукция сельскохозяйственная свежая. Руководство по облучению в целях фитосанитарной обработки. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 33302-2015. Утв. 2015-04-09. М.: СтандартИнформ, 2016. 20 с.
8. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Совместная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты. М.: Весь Мир, 2007. 21 с.
9. Edu F.V., Marculescu A., Badarau C. Aspects and connotations of potato irradiation // Journal of EcoAgriTourism. Vol. 7, no.2, 2011.
10. Гудков И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии//Изд. УСХА. 1991. с. 276-277.

11. Sivapalasingam S., Friedman C.R., Cohen L., Tauxe R.V. 2004. Fresh produce: a growing cause of outbreaks of foodborne illness in the United States. 1973 through 1997. *J Food Prot* 67:2342-2353.
12. IAEA. Use of irradiation to ensure the hygienic quality of fresh, pre-cut fruits and vegetables and other minimally processed food of plant origin. IAEA-TECDOC-1530. 2006. pp. 2-3.
13. Niemira B.A., Sommers C.H. 2006. New applications in food irradiation. In: Heldman D.R. (ed.). *Encyclopedia of Agricultural Food and Biological Engineering*, Taylor & Francis Group, New York, NY. pp. 1-6. DOI: 10.1081/E-EAFE-120042055 (<http://www.dekker.com/sdek/linking~dbcontent=a713617899>, accessed Feb 19, 2008).
14. Mead P.S., Slutsker L., Dietz V., McCaig L.E., Bresee J.S., Shapiro C., Griffin P.M., Tauxe R.V. 1999. Food-related illness and death in the United States. *Enter, Infect Dis* 5 (5):607-625.

УДК 539.1.04:635.078

РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА СПЕЦИЙ В ЦЕЛЯХ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А.И. Морозова, Н.А. Васильева, А.Н. Павлов, Е.П. Пименов

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: anastasiya87-03@yandex.ru

Настоящее исследование предпринято для оценки использования ионизирующего излучения для снижения общей микробной нагрузки некоторых специй (молотого черного перца, молотого мускатного ореха и чесночного порошка). Дозовую зависимость гибели различных групп микроорганизмов, обсеменяющих специи, изучали в ряду доз от 0 до 10 кГр гамма излучения от источника ⁶⁰Со (при мощности доз от 200 до 350 Гр/час). Результаты показали, что дозы, приводившие к гибели микроорганизмов, составили для БГКП - 2 кГр; для дрожжей – 5 кГр; для плесеней - 7 кГр, для КМАФАнМ – 10 кГр.

В некоторых современных технологических процессах химические или термические виды обработки сельскохозяйственной и пищевой продукции оказываются неприемлемыми, поскольку сопряжены с негативными побочными явлениями (отрицательное влияние на здоровье людей, загрязнение вредными веществами, сложность хранения токсических препаратов, нежелательное изменение свойств обработанной продукции, высокая стоимость обработки). Это вызывает необходимость внедрения более эффективных и экологически безопасных технологий, среди которых перспективными являются агробiotехнологии на основе применения ионизирующих излучений [1].

Радиационный метод стерилизации обладает рядом преимуществ перед обычным способом тепловой или химической стерилизации. Одно

из главных преимуществ состоит в том, что он применим для обработки термолабильных веществ, а также веществ, упакованных в тару из бумаги, стекла и пластмасс. Кроме того, радиационная обработка, по сравнению с химическими методами, не вносит в продукт дополнительных веществ, которые могут быть вредны для здоровья человека.

Целью исследования была оценка использования ионизирующего излучения для обеззараживания сухих специй (перец черный молотый, мускатный орех и чесночный порошок).

Облучение проводили на стационарной исследовательской установке ГУР-120 с сухим способом защиты, состоящей из восьми блоков-облучателей, четыре напротив четырёх, заряженных источниками ГИК-7-4, общей активностью $^{60}\text{Co } 13,8 \cdot 10^{14}$.

Объектом исследований были сухие молотые специи (перец черный, мускатный орех и чесночный порошок). Дозовую зависимость гибели различных групп микроорганизмов, обсеменяющих специи, изучали в ряду доз 0 (контроль), 1, 3, 5, 7 и 10 кГр в диапазоне мощностей доз от 200 до 350 Гр/ч.

Микробиологические учеты проводили до и после гамма-облучения. Количество мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) определяли на мясопептонном агаре (МПА) после выращивания при 37°C в течение 48 часов; численность бактерий группы кишечной палочки (БГКП), выращенных при той же температуре в течение 48 часов - на среде Эндо; число плесневых грибов и дрожжей учитывали на среде Сабуро после инкубации в течение 72 часов при 28°C [2].

Микробиологические анализы показали, что уровень загрязнения исходного продукта микроорганизмами при посеве на агаризованные среды варьирует для КМАФАнМ от 10^4 до 10^6 колониеобразующих единиц (КОЕ) на грамм, для БГКП - от 10^2 до 10^4 , для дрожжей – около 10^2 и плесневых грибов - от 10^2 до 10^3 (таблица).

Обсемененность специй микроорганизмами зависела от условий выращивания растений, способов уборки урожая, методов сушки, переработки и хранения полученного сырья.

В составе мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов преобладали спорообразующие бактерии рода *Bacillus*. Во всех изученных видах сырья присутствовали плесневые грибы родов *Penicillium* и *Aspergillus* и дрожжи рода *Rhodotorula*.

В целом, плесневые грибы и дрожжи устранялись минимальными дозами выше 5 кГр, в то время как для полной гибели спорообразующих бактерий были необходимы дозы до 10 кГр. Однако, чтобы достичь уровней, соответствующих санитарным требованиям [3], для споровых бактерий и плесневых грибов достаточно дозы гамма облучения 5-7 кГр, а для дрожжей и БГКП – 3 кГр.

Таблица 1 – Эффективность γ -облучения для подавления микроорганизмов, загрязняющих растительное сырье

Доза ионизирующего излучения	Микробиологические показатели			
	Количество МАФАнМ, КОЕ на 1 г продукта	Количество плесневых грибов, КОЕ на 1 г продукта	Количество дрожжей, КОЕ на 1 г продукта	Количество БГКП, КОЕ на 1 г продукта
Перец черный молотый				
Контроль	$3,3 \cdot 10^6$	$4,5 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^2$	$5,2 \cdot 10^4$
1 кГр	$1,8 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^1$	$8,9 \cdot 10^2$
3 кГр	$9,4 \cdot 10^4$	$5,3 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^1$	0
5 кГр	$2,7 \cdot 10^4$	$2,9 \cdot 10^2$	8	0
7 кГр	$1,2 \cdot 10^2$	0	0	0
10 кГр	$6,9 \cdot 10^1$	0	0	0
Мускатный орех молотый				
Контроль	$1,4 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^2$	$1,7 \cdot 10^4$
1 кГр	$4,1 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^1$	$1,5 \cdot 10^1$	$3,2 \cdot 10^2$
3 кГр	$4,6 \cdot 10^2$	3	2	0
5 кГр	$3,2 \cdot 10^2$	0	0	0
7 кГр	$1,9 \cdot 10^1$	0	0	0
10 кГр	0	0	0	0
Сухой чеснок (порошок)				
Контроль	$5,7 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^2$
1 кГр	$2,0 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^1$	$1,8 \cdot 10^1$
3 кГр	$7,3 \cdot 10^2$	$1,6 \cdot 10^1$	7	0
5 кГр	$6,6 \cdot 10^1$	0	0	0
7 кГр	9	0	0	0
10 кГр	0	0	0	0

Полученные данные демонстрируют перспективность исследований, направленных на расширение рынка стерилизации сушеной продукции растительного происхождения, в частности, пряностей и овощей. Также в настоящей работе показана возможность использования исследовательских установок небольшой мощности для снижения микробной нагрузки.

Список литературы

- Санжарова Н.И., Гераскин С.А., Исамов Н.Н., Козьмин Г.В и др. Научные основы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве. Обнинск: ВНИИСХРАЭ. 2013. 133 с.
- Лабинская А.С. Микробиология с техникой микробиологических исследований - М.: Изд-во Медицина. 1978. 394 с.
- Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М. 2002. 317 с.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ УСКОРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

И.В. Полякова, Н.А. Фролова

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: irinaamchenkina@mail.ru

В настоящей работе изучали эффективность радиационной стерилизации рыбных пресервов ускоренными электронами с разной мощностью дозы (на примере рыбных пресервов). Наибольшей эффективностью (по показателю общей микробной обсемененности) обладает электронное излучение с мощностью ~ 100 Гр/с и дозой 6 кГр.

Радиационная обработка многокомпонентных продуктов питания, готовых к употреблению, представляет отдельную и до конца не решенную проблему. Эта продукция не подвергается термической стерилизации, в связи с чем возрастает угроза развития микробиологического заражения и сокращаются сроки безопасного хранения. Микрофлора таких продуктов обусловлена разными компонентами и может существенно варьировать. Например, в составе рыбных пресервов присутствуют микроорганизмы рыбы, специй, заливки, а также потенциально опасные микробы, которые могут попадать в продукцию в процессе изготовления при нарушении санитарных правил организации производства.

Если произошло микробиологическое загрязнение готового продукта, то устранить его практически невозможно. И в таком случае метод холодной стерилизации пищевых продуктов, основанный на радиационной обработке, является наиболее эффективной и безопасной альтернативой пищевым консервантам, и другим химическим ингредиентам.

В настоящее время для радиационной обработки пищевых продуктов разрешено применять установки со следующими видами ионизирующего излучения: электронное - с энергией не более 10 МэВ, γ -излучение радиоизотопа ^{60}Co ($E = 1,25$ МэВ), γ -излучение радиоизотопа ^{137}Cs ($E = 0,66$ МэВ) и тормозное излучение, генерируемое ускорителями с энергией квантов не более 5 МэВ. Это ограничение введено для того, чтобы свести к минимуму образование в продуктах радионуклидов наведенной активности, являющихся результатом фотоядерных реакций. В свою очередь, многочисленными исследованиями установлено, что при дозах облучения до 10 кГр, рекомендованных международными (ISO, ASTM) и отечественными нормативными документами, основные качественные

показатели продуктов питания практически не изменяются, а опасные концентрации продуктов радиолитизации не образуются.

Большое значение при использовании радиационной обработки продуктов имеет выбор мощности поглощенной дозы и ее наиболее эффективная величина. В случае пищевых продуктов готовых к употреблению (например, рыбных пресервов), в связи с качественным и количественным разнообразием микробиологического загрязнения, а также с присутствием радиочувствительных компонентов в продукции, требуется уточнение величин мощности дозы, поглощенной дозы и вида ионизирующего излучения для достижения наиболее оптимального эффекта при сохранении качества продукта.

Целью работы стало исследование эффективности воздействия ускоренных электронов разной мощности и энергии на показатели качества и безопасности многокомпонентных пищевых продуктов (на примере рыбных пресервов) сразу после воздействия и в процессе хранения.

Материалы и методы

В экспериментах использовали рыбные пресервы, изготовленные по стандартной технологии (ТУ 9272-100-00472093-2002), расфасованные в герметичную пластиковую тару и залитые подсолнечным маслом. Партия пресервов была разделена на 9 частей и облучена ускоренными электронами в дозах 0 (контроль); 1,5 кГр (с мощностями дозы 83,3 и 250 Гр/с); 3,0 и 6,0 кГр (с мощностями доз 83,3 Гр/с; 250 Гр/с и 1000 Гр/с).

Облучение рыбных пресервов проводили на линейном волноводном ускорителе электронов - У003 «Электроника» с энергией электронов 2,5 МэВ, мощность дозы 1000 Гр/с (НИИТФА, г. Москва) и на импульсном линейном ускорителе с энергией электронов 5 МэВ, мощности дозы 83,3 и 250 Гр/с (ИЯФ СО РАН г. Новосибирск).

Измерение поглощенной дозы (ПД) осуществляли дозиметрическими приборами, прошедшими метрологическую аттестацию. Погрешности измерения поглощенных доз с использованием тонкопленочных детекторов на полимерной основе и дозиметров Фрике не превышали 10–12 % при доверительной вероятности 0,95. Хранили пресервы в бытовом холодильнике при температуре 8 ± 3 °С.

При облучении образцы пресервов временно вынимали и раскладывали в один ряд на ленте конвейера на время обработки, не превышающее 1,5 часа. Контрольные образцы так же выдерживали при комнатной температуре.

В контрольных и облученных образцах оценивали органолептические и микробиологические показатели сразу после облучения (15 суток после изготовления) и спустя 90 суток (срок хранения рыбных пресервов согласно ТУ). Анализ показателей проводили в аккредитованной лаборатории ООО «ИЛКППЭ», г. Калуга.

Эффективность облучения оценивали по следующей формуле:

$$\Xi = [(K_n - K_0)/K_n] \cdot 100\%,$$

где Ξ – эффективность облучения в процентах, K_n – количество микроорганизмов в 1 г необлученного продукта, K_0 – количество микроорганизмов в 1 г продукта после облучения.

Результаты и обсуждение

В исследуемых образцах изначально отсутствовали патогенные микроорганизмы (сальмонеллы, листерии, стафилококки, клостридии, бактерии группы кишечной палочки) и плесени, но количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), а также дрожжей превышало допустимые уровни (таблица 1 и 2).

Таблица 1 – Количество МАФАнМ в рыбных пресервах в зависимости от дозы и мощности дозы облучения и сроков хранения

Доза облучения, кГр	Сроки хранения, сутки	
	15	90
0	$1,0 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^4$
1,55 (83,3 Гр/с)	$5,0 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^4$
2,63 (83,3 Гр/с)	$5,0 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$
6,0 (83,3 Гр/с)	<10	<10
1,55 (250 Гр/с)	$1,6 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^4$
2,63 (250 Гр/с)	$1,0 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$
6,0 (250 Гр/с)	<10	$1,5 \cdot 10^2$
3,0 (1000 Гр/с)	$2,0 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^4$
6,0 (1000 Гр/с)	<10	$4,0 \cdot 10^2$
Норма: не более $2 \cdot 10^5$ КОЕ/1г (ГОСТ 10444.15-94)		

Таблица 2 – Количество дрожжевых клеток в рыбных пресервах в зависимости от дозы и мощности дозы облучения и сроков хранения

Доза облучения, кГр	Сроки хранения, сутки	
	15	90
0	250	$4,5 \cdot 10^4$
1,55 (83,3 Гр/с)	<10	$4,0 \cdot 10^3$
2,63 (83,3 Гр/с)	<10	$3,5 \cdot 10^4$
6,0 (83,3 Гр/с)	<10	<10
1,55 (250 Гр/с)	<10	$3,5 \cdot 10^3$
2,63 (250 Гр/с)	<10	$1,0 \cdot 10^4$
6,0 (250 Гр/с)	<10	$4,0 \cdot 10^3$
3,0 (1000 Гр/с)	30	$4,5 \cdot 10^4$
6,0 (1000 Гр/с)	<10	<10
Норма: не более 100 КОЕ/1 г (ГОСТ 10444.12-88)		

Через 15 суток после производства (10 суток после радиационной обработки) все контролируемые показатели в образцах облученной

продукции соответствовали нормативным значениям, кроме варианта дозы 1,55 кГр (мощность дозы – 250 Гр/с). Отклонений органолептических свойств в контрольной и облученной продукции не обнаружено.

На 90 сутки хранения в контрольных образцах отмечали нарушение органолептических характеристик. В процессе хранения КМАФАнМ преимущественно снизилось, но осталось в пределах нормы, а содержание дрожжей превысило норматив. Только при облучении в дозе 6 кГр (при мощности дозы 83,3 Гр/с) количество дрожжевых клеток в образце соответствовало нормативу ($<10^2$). Однако выросшие колонии дрожжей характеризовались меньшими размерами и пониженной метаболической активностью. Поэтому даже при превышении нормативов продукция не подвергается микробиологической порче.

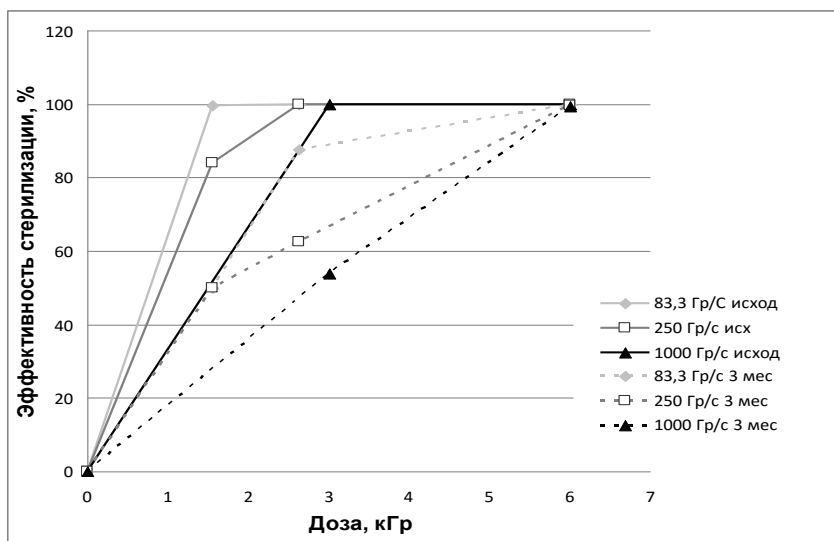


Рисунок 1 – Относительная эффективность радиационной стерилизации рыбных пресервов электронным излучением с разной мощностью дозы

Как видно из рисунка 1 эффективность стерилизации снижается с увеличением мощности дозы, а также эффект от облучения через 3 месяца хранения становится менее значимым.

Можно сделать вывод, что среди исследованных вариантов режимов радиационной стерилизации рыбных пресервов наиболее эффективным являются: облучение ускоренными электронами с дозой 6 кГр при мощности поглощенной дозы 83,3 Гр/с.

**ПРОМЫШЛЕННАЯ РАДИАЦИОННАЯ СТЕРИЛИЗАЦИЯ
ПРОДУКТОВ И ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА
БАЗЕ ГАММА–УСТАНОВКИ ГУБ–20 000**

В.О. Сабуров, А.А. Лычагин, А.А. Бровин, Ф.М. Сазонов

Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал
ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, Обнинск, Россия
e-mail: vosaburov@mrrc.obninsk.ru

В работе произведен расчет для модернизации установки ГУБ–20 000, расположенной в специализированном радиационно-защищенном каньоне экспериментального сектора МРНЦ, для возможной стерилизации продукции и изделий медицинского назначения общей массой до 10 т в сутки при объеме равномерного поля облучения не менее 6,2 м³.

In this study, we carried out calculations for the modernization GUB-20 000 situated in a special radiation-protected canyon of the experimental sector MRRC for possible aseptinize of products and medical supplies to a total weight of 10 tons per day, with the volume of uniform irradiation field is not less than 6,2 m³.

Радиационная стерилизация медицинских изделий является одним из наиболее развитых радиационно-технологических процессов. В настоящее время стерильная одноразовая медицинская одежда, белье и одноразовые медицинские средства индивидуальной защиты находят все более широкое применение в медицинских учреждениях РФ. Ассортимент изделий медицинского назначения, подвергаемых радиационной стерилизации, составляет более 254 наименований. Стерилизация гамма-излучением проводится в герметичных упаковках, в которых продукция может храниться до 5 лет, с учетом, что её не будут вскрывать. Применяемые дозы имеют широкий диапазон: 15,0–50,0 кГр для уничтожения патогенных микроорганизмов и паразитов на медицинских изделиях, для обеззараживания пищевых добавок и ингредиентов.

В начале 70-х годов на территории МРНЦ им. А.Ф. Цыба для проведения научных экспериментов с крупными животными была создана гамма-установка ГУБ–20 000 (гамма-установка биологическая 20 000 г-экв. радия). В настоящий момент установка находится в законсервированном состоянии, сборки с источниками разряжены.

Установка представляет собой хранилище сборок с набором источников ⁶⁰Со типа ГИК-7-3, в котором сборки хранятся в специальном бассейне с водой на глубине 5 м, что обеспечивает над поверхностью воды мощность дозы излучения в режиме хранения на уровне природного

фона. Над бассейном находится камера облучения, транспортное устройство в виде направляющих и тележки, на которую в специальных контейнерах помещаются биологические объекты. После закрытия каньона защитной дверью из чугуна и свинца, общей толщиной более 400 мм, сборки поднимались в 4 направляющие трубы для облучения объектов до заданной поглощенной дозы.

Бассейн глубиной 5 м и диаметром 2,5 м заполнялся водой для обеспечения радиационной защиты в момент установки объектов для облучения (стерилизации). Управление процессом происходило из операторской, расположенной в другом помещении за радиационной защитой в виде стены толщиной 1200 мм из тяжелого ($4,3 \text{ г/см}^3$) бетона.

Выполненные расчетные исследования демонстрируют возможность безопасной эксплуатации установки при ее зарядке источниками на основе ^{60}Co с общей активностью до $7,8 \cdot 10^{15}$ Бк ($2,1 \cdot 10^5$ Ки) при условии, что кассеты не будут подниматься над поверхностью бассейна, а облучение будет происходить в нижней части бассейна хранения источников. Изначально, в 70-х годах, при проведении экспериментов, экспозиция происходила в камере облучения, но расчет показал, что максимально возможная активность с учетом имеющейся радиационной защиты – $1,1 \cdot 10^{15}$ Бк ($2,9 \cdot 10^4$ Ки), что приведёт к увеличению времени облучения, а также уменьшению радиационной безопасности.

При облучении в нижней части бассейна высокая радиационная безопасность обеспечивается возможностью в любой момент времени заполнить бассейн водой до устранения аварийной ситуации, хотя это может привести и к повреждению продукции.

Источниками являются 6 сборок, которые располагаются по периметру бассейна. Каждая сборка состоит из 13 вертикально расположенных источников типа ГИК-7-3, заряженных в алюминиевую кассету, которая в свою очередь помещена в механическую защиту из нержавеющей стали марки AISI 304 (08X18H10).

В центре бассейна помещается сборка из 10 источников типа ГИК-7-3 и 2 источников типа ГИК-7-4, набранные определенным образом с общей активностью $4,43 \cdot 10^{15}$ Бк ($1,17 \cdot 10^4$ Ки).

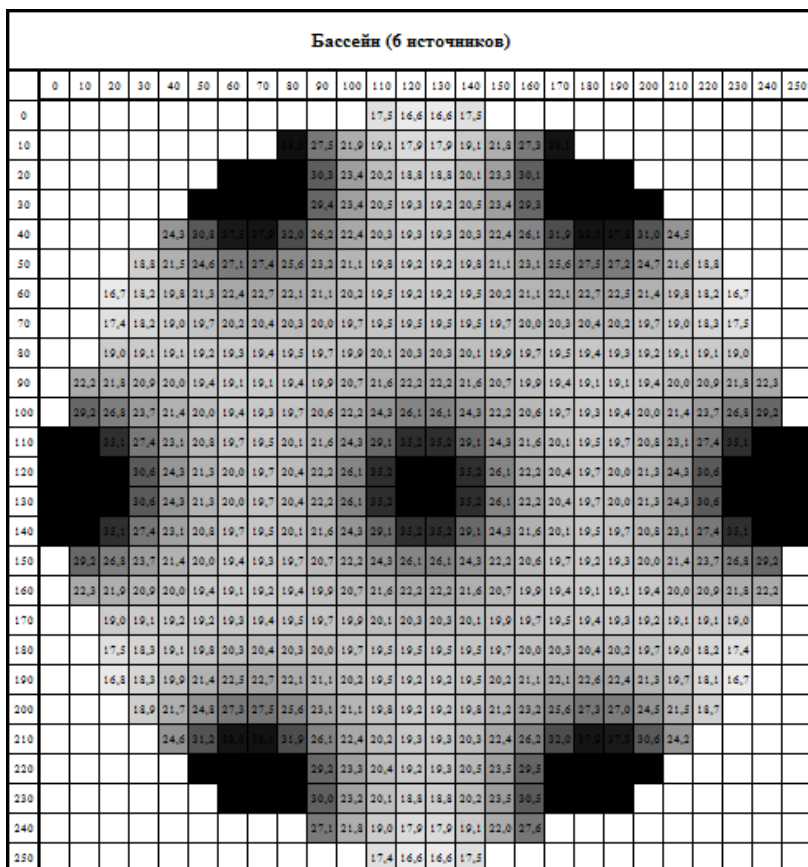


Рисунок 1 – Картограмма формирования поглощенных доз в кГр за 17 часов с общей активностью $4,43 \cdot 10^{15}$ Бк ($1,17 \cdot 10^4$ Ки), горизонтальный осевой разрез.

Цветом выделены: черным – зоны максимальной мощности дозы, серым – рабочее пространство равномерного облучения, белый – границы камеры облучения

Проведенные расчеты показали, что расположение источников на вершинах вписанного шестиугольника со сборкой в центре для выравнивания поля, даёт максимально эффективный объем зоны облучения равный $6,2 \text{ м}^3$. Данный эффект достигается за счёт закона ослабления ионизирующего излучения $\sim 1/R^2$. Для достижения более лучшей равномерности поля по высоте целесообразно увеличить активность в торцах сборки (на рис. 2 указано стрелками) путем зарядки источников типа ГИК-7-4.

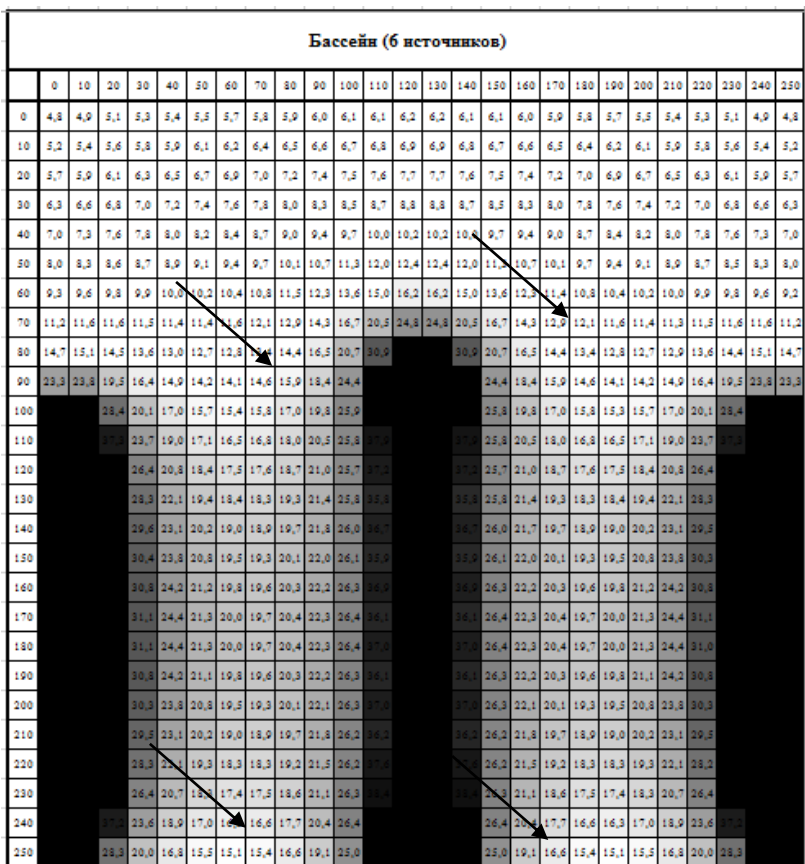


Рисунок 2 – Картограмма формирования поглощенных доз в кГр за 17 часов, с общей активностью $4,43 \cdot 10^{15}$ Бк ($1,17 \cdot 10^4$ Ки), вертикальной осевой разрез.

Цветом выделены: черным – зоны максимальной мощности, серым – рабочее пространство равномерного облучения, белый – нехватка требуемой дозы

При конфигурации без сборки для выравнивания дозовых полей получается провал по дозе в центре бассейна. На рис. 3 представлены картограммы с 12 сборками и 4 сборки соответственно, без сборки в центре, при одинаковой общей активности. Четко видно, что при выбранной геометрии (рис. 2.) достигается максимальная эффективность.

Ориентировочные затраты на реконструкцию установок ГУБ–20 000 рассчитывались с применением 90 источников типа ГИК-7-3 и 2 источников ГИК-7-4 с общей активностью $4,43 \cdot 10^{15}$ Бк ($1,17 \cdot 10^4$ Ки). По сведениям В/О «Изотоп» приобретение, доставка и зарядка источников на февраль 2016 г. составят около 24 млн руб.

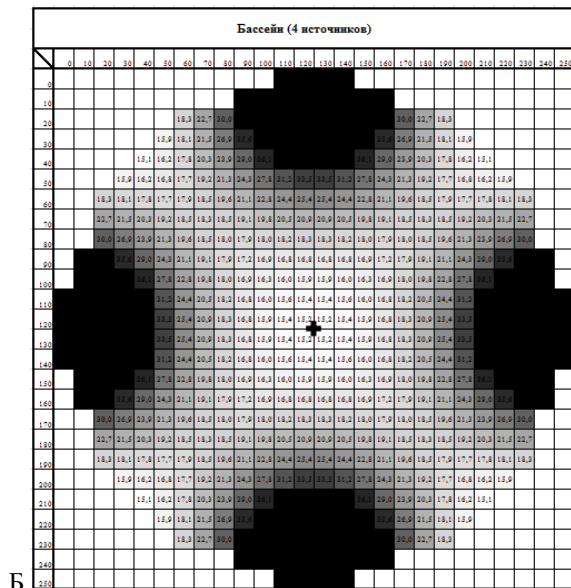
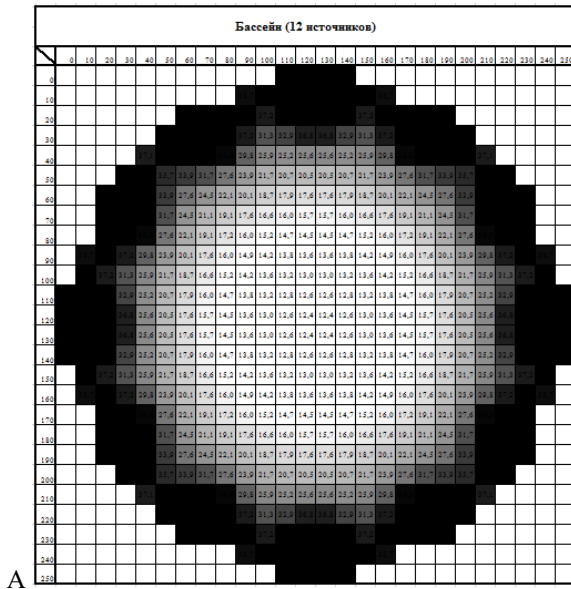


Рисунок 3 – Картограмма формирования поглощенных доз в кГр за 17 часов: А – с 12 сборками общей активности $4,43 \cdot 10^{15}$ Бк ($1,17 \cdot 10^4$ Ки), Б – с 4 сборки общей активностью $4,23 \cdot 10^{15}$ Бк ($1,14 \cdot 10^4$ Ки). Цветом выделены: черным – зоны максимальной мощности дозы, серым – рабочее пространство равномерного облучения, белый – нехватка требуемой дозы

Разработка проекта, подготовка конструкторской документации на оборудование и систему спуска-подъема груза, изготовление и монтаж оборудования оценивается в 18 млн руб. Подготовка необходимой инфраструктуры (парковочные площадки, складские помещения и прочие элементы логистики) – 5 млн руб.

Сроки реализации проекта – 18 месяцев с момента начала финансирования.

Срок окупаемости проекта – 4 года с момента начала эксплуатации.

УДК:621.039.83

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБЛУЧЕНИЯ ПРОДУКЦИИ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ УСТАНОВКИ ГУР-120

А.С. Снегирев, А.Н. Павлов, Е.В. Спирин

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия
e-mail: snegir.05@mail.ru

Предложены оптимальные режимы облучения продукции пищевой промышленности (специй, пряностей, сушеных овощей и трав) с целью ее стерилизации. Определены дозиметрические характеристики гамма-излучения на примере исследовательской установки ГУР-120, применяемой при обработке сельскохозяйственного сырья.

Для обеззараживания, дезинсекции и продления сроков хранения сельскохозяйственных и пищевых продуктов в последние годы активно внедряются радиационные технологии (РТ). В основном облучению с целью стерилизации подвергаются специи, пряности, сухие овощи и фрукты. В настоящее время это наиболее эффективная и экономически целесообразная альтернатива существующим методам химической и температурной обработки.

Необходимым условием радиационного облучения сельскохозяйственного сырья является обеспечение равномерного распределения поглощенной дозы. В зависимости от величины поглощенной дозы ионизирующего излучения могут быть достигнуты те или иные технологические цели применения РТ. Выбор и использование конкретных измерительных систем дозиметрии должны обосновываться с учетом диапазона доз, типа излучения, эффективности облучения для достижения заданной компетенции технологического процесса.

С целью унификации методических подходов к формированию полей поглощенных доз γ -излучения и режимов облучения, обеспечивающих радиационную стерилизацию сельскохозяйственного растительного сырья, были изучены дозиметрические характеристики

поля поглощенных доз в воздухе и облучаемых объектах на примере использования гамма-установки ГУР-120, проведена экспериментальная апробация различных дозиметрических методов контроля процесса облучения, определены оптимальные режимы облучения, при которых достигается равномерное распределение поглощенной дозы в растительной продукции.

Установка ГУР-120 состоит из восьми блоков-облучателей - четыре против четырёх (рисунок 1). Тип – стационарная, исследовательская с сухим способом защиты. Параметры облучательского помещения: объем – 380 м³, площадь – 67,5 м², длина – 11,43 м, ширина – 5,9 м, высота – 5,6 м.

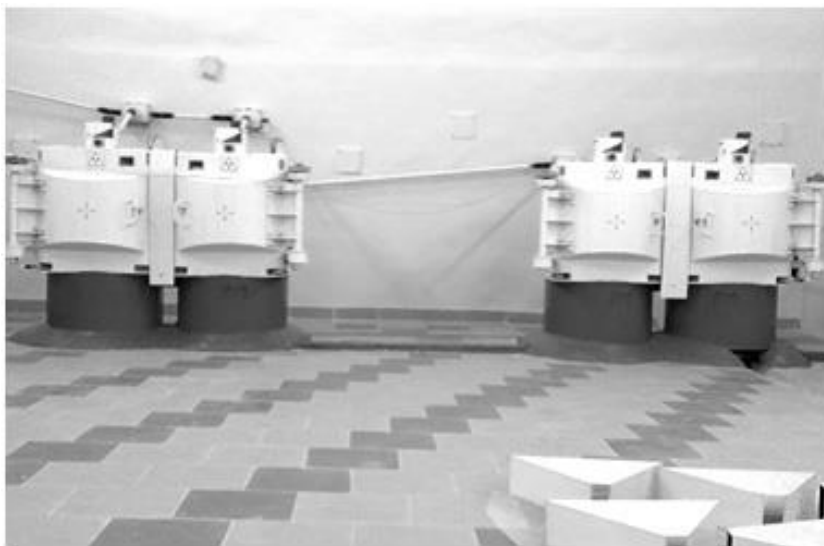


Рисунок 1 – Контейнеры-облучатели γ -установки ГУР-120

Геометрия облучения растительного сырья на γ -установке ГУР-120 представлена на рисунке 2, где d – толщина среды от начала тканеэквивалентных барьеров до точки детектирования; (X20-X10), (X40-X30) – толщина тканеэквивалентных барьеров; (Y1;0), (Y2;0), (Y3;0), (Y4;0), (Y5;X5), (Y6;X6), (Y7;X7), (Y8;X8) – координаты источников ионизирующего излучения (ИИИ).

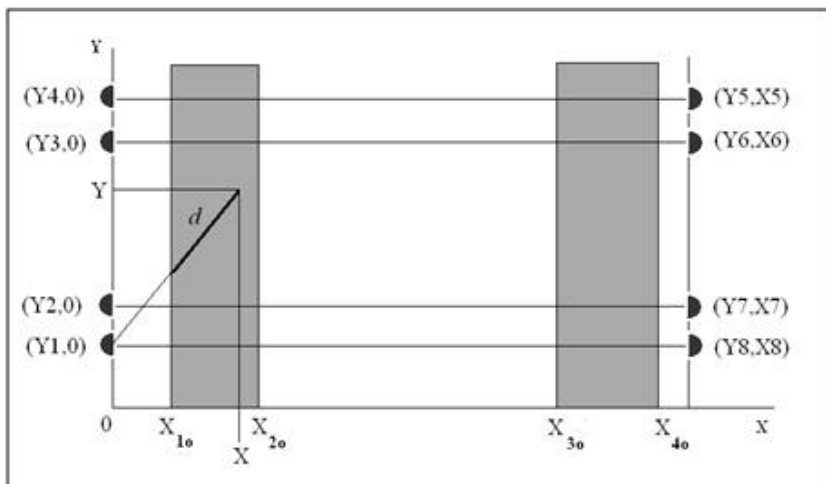


Рисунок 2 – Геометрия облучения объектов в зале γ -установки ГУР-120

Инженерные расчёты мощности поглощённой дозы выполнялись с использованием дозовой функции точечного изотропного источника γ -излучения:

$$P_{\gamma} = Q \cdot K_{\gamma} \cdot \exp(-\mu d) \cdot V(\mu d) / R^2, \text{ где}$$

Q – активность источника, Бк;

K_{γ} – гамма-постоянная радионуклида ^{60}Co , $(\text{Гр} \cdot \text{м}^2) / (\text{с} \cdot \text{Бк})$;

μ – коэффициент ослабления гамма-излучения в веществе объекта, $\text{м}^2 / \text{кг}$;

d – толщина среды от источника до точки детектирования, $\text{кг} / \text{м}^2$;

$V(\mu d)$ – дозовый фактор накопления, отн. ед.;

R – расстояние от источника до точки детектирования, м.

В формуле для расчета мощности дозы учитывается ослабление в материале объекта на глубине d (выражается в $\text{г} / \text{см}^2$) и вклад в мощность дозы рассеянного гамма-излучения, который учитывается фактором накопления $V(\mu d)$. Фактор накопления с использованием аппроксимирующего выражения Бергера представлен для ^{60}Co в виде:

$$V(\mu d) = 1 + 1,035 \cdot (\mu d)^{1,36}$$

Прямые измерения дозовых полей были проведены с помощью дозиметров Фрике в диапазоне доз 20 – 400 Гр, термолюминесцентных детекторов (ТЛД) на основе порошкообразного фтористого лития марки ТЛД-100 в диапазоне доз 1 – 10 Гр, дозиметра конденсаторного типа ДКС-101 с мощностью поглощенной дозы до 200 Гр/ч, максимальное время измерения составляло 9 ч, полимерных пленочных детекторов в диапазоне доз 1 – 10 (5-50) кГр и цветowych индикаторов дозы от 1 до 20 кГр.

Результаты расчета распределения мощности дозы γ -излучения в воздухе облучательского зала на разной высоте относительно ИИ представлены на рисунке 3. На расстоянии 20 см от блоков с ИИ значение P_{\max} относительно линии ИИ превышает в 7 раз P_{\min} . Ближе к центру зала на расстоянии 140 см это отношение равно 1,14.

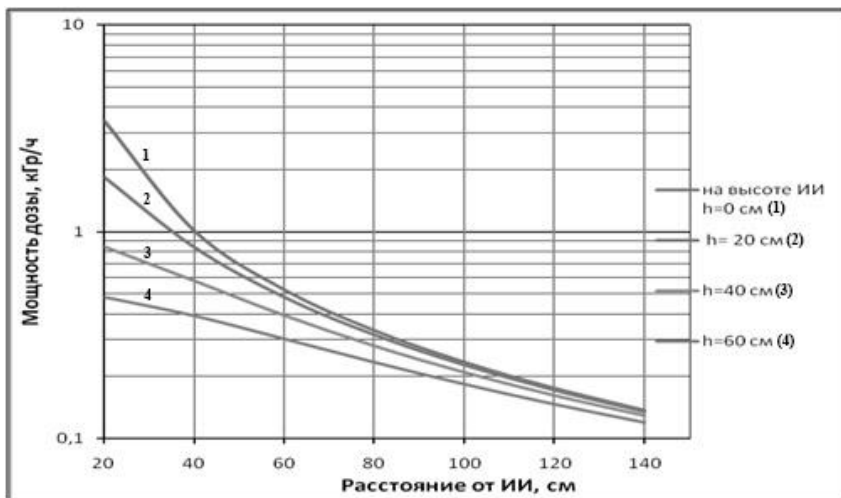


Рисунок 3 – Распределение мощности дозы γ -излучения между противоположными блоками на разной высоте относительно ИИ

При оптимизации режима облучения объектов необходимо учитывать плотность вещества объекта. Для изучения распределения поглощенных доз в облучаемом растительном материале были выбраны два значения плотности вещества - $0,3 \text{ г/см}^3$ и $0,7 \text{ г/см}^3$, т.к. плотность молотого перца - $0,745 \text{ г/см}^3$, плотность молотого кориандра - $0,569 \text{ г/см}^3$, плотность резаного сушеного укропа - $0,35 \text{ г/см}^3$. Из приведённых данных видно, что когда плотность вещества в объекте равна $0,7 \text{ г/см}^3$, P_{\max} превышает P_{\min} в 182 раза, при этом в воздухе эти значения отличаются в 20 раз, а при $\rho=0,3 \text{ г/см}^3$ - в 40 раз (рисунок 4).

Увеличение плотности вещества в 2 раза приводит к увеличению неравномерности в 4,5 раза. Ослабление излучения на одной из боковых сторон объекта достигает до 10 раз при толщине материала 1 м с плотностью $0,7 \text{ г/см}^3$.

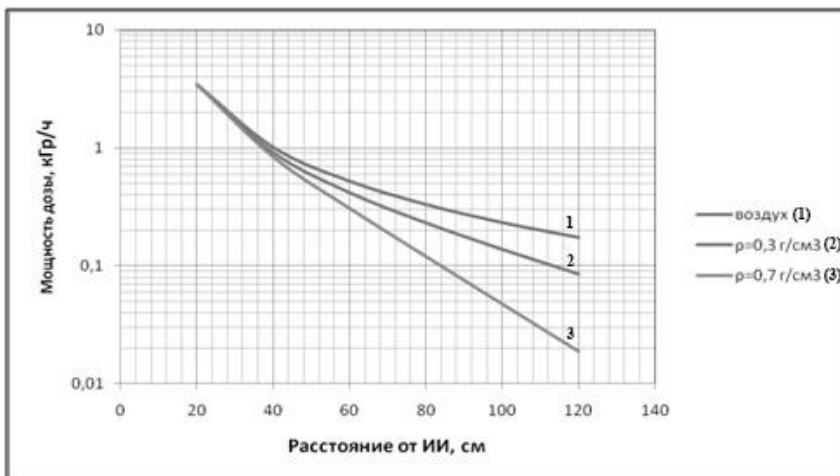


Рисунок 4 – Распределение мощности дозы в воздухе и облучаемых объектах с $\rho=0,3 \text{ г/см}^3$ и $\rho=0,7 \text{ г/см}^3$

Неравномерность поля облучения (по соотношению P_{\max}/P_{\min}) можно существенно снизить за счет двухстороннего облучения путём поворота облучаемого объекта 180° . Сформированное таким образом распределение мощности поглощенной дозы в центральном поперечном сечении объема облучаемого объекта показано на рисунке 5. В результате поворота на 180° неравномерность распределения мощности поглощенной дозы (по соотношению P_{\max}/P_{\min}) уменьшилась в 5 раз.

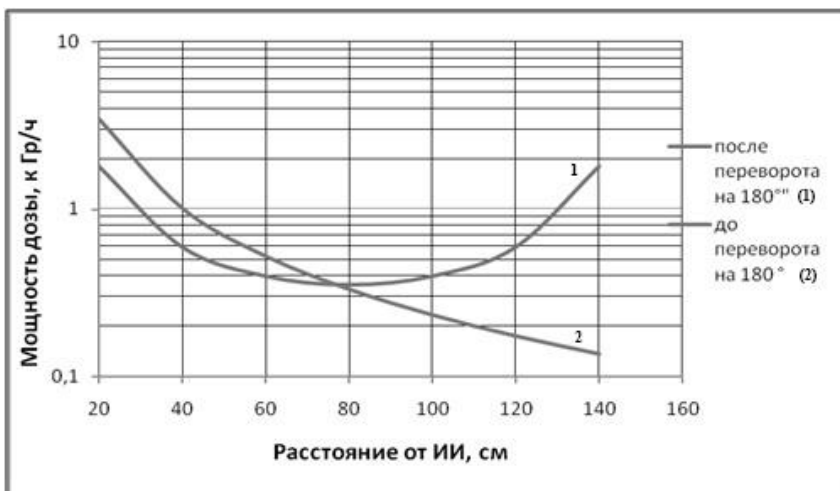


Рисунок 5 – Распределение доз в объекте до и после переворачивания на 180°

Данные по распределению мощностей доз облучения позволяют выявить размеры области равномерного облучения объекта. Для улучшения равномерности облучения может быть применён прием с периодическим переворачиванием материала.

Таким образом, в ходе проведенных исследований разработаны операционные процедуры радиационной стерилизации высушенного сельскохозяйственного растительного сырья, а также свежей продукции растениеводства для увеличения сроков хранения и обеспечения микробиологической безопасности (в соответствии с действующими нормативными требованиями). Разработанные режимы облучения положены в основу технологического регламента применения γ -установок с мощностью поглощенной дозы в диапазоне 0,3 – 1,2 кГр/ч. Проведена экспериментально-производственная апробация технологического регламента радиационной стерилизации растительной продукции в заводской упаковке на установке ГУР-120.

ISBN 978-5-903386-42-0



9 785903 386420

Компьютерная верстка Шубина О.А.

Подписано в печать 25.08.2016 г. Тираж 150 экз.

Объем 261 стр., Усл. печ. л. 16,3.

Издание ФГБНУ ВНИИРАЭ
249032, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км.