

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

БУРАЕВА ЕЛЕНА АНАТОЛЬЕВНА

**РАДИОАКТИВНОСТЬ ПОЧВ
ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

1.5.19. Почвоведение (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Ростов-на-Дону – 2023

Работа выполнена на кафедре почвоведения и оценки земельных ресурсов Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского и в Отделе интеллектуальных материалов и нанотехнологий Научно-исследовательского института физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет».

Научный консультант: **Безуглова Ольга Степановна**
доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», профессор

Официальные оппоненты: **Мамихин Сергей Витальевич**
доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», кафедра радиэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения, ведущий научный сотрудник

Лукашенко Сергей Николаевич
доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», лаборатория № 14 – Радиохимии и аналитической химии, главный научный сотрудник

Назаренко Ольга Георгиевна
доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение государственного центра агрохимической службы «Ростовский», директор

Защита диссертации состоится **26.10.2023 г. в 15.00** на заседании диссертационного совета ЮФУ801.01.01 по биологическим наукам на базе Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1, к. 712.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1314776/>

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 803а, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ801.01.01 Тимошенко А.Н., а также в формате pdf на e-mail: atimoshenko@sfedu.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Тимошенко Алёна Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время накоплен большой объем данных по удельной активности и особенностям распределения радионуклидов естественного и искусственного происхождения в почвах и в системе почва-растение. Особый интерес к изучению радиоактивности наземных экосистем вызван последствиями испытаний ядерного оружия и аварий на радиационно опасных объектах. В регионах Российской Федерации и в странах ближнего зарубежья непрерывные радиоэкологические исследования, в основном, приурочены к зонам размещения радиационно опасных объектов, территориям, пострадавшим в результате аварии на Чернобыльской АЭС и Кыштымской аварии, к местам проведения испытаний ядерного оружия. Сведения по концентрации радионуклидов в экосистемах используются для расчетов дозовых нагрузок на население и окружающую среду от природных источников ионизирующих излучений, оценок изменений активности радионуклидов в результате деятельности человека в различных, в том числе и мониторинговых исследованиях, в зонах наблюдений предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Необходимо подчеркнуть, что имеющиеся материалы по радиоактивному загрязнению почв регионов Юга Европейской части России (Предкавказья и Северного Кавказа) отрывочны и разрознены. Поэтому исследования по установлению величин удельной активности радионуклидов в объектах окружающей среды, мощности амбиентного эквивалента дозы и закономерностей их распределения на территориях Юга Европейской части России являются актуальной задачей для почвоведения и для радиационной безопасности человека и окружающей среды.

Цель исследования: установить закономерности распределения, изменения во времени и накопления удельной активности естественных радионуклидов и искусственного ^{137}Cs в различных типах почв и в системе почва – травянистые растения Юга Европейской части России (Северного Кавказа и Предкавказья).

Основные задачи исследования:

1. Исследовать закономерности распределения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД, мкЗв/ч) на природных, природно-

антропогенных и урбанизированных территориях юга Европейской части России для учета вклада в дозу облучения населения от различных факторов и уточнения фоновых значений МАЭД гамма-излучения в регионах. Рассчитать дозовые нагрузки от природных источников ионизирующих излучений и искусственного радионуклида ^{137}Cs в регионах Северного Кавказа.

2. Для степных условий оценить концентрацию и особенности распределения ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs в поверхностном слое почвы (0–10 см) с учетом особенностей рельефа и антропогенной нагрузки на модельных площадках и контрольных участках, расположенных в различных районах Ростовской области.

3. Для горных условий проанализировать удельную активность ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs и ее распределение в поверхностном слое почвы (0–10 см) с учетом особенностей рельефа на модельных площадках и контрольных участках, расположенных в Республиках Адыгея, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкессия и Северная Осетия – Алания.

4. Для степных и горных условий выявить закономерности распределения ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs в почвенных профилях, в том числе и изменение вертикального распределения радионуклидов в почвах со временем.

5. Установить наличие взаимосвязей между удельной активностью ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs в почвах и физико-химическими свойствами почвы (содержание гумуса, гранулометрический состав, уровень pH).

6. Проанализировать удельную активность и особенности распределения ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs в травянистых растениях, лесной (листовой) и степной подстилках, во мхах и плодовых телах грибов на примере Ростовской области и Майкопского района Республики Адыгея.

Фактический материал и методы. В работе использовали данные, полученные в радиоэкологических экспедициях 2000–2021 гг. по Ростовской области, Краснодарскому и Ставропольскому краям, Республикам Северная Осетия – Алания, Адыгея, Карачаево-Черкессия и Кабардино-Балкария. Среди техногенно-измененных территорий особое внимание уделяли 30-километровой зоне наблюдения Ростовской АЭС и природно-техногенной территории Новочеркасской

ГРЭС. Все измерения проводили на современном оборудовании. Использовали радиометрические полевые и лабораторные методики контроля, утвержденные Госстандартом. Всего, в работе было использовано более 50000 измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, 1000 почвенных проб (слой 0–10 см), 250 почвенных разрезов, 50 проб травянистых растений, 350 проб атмосферных аэрозолей, 100 проб мхов (объектов бриофлоры), 100 проб грибов и 70 проб листовой и степной подстилки (опада).

Защищаемые положения:

1. Характер распределения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на равнинных территориях Ростовской области и Краснодарского края однородный и лежит в пределах 0,130–0,140 мкЗв/ч и не зависит от антропогенного влияния. В горных условиях мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения изменяется от 0,100 мкЗв/ч на побережье Черного моря до 0,300 мкЗв/ч в высокогорных районах Кавказа.

2. На степных территориях Ростовской области удельная активность ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в слое 0–10 см в различных типах почв слабо дифференцируется в зависимости от ландшафтно-геохимических условий и почвообразующих пород. Для почв Ростовской области установлены фоновые (эталонные) значения удельной активности естественных радионуклидов: 26,9 Бк/кг, 27,0 Бк/кг и 403,7 Бк/кг для ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K соответственно. Удельная активность ^{137}Cs варьирует в пределах полигона (площадь до 1 га) от двух до десяти раз и обусловлена мезо- и микрорельефом территории.

3. В горных условиях Северного Кавказа при отсутствии развитых склоновых процессов удельная активность ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почвах в слое 0–10 см слабо дифференцируется в зависимости от ландшафтно-геохимических условий и почвообразующих пород. Характер распределения удельной активности искусственного ^{137}Cs неоднородный и обусловлен расположением контрольного участка в рельефе.

4. В распределении искусственного ^{137}Cs по почвенному профилю и в горных, и в степных районах Юга Европейской части России выделяются два типа:

«диффузионный» – максимум удельной активности ^{137}Cs сосредоточен в верхнем почвенном слое (до 15 см) и «промывной» – максимум удельной активности ^{137}Cs смещен вглубь почвенного профиля. «Промывные» профили ^{137}Cs характерны для влажных почв и преобладают в горных районах, «диффузионные» профили распределения ^{137}Cs преобладают в степных районах. Преобладающий характер распределения естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почвенном профиле – равномерный, без значимых вариаций их удельной активности по глубине.

5. Для степных условий в почвенном слое 0–10 см с увеличением содержания гумуса (%) возрастает удельная активность искусственного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{226}Ra и ^{232}Th . С увеличением содержания физической глины и уменьшением содержания физического песка в почвенном слое 0–10 см возрастает удельная активность естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K .

Научная новизна работы:

Впервые:

1. Установлены особенности распределения мощности эквивалентной дозы (МАЭД) гамма-излучения на рекреационных и урбанизированных территориях Ростовской области с учетом степени урбанизации, типа почвы и наличия промышленных предприятий. Показано, что характер распределения МАЭД на равнинных территориях Ростовской области и Краснодарского края однородный и варьируется в пределах 0,130–0,140 мкЗв/ч. В горных районах Северного Кавказа МАЭД изменяется от 0,10 мкЗв/ч на побережье Черного моря до 0,30 мкЗв/ч в высокогорных районах.

2. Определена фоновая удельная активность естественных радионуклидов в зональных и интразональных почвах степных районов Ростовской области, составляющая 26,9 Бк/кг, 27,0 Бк/кг и 403,7 Бк/кг для ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K соответственно.

3. Установлено профильное распределение ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs , в том числе и с учетом положения участка отбора проб в рельефе, в зональных (черноземы, каштановые почвы и бурая лесная почва) и в интразональных почвах (солонец, солончак, луговые, дерново-силикатные, аллювиальные) степных районов

Ростовской области и горных районов Республики Адыгея. Показано, что выделяются два типа вертикального распределения ^{137}Cs : «диффузионный» – с максимумом удельной активности ^{137}Cs в верхнем почвенном слое (до 15 см) и «промывной» – максимум удельной активности смещен вглубь почвенного профиля.

4. Для степных условий на примере Ростовской области установлены взаимосвязи между удельной активностью радионуклидов в почвах и физико-химическими свойствами почвы. Показано, что в почвенном слое 0–10 см с увеличением содержания гумуса (%) возрастает удельная активность искусственного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{226}Ra и ^{232}Th . С увеличением содержания физической глины и уменьшением содержания физического песка в почвенном слое 0–10 см возрастает удельная активность естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K .

5. Дан детальный анализ концентрации (удельной активности) ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в некоторых травянистых растениях, мхах, грибах, подстилке) в регионах Северного Кавказа (Юга Европейской части России) на территориях с различной антропогенной нагрузкой. Для Ростовской области на примере природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС и зоны наблюдения Ростовской АЭС показано, что в растениях на территории Новочеркасской ГРЭС удельная активность ^{226}Ra до 20 раз и ^{232}Th в два раза выше, чем в растениях, отобранных в зоне наблюдения Ростовской АЭС. Удельная активность ^{40}K в растениях, отобранных на различных территориях Ростовской области сопоставима в пределах абсолютной погрешности (20%).

6. Установлены закономерности распределения радионуклидов во образцах мха, отобранного на различной высоте над уровнем моря. Показано, что удельная активность ^{137}Cs во мхах увеличивается с высотой над уровнем моря. Удельная активность естественного ^{226}Ra во мхах максимальна в условиях г. Ростова-на-Дону и обусловлена антропогенным влиянием. Для горных условий на примере Майкопского района Республики Адыгея показано, что удельная активность естественных радионуклидов и искусственного ^{137}Cs уменьшается в ряду почва >

лесная (листовая) подстилка > мхи > грибы, что обусловлено как буферной ролью подстилки на пути поступления поллютантов из атмосферы в почву, так вероятным загрязнением подстилки частицами почвы. Мохообразные могут загрязняться радионуклидами как в результате мокрых и сухих атмосферных выпадений, так и при ветровом подъеме пыли с подстилающей поверхности.

Личный вклад автора. Автор руководила большинством радиоэкологических экспедиций и принимала личное участие в полевых исследованиях 2000–2021 годов по Ростовской области, Краснодарскому краю, в Республиках Адыгея, Карачаево-Черкесия и Кабардино-Балкария для отбора почвенных и растительных проб. Под руководством автора проведены все камеральные исследования, определены удельные активности радионуклидов в отобранных пробах. Автором лично проведено обобщение, анализ и обработка всех полученных данных.

Теоретическая и практическая значимость работы. Определены характеристические (фоновые) значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения для степных регионов Ростовской области, которые могут использоваться в качестве эталонных при мониторинговых радиоэкологических исследованиях.

Определены характеристические (фоновые) значения удельных активностей искусственного ^{137}Cs и естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K) в зональных и интразональных почвах Ростовской области и горных районов Республики Адыгея, которые могут использоваться в качестве эталонных при мониторинговых радиоэкологических исследованиях.

Установлены закономерности радиального и латерального распределения удельных активностей искусственного ^{137}Cs и основных естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K) в зональных и интразональных почвах Ростовской области и горных районов Республики Адыгея.

Показана связь между удельной активностью ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K и физико-химическими свойствами почвы: содержание гумуса, уровень pH и гранулометрический состав.

Практическая значимость работы. Результаты данной работы используются для оценки и учета дозы облучения населения от природных источников

ионизирующего излучения. Получено 29 авторских свидетельств по распределению МАЭД гамма-излучения на территориях Северного Кавказа и 36 авторских свидетельств по удельной активности радионуклидов в объектах окружающей среды. Результаты диссертационной работы активно используются в образовательном процессе при подготовке студентов естественно-научных направлений (14.03.02 – Ядерная физика и технологии, профиль – Радиоэкология. Радиационная безопасность человека и окружающей среды; 06.03.02 – Почвоведение, направленность – Управление земельными ресурсами). Результаты полевых исследований применяются в учебных и производственных практиках, при выполнении выпускных квалификационных работ студентами и аспирантами физического факультета, Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета. В рамках научно-популярного и просветительского экотура «Занимательная радиоэкология» проводятся лекции, экскурсии и выездные полевые практикумы со школьниками с 1-го по 11-е классы, в том числе – занятия проводятся в зоне наблюдения Ростовской АЭС.

Научные программы, в рамках которых были получены результаты диссертации. Диссертационная работа основана на результатах многолетних исследований, выполненных при поддержке грантов, в которых автор выступала в качестве руководителя: ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, проект № 14.A18.21.0633: «Исследование процессов переноса естественных и искусственных радионуклидов в приземном слое воздуха умеренных широт» (2012–2013 гг.). РФФИ. Проект 13-08-01413-а «Влияние внешних и внутренних параметров на процессы распределения токсичных элементов в биогеоценозах Ростовской области» (2013–2015 гг.); внутренний грант Южного федерального университета, проект 213.01-24/2013-23: «Радиоактивность природных и урбанизированных территорий Северного Кавказа» (2013г.); РФФИ. Проект 16-08-20125-г «Всероссийский семинар с международным участием "Радиационная и промышленная экология" (2016).

Программы и гранты, в которых автор выступала в качестве исполнителя. Проекты РФФИ: 12-08-90401-Укр_а «Механизмы образования и

переноса радионуклидов в земной атмосфере» (2012–2013 гг.); 16-05-00930-а «Экспериментальные исследования электрической структуры приземного слоя атмосферы с учётом радона-222 и аэрозолей» (2016–2018 гг.); 20-55-05014-Арм-а «Фиторемедиационный потенциал растений в условиях техногенного загрязнения почв» (2021–2023 гг.); Проекты Министерства науки и высшего образования РФ: №213.01-07.2014/13ПЧВГ «Разработка высокочувствительных гамма- и рентгено-спектрометрических методов диагностики радионуклидов и тяжелых металлов в объектах окружающей среды (почвы, растительность, донные отложения, вода, атмосферные аэрозоли, породы) природных и опасных техногенных систем» (2014–2016 гг.); № 213.01-2014/011-ВГ «Устойчивость веществ и материалов в различных твердотельных состояниях» (2014–2016 гг.); № 3.6439.2017/БЧ «Принципы организации функциональных материалов с тороидальным магнитным упорядочением как основы квантовых запоминающих систем» (2017–2019 гг.); № FENW-2020-0032 (0852-2020-0032) «Экологически чистые материалы для интеллектуальных сенсорных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям» (2020–2022 гг.); Соглашение № 075-15-2022-1122 «Биореставрация загрязненных почвенных экосистем» (2022–2024 гг.), при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета ("Приоритет 2030")".

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях Всероссийского и Международного уровня, в том числе: V Международная научно-практическая конференция по высоким технологиям и фундаментальным исследованиям. Санкт-Петербург, 2008 г.; X Международный семинар по магнитному резонансу (спектроскопия, томография, экология). Ростов-на-Дону, 2010 г.; Международная научная конференция «Экология и биология почв», Ростов-на-Дону, 2014 г.; Международная научно–практическая конференция «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2021», Севастополь, 2021 г. и др.

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано более 350 работ, в том числе 9 статей в журналах Scopus и Web of Science, 11 статей

в изданиях, рекомендованных Диссертационным советом ЮФУ, 43 статьи в изданиях ВАК, получено 65 свидетельств о государственной регистрации баз данных, а также 1 учебник с грифом Министерства образования РФ и 16 учебных и учебно-методических пособий.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 8 глав, выводов, списка литературы и 2 приложений, общий объем 466 страниц машинописного текста. Содержит 113 таблиц и 147 рисунков. Список литературы насчитывает 798 источников, из них на иностранном языке 297.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.5.19. Почвоведение в части «Теоретические и научно-методические проблемы химии почв. Проблемы техногенного и агрогенного химического загрязнения почв и изменения их естественной кислотности, состава почвенного поглощающего комплекса и почвенных водных мигрантов».

Благодарности. За определение содержания гумуса и уровня pH в почвах, оценку элементного состава почвенных образцов, предоставлении растительных объектов из зоны расположения Новочеркасской ГРЭС, определении видового состава отобранных растительных проб и неоценимую помощь в интерпретации полученных результатов выражаю особую признательность коллективу Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. РАДИОАКТИВНОСТЬ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

В данном разделе представлен аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по тематике диссертационной работы.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 1 приведена карта-схема распределения контрольных участков в регионах Юга Европейской части России. Почвы Ростовской области представлены черноземами (в том числе неполноразвитыми), каштановыми и темно-каштановыми почвами, лугово-черноземными почвами, аллювиально-луговыми, лугово-

каштановыми почвами, солонцами и солончаками корковыми. Для большинства почв характерна нейтральная реакция среды, реже – слабощелочная. Почвообразующие породы – преимущественно лессовидные, желто-бурые суглинки и глины. Почвы контрольных участков природных территорий Краснодарского края – черноземы с нейтральной реакцией среды, на глинах, песках и лессовидных суглинках. В горных регионах Северного Кавказа (Республики Адыгея, Карачаево-Черкессия, Кабардино-Балкария и Северная Осетия – Алания изучали альпийские и субальпийские горно-луговые, луговые, аллювиально-дерновые почвы (в поймах рек), дерново-силикатные (ранкеры лесные), дерново-карбонатные, бурые лесные (в том числе примитивные и неполноразвитые) почвы на плотных породах (граниты, песчаники, известняки, аргиллиты и др.). Почвы горных районов характеризуются преимущественно кислой реакцией среды.

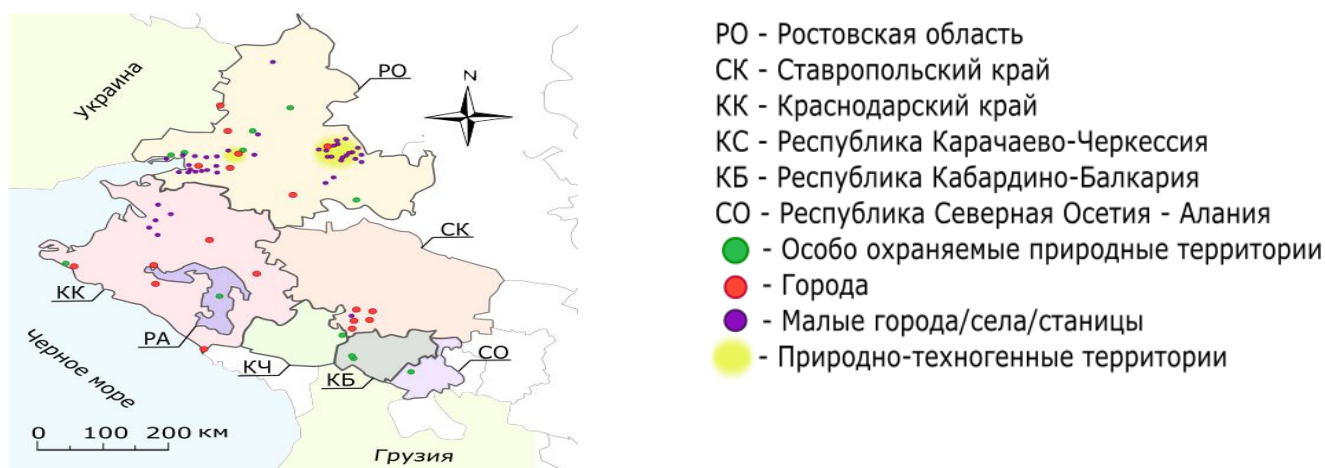


Рисунок 1 – Карта-схема расположения контрольных участков и модельных площадок в регионах Юга Европейской части России

На территории Ростовской области исследования проводили: на 8 КУ в зоне наблюдения Ростовской АЭС, на 12 КУ – на природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС, на 15 КУ – на ООПТ и на 30 КУ в городских и сельских населенных пунктах. На территории Краснодарского края – на 50 КУ в городских и сельских населенных пунктах и на 10 КУ за пределами населенных пунктов, в том числе 3 КУ в урочище Малый Лиман. В Ставропольском крае исследования проводили в городах: Ессентуки, Лермонтов, Кисловодск, Пятигорск и Железноводск. В Республике Адыгея контрольные участки были заложены в Майкопском районе – на трех модельных площадках 35 КУ и 1 КУ на плато

Лагонаки в пределах Кавказского биосферного заповедника. В Республике Северная Осетия – Алания исследования вели на одной модельной площадке (4 КУ), в Республике Карачаево-Черкессия исследования также проводили на одной модельной площадке (6 КУ). В Кабардино-Балкарской Республике было заложено по одному КУ на пиках Чегет и Терскол.

На территории Ростовской области в зоне наблюдения Ростовской АЭС удельную активность радионуклидов анализировали в полыни австрийской (*Artemisia austriaca*), мятлике луговом (*Poa pratensis*), шалфее остепненном (*Salvia tesquicola*), а в пределах природно-техногенной зоны Новочеркасской ГРЭС – отбирали образцы тысячелистника (*Achillea millefolium*), полыни австрийской (*Artemisia austriaca*) и типчака (*Festuca valesiaca*). Образцы мхов не разделяли по видам. Грибы отбирали съедобные и условно съедобные с разделением по виду, в том числе: лисичку обыкновенную (*Cantharellus cibarius*), подберезовик обыкновенный (*Leccinum scabrum*), груздь перечный (*Lactarius piperatus*). В степных районах отбирали травяную подстилку, в лесных районах – листовую подстилку (опад).

ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В полевых условиях МАЭД гамма-излучения измеряли дозиметрами-радиометрами СРП-88н, ДРБП-03 и ДКС-96: в контрольных точках на высоте 2–3 см и 100 см над поверхностью почвы; на модельных площадках – методом пешеходной гамма-съемки на высоте 100 см от поверхности почвы. Все КУ расположены на целинных или залежных почвах. Для оценки горизонтального распределения радионуклидов отбирали поверхностные пробы почв в 5-кратной повторности с глубины 0–10 см. При изучении вертикального распределения радионуклидов пробы почв на участках отбирали из разрезов, полуям и прикопок глубиной от 30 см до 150 см в зависимости от мощности почвы. Образцы почвы отбирали послойно: 0–1, 1–3, 3–5, 5–10, 10–15, 15–25, 25–35 см и далее, слоями по 10 см; либо по почвенным генетическим горизонтам (Ad, A, B, C (R)). На степных и луговых участках с площадок 1,0 м² срезали растительную массу без разделения по видам растений, снимали подстилку (травяной войлок) и почву 0–5 см. В лесных ценозах

отбирали листовую подстилку с разделением ее по степени разложения. Образцы грибов срезали у поверхности почвы, мох снимали с деревьев на высоте не более 1 метра. Травянистую растительность отбирали в период цветения, разделяя на корневую часть, соцветия и листовую часть (стебли).

Почвенные и растительные пробы высушивали при температуре $t=105\text{ }^{\circ}\text{C}$ (либо воздушно-сухим способом). Пробы почв и пород измельчали, просеивали через сито с диаметром ячейки 1 мм. Использовали счетные геометрии Маринелли 1 л, Маринелли 0,5 л, Чашка Петри, Дента 0,02 л (диск высотой 7 мм и диаметром 70 мм) в зависимости от объема пробы. Растительные образцы измельчали до размера частиц не более 1 см.

Удельную активность радионуклидов в образцах измеряли на установках «Прогресс-гамма сцинтилляционный» на основе NaI(Tl) детектора и на спектрометре гамма-излучения с GeHP-детектором (Canberra). Погрешность определения удельной активности радионуклидов в образцах почвы и растений для массовых измерений составляла 20–40%, для уточняющих/проверочных измерений – не превышала 15%. Объемную активность радона в окружающей среде измеряли радиометрами радона Камера-01, РРА-01м-03 и Альфарад+РП. Для определения содержания гумуса в почвах использовали метод Тюрина-Симакова; pH водной вытяжки – ГОСТ 2423-85; гранулометрический состав – ГОСТ 12536-2014. Валовой химический состав почвы определяли на рентгенофлуоресцентных спектрометрах РФС-001 и МАКС-GVM.

Коэффициент перехода радионуклидов из почвы в растение оценивали по соотношению: $\frac{\text{Удельная активность радионуклида в сухом растении (Бк/кг всм)}}{\text{Поверхностное содержание радионуклида в почве (Бк/м2)}}$. Годовую эффективную дозу облучения – по соотношению: $E = Q * T * O * D * 10^{-3}$, где Q – отношение эффективной МАЭД к МАЭД в воздухе, T – количество часов в году (8760 ч), D – мощность дозы излучения (мкЗв/ч) и O – коэффициент занятости при работе вне помещений (0,2) и в помещениях (0,8). Статистический анализ данных проводили с помощью программного обеспечения Exel MsOffice, Origin, Statistica. В первичную описательную статистику входили расчеты минимального, максимального, среднего арифметического, среднего геометрического, модального, медианного значений

исследуемого параметра, а также коэффициентов асимметричности, эксцесса и вариации. Для визуализации больших объемов данных использовали гистограмму (диаграмму распределения численности) и диаграмму «ящик с усами». Для проверки массива данных на нормальное распределение применяли методы Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова. Сравнительный анализ данных проводили при помощи критерия согласия Пирсона χ^2 (хи квадрат), t-критерия Стьюдента. Критерий Фишера применяли для определения однородности дисперсии в выборках. Для оценки взаимосвязей между выборками использовали корреляционный анализ Пирсона.

ГЛАВА 4. РАДИОАКТИВНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

В табл. 1 представлены результаты анализа МАЭД гамма-излучения на природных (ООПТ), природно-техногенных (ПТ) и урбанизированных территориях (У) городских и сельских поселений по данным экспедиций 2000–2021 годов. На распределение МАЭД гамма-излучения на территории исследования в данный момент времени не влияет наличие городских и сельских поселений, развитая промышленность и автомобильный транспорт как в силу значительной вариабельности гамма-фона даже в пределах небольшого участка, так и по причине особенностей измерительной аппаратуры (как правило, аппаратурная погрешность при измерении фоновых значений МАЭД гамма-излучения ($<0,3$ мкЗв/ч) составляет 30–40%). По результатам исследования распределения гамма-фона на ООПТ Ростовской области **фоновым** (эталонным) значением МАЭД можно считать **$0,128 \pm 0,042$ мкЗв/ч** для природных и урбанизированных территорий степных регионов с умеренным континентальным климатом, слаборасчлененным равнинным рельефом, каштановыми и черноземными почвами на глинах и лессовидных суглинках. Значимое влияние на распределение МАЭД оказывает высота над уровнем моря, геологическая и тектоническая характеристики региона исследования, содержание естественных радионуклидов в почвах и подстилающих породах, в том числе эманация радона с поверхности почвы и, возможно,

климатические условия в период исследований (совокупное сочетание температуры воздуха и количества осадков).

Таблица 1 – Средние арифметические МАЭД гамма-излучения в разных регионах Северного Кавказа

Средняя арифметическая МАЭД, мкЗв/ч	Высота над уровнем моря, м	Почвы, геология и тектоника	Регион/Территория
0,109±0,047	0–50	Карболитоземы, осадочные породы (мергели)	Краснодарский край, Новороссийский район, побережье (У)
0,109±0,047	0–50	Карболитоземы, осадочные породы (мергели)	Краснодарский край, Новороссийский район, Урочище Малый Лиман (ПТ)
0,128±0,042	0–100	Черноземы и каштановые почвы, лессовидные суглинки и глины	Ростовская область, (ООПТ)
0,128±0,043	0–100	Черноземы и каштановые почвы, лессовидные суглинки и глины	Ростовская область, (У)
0,135±0,036	0–100	Черноземы и каштановые почвы, лессовидные суглинки и глины	Ростовская область, (ПТ)
0,136±0,042	0–100	Черноземы, лессовидные суглинки и глины	Краснодарский край, степные территории (ПТ)
0,138±0,047	500–600	Бурые лесные, луговые почвы, дерново-силикатные почвы. Гранитоиды, аргиллиты, тектонические разломы	Республика Адыгея, Майкопский район (ПТ)
0,139±0,050	0–100	Черноземы, лессовидные суглинки и глины	Краснодарский край, степные территории (У)
0,146±0,051	1700–1800	Горно-луговые почвы, известняки	Республика Адыгея, плато Лагонаки, (ООПТ)
0,151±0,052	500–800	Черноземы, лакколиты, вулканическая активность	Ставропольский край, города-курорты Кавказских Минеральных вод (У)
0,159±0,042	2000–2100	Горно-луговые почвы, известняки	Республика Карачаево-Черкессия, плато Шаджатмаз (ПТ)
0,214±0,039	2000–2200	Горные лесные почвы, граниты, зоны тектонических разломов	Республика Северная Осетия – Алания, (ООПТ)
0,260±0,060	3050–3150	Горно-луговые почвы, плотные кристаллические породы	Республика Кабардино-Балкария, пики Чегет и Терскол (ПТ)

Влияние загрязненности искусственным ^{137}Cs почв на гамма-фон территорий в рамках данного исследования проследить/подтвердить не удалось, так как все регионы (Ростовская область, Краснодарский и Ставропольский края, Республики Адыгея, Северная Осетия – Алания, Карачаево-Черкесия и Кабардино-Балкария) не подверглись значимому загрязнению территорий ^{137}Cs вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (26 апреля 1986 года). Наши результаты по распределению

МАЭД гамма-излучения на территории Северного Кавказа согласуются и существенно дополняют и расширяют данные различных служб и ведомств РФ (например, Центров эпидемиологии и гигиены региональных отделений Роспотребнадзора РФ).

ГЛАВА 5. УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

5.1 Содержание радионуклидов в почвах Ростовской области

5.1.1 Радионуклиды в верхнем слое почвы особо охраняемых природных территорий Ростовской области

Сведения о радионуклидном составе различных типов почв ООПТ региона исследования позволяют определить характерные фоновые концентрации радионуклидов в таком сложном многофазном объекте как почва. Искусственный радионуклид ^{137}Cs распределен в почвах ООПТ Ростовской области неравномерно (коэффициенты вариации достигают 100%), при его среднем арифметическом значении 21,7 Бк/кг, среднем геометрическом – 13,0 Бк/кг, медианном – 14,2 Бк/кг и модальном значении – 7,5 Бк/кг. Значимые (выше 30%) вариации ^{137}Cs обусловлены влиянием микрорельефа территории, создающего градиенты температуры и влаги, что приводит к значительным перераспределениям данного активного щелочного металла в пределах КУ (модельной площадки или полигона). Основные пятна загрязнений ^{137}Cs пришлось на северную и западную части Ростовской области. В силу неравномерного распределения ^{137}Cs в почвах на территории ООПТ в качестве его «фоновой» концентрации целесообразно использовать средние геометрические или медианные значения удельной активности ^{137}Cs . Особенности водного режима степных территорий Ростовской области (преимущественно непромывного) способствуют тому, что большая часть ^{137}Cs сосредоточена в поверхностных горизонтах (слой 0–10 см) за счет необменной сорбции глинистыми минералами и образования малоподвижных соединений с гумусовыми веществами.

Естественные радионуклиды ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в разных почвах ООПТ Ростовской области (табл. 2) сопоставимы в пределах стандартного отклонения (30%). Количество проб (повторностей) для каждого типа почвы составляло не менее 15 шт.

Таблица 2 – Средние арифметические удельные активности естественных радионуклидов в почвах ООПТ Ростовской области, Бк/кг

Тип почвы	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Чернозем обыкновенный карбонатный мощный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке	24,7	32,4	500,3
Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке	24,6	32,6	426,9
Чернозем обыкновенный карбонатный неполноразвитый на элювии известняка	21,3	24,2	333,5
Чернозем южный карбонатный среднемощный среднесуглинистый каменистый на элювии плотных пород	27,4	38,1	669,2
Темно-каштановая мощная среднесуглинистая на лессовидном суглинке	29,1	33,5	585,2
Тип почвы	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Каштановая среднемощная тяжелосуглинистая солонцеватая почва на желто-буром суглинке	25,7	32,7	531,0
Солонец каштановый корковый тяжелосуглинистый на желто-буром лессовидном суглинке	27,8	38,0	647,5
Лугово-черноземная тяжелосуглинистая почва на лессовидном суглинке	24,7	31,5	451,8
Лугово-болотная почва на аллювиально-делювиальных отложениях	25,2	32,5	461,9
Солончак луговой корковый глубоко профильный карбонатный глинистый на аллювиальных отложениях	23,5	24,1	385,5
Солончак корковый тяжелосуглинистый на аллювиальных отложениях	23,3	25,4	362,1
Аллювиально-луговая глеевая тяжелосуглинистая на аллювиальных отложениях	14,3	15,2	240,8
Средняя арифметическая удельная активность радионуклидов по всем типам почвы	26,9	27,0	403,7

Минимальные удельные активности естественных радионуклидов фиксируются в неполноразвитых почвах, в аллювиально-луговых почвах (с высоким содержанием песка) и в почвах, сформированных на аллювиальных отложениях (преимущественно песчаных). Это обусловлено тем, что песок обладает низкой сорбционной способностью и, как следствие, низкой способностью фиксировать радионуклиды в почвенных горизонтах с высоким содержанием физического песка. Строго подтвердить зависимость удельной активности естественных радионуклидов от типа почвы на ООПТ Ростовской области не удастся как из-за вариаций концентрации ЕРН в пределах одного КУ – до 30–40%, так и высокой погрешностью (20–30%) гамма-спектрометрического метода определения удельной активности радионуклидов.

5.1.2 Радионуклиды в почвах природно-техногенных территорий

Радионуклиды в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС. Вариации ^{137}Cs (табл. 3) в верхнем слое почвы достаточно высокие и уменьшаются со временем как вследствие его естественного распада ($T_{1/2}=30$ лет), так и в результате миграции по почвенному профилю.

Таблица 3 – Удельная активность ^{137}Cs в 0–10 см слое почвы Ростовской АЭС

Параметр	Год			
	2000	2016	2018	2019
Минимум, Бк/кг	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Максимум, Бк/кг	156,1	63,2	54,5	55,3
Среднее арифметическое, Бк/кг	28,6	16,4	14,7	14,7
Среднее геометрическое, Бк/кг	20,3	12,4	11,4	12,5
Стандартное отклонение, Бк/кг	24,9	10,9	10,5	8,3
Коэффициент вариации, %	87	66	71	56
Количество измерений, шт.	253	331	198	193

Основным результатом мониторинговых исследований зоны наблюдения Ростовской АЭС является установление того, что удельная активность ^{137}Cs , полученная в период с 2001 по 2021 года не превышает результатов предпускового мониторинга зоны наблюдения Ростовской АЭС и согласуется с данными надзорных служб. Средняя арифметическая удельная активность естественных радионуклидов на разных КУ составляет 14,7–25,5 Бк/кг, 16,0–30,3 Бк/кг, 319,4–494,3 Бк/кг для ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K соответственно и не изменяется со временем. Минимальные удельные активности ЕРН фиксируются в аллювиально-луговых почвах с высоким содержанием физического песка и, как следствие, с низкой сорбционной способностью.

Радионуклиды в почвах природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС. Удельная активность естественных радионуклидов и искусственного ^{137}Cs в почвах природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС за весь период наблюдений (2012–2017 гг.) (табл. 4) в целом, сопоставима с данными, полученными для почв ООПТ Ростовской области, и не изменяется со временем.

Деятельность Новочеркасской ГРЭС, работающей на угле и газе может привести к увеличению концентрации ЕРН в объектах экосферы, что делает

необходимым регулярный радиоэкологический мониторинг природно-техногенной территории вокруг данного предприятия.

Таблица 4 – Радионуклиды в почвах территории Новочеркасской ГРЭС (п = 115)

Радионуклид	Удельная активность, Бк/кг		
	Минимум	Максимум	Среднее арифметическое
^{226}Ra	9,6±0,7	37,9±2,7	22,3±1,6
^{232}Th	4,7±0,3	46,5±3,3	28,6±2,0
^{40}K	99,4±7,0	648,0±45,4	448,8±31,4
^{137}Cs	1,5±0,1	101,3±7,1	28,7±2,0

5.1.3 Радионуклиды в почвах населенных пунктов Ростовской области

На территории Ростовской области исследования удельной активности почв урбанизированных территорий проводили в городских (Новочеркасск, Цимлянск и Волгодонск) населенных пунктах.

Таблица 5 – Удельная активность радионуклидов в почвах городских населенных пунктов Ростовской области

Параметр	Радионуклид			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Минимум, Бк/кг	0,3	2,8	3,6	18,7
Максимум, Бк/кг	76,9	90,5	112,4	1537,0
Среднее арифметическое, Бк/кг	13,3	21,4	27,3	435,9
Среднее геометрическое, Бк/кг	6,2	19,9	24,9	391,3
Коэффициент вариации, %	100	41	42	44
Стандартное отклонение, Бк/кг	13,4	8,8	11,4	190,8
Количество проб, шт.	285			

Удельная активность естественных радионуклидов и искусственного ^{137}Cs сопоставима с данными, полученными для ООПТ Ростовской области. При этом, в отдельных пробах почвы отмечаются повышенные удельные активности ЕРН. Это может быть обусловлено тем, что почвенные пробы отбирали и в том числе в районе размещения промышленных предприятий г. Новочеркаска и г. Волгодонска и могут быть загрязнены, например, нефтепродуктами.

5.1.4 Сравнительный анализ почв территорий с различной антропогенной нагрузкой

На территориях с различной антропогенной нагрузкой удельные активности естественных радионуклидов совпадают в пределах погрешности (рис. 2). При этом вариации ЕРН в почвах ООПТ значительно ниже. Это обусловлено отсутствием

человеческой деятельности на данных территориях: не встречаются участки, загрязненные различными промышленными отходами, не ведется разработка месторождений, низкая автотранспортная нагрузка и др. При этом, в отдельных пробах почвы фиксируются удельные активности ЕРН в два и более раза превышающие средние арифметические концентрации данных поллютантов (выбросы на рис. 2).

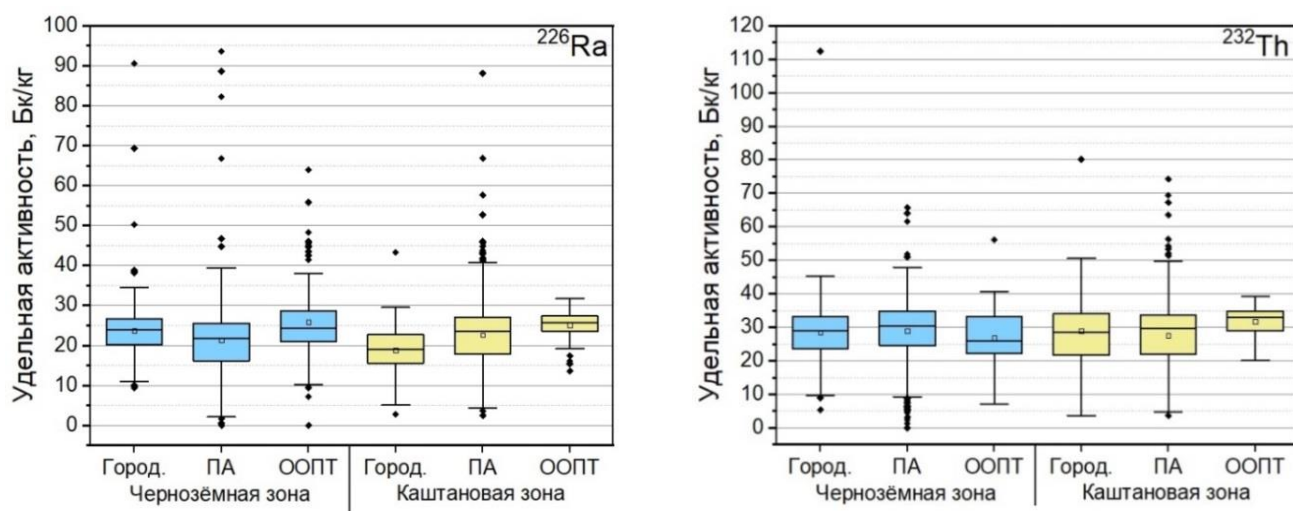


Рисунок 2 – Распределение радионуклидов в черноземах и каштановых почвах с различной антропогенной нагрузкой (Город – почвы городских и сельских поселений, ПА – почвы зоны наблюдения Ростовской АЭС и Новочеркасской ГРЭС, ООПТ – почвы особо охраняемых природных территорий)

Следует подчеркнуть, что необходимо уделять особое внимание локальным участкам с повышенным содержанием ЕРН в почвах для определения источников загрязнения.

5.2 Радионуклиды в почвах горной Адыгеи

В условиях горных территорий влияние на перераспределение радионуклидов в почвах, прежде всего, оказывают особенности рельефа, а для ЕРН – важным фактором является радиоактивность почвообразующих пород. Значимые различия в средних удельных активностях ЕРН в зональных и интразональных почвах региона исследования не фиксируются в силу высокой неопределенности измерений (20-40%) (табл.6). Характер распределения удельной активности ^{137}Cs в верхнем слое почвы неоднородный и варьируется в пределах 0,1–320,5 Бк/кг, при среднем геометрическом и медианном значениях 28,0 Бк/кг и 32,4 Бк/кг соответственно. Максимальные концентрации ^{37}Cs фиксируются в отрицательных элементах

рельефа, на дне ущелий, у подножий склоном и обусловлены смывом данного радионуклида по склону с последующим его переотложением.

Таблица 6 – Средние удельные активности естественных радионуклидов в различных почвах горной Адыгеи, Бк/кг

Тип почвы	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Бурая лесная малогумусная ненасыщенная глинистая на желто-бурой глине	22,3	27,5	326,2
Бурая лесная многогумусная ненасыщенная глинистая на желто-бурой глине	25,7	31,2	355,5
Бурая лесная неполноразвитая ненасыщенная тяжелосуглинистая на элювии аргиллитов	24,5	38,8	578,9
	25,9	34,9	380,6
	89,5	23,0	393,4
Бурая лесная примитивная легкосуглинистая на элювии аргиллитов	29,4	34,6	627,3
Дерново-силикатная лесная (ранкер) среднесуглинистая ненасыщенная на делювии гранитов	26,1	25,3	492,3
Тип почвы	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Луговая ненасыщенная маломощная среднесуглинистая на валунно-галечниковых отложениях	23,6	36,7	428,3
Луговая ненасыщенная глееватая мощная тяжелосуглинистая на валунно-галечниковых отложениях	19,1	31,7	386,0
Аллювиально-дерновая ненасыщенная тяжелосуглинистая на аллювиально-делювиальных отложениях	22,0	24,7	358,7
Аллювиально-дерновая ненасыщенная супесчаная на аллювиально-делювиальных отложениях	28,7	38,0	504,1
Средняя арифметическая удельная активность радионуклидов по всем типам почвы	25,0	30,3	425,1

Вариации концентраций ЕРН в почвах на различных площадках (на примере бурой лесной неполноразвитой почвы) обусловлены антропогенным влиянием – близким расположением Белореченского месторождения баритов и наличием в районе Даховского кристаллического массива локальных участков с повышенным содержанием ЕРН (свалки кернов и отвалы пород).

5.3 Радионуклиды в почвах высокогорных районов Северного Кавказа

Участки, расположенные в высокогорных районах Северного Кавказа, характеризуются горно-луговыми почвами и разнотравной луговой растительностью. Контрольные участки на плато Лаго-Наки и в Национальном парке Алания (табл. 7) характеризуются высокими средними значениями ^{137}Cs (на порядок выше, чем на остальных высокогорных КУ). Подобные результаты могут быть обусловлены особенностями географического расположения КУ, что могло

оказать влияние на перенос радионуклидов чернобыльского происхождения с воздушными массами и привести к формированию локальных пятен ^{137}Cs .

Таблица 7 – Удельная активность радионуклидов в 0–10 слое почвы высокогорных регионов Северного Кавказа (горно-луговые почвы)

Параметр	Радионуклид			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Плато Лаго-Наки, Республика Адыгея (n=16)				
Минимум, Бк/кг	21,3	11,3	12,8	90,3
Максимум, Бк/кг	620,2	62,9	41,9	778,0
Среднее арифметическое, Бк/кг	256,7	23,8	23,1	306,8
Среднее геометрическое, Бк/кг	192,1	21,0	22,0	238,9
Стандартное отклонение, Бк/кг	182,8	14,2	7,9	219,6
Коэффициент вариации, %	71	60	34	72
Плато Шаджатмаз, Республика Карачаево-Черкессия (n=163)				
Минимум, Бк/кг	1,4	13,1	14,5	189,0
Максимум, Бк/кг	42,3	112,1	40,2	831,0
Среднее арифметическое, Бк/кг	18,9	40,6	27,0	413,6
Среднее геометрическое, Бк/кг	17,1	38,3	26,5	403,5
Стандартное отклонение, Бк/кг	7,7	15,2	5,3	96,3
Коэффициент вариации, %	41	37	20	23
Национальный парк Алания, Республика Северная Осетия – Алания (n=16)				
Минимум, Бк/кг	71,1	10,2	10,1	263,0
Максимум, Бк/кг	387,6	30,1	31,1	649,0
Среднее арифметическое, Бк/кг	221,7	18,9	20,8	454,6
Среднее геометрическое, Бк/кг	197,5	18,1	19,9	442,5
Стандартное отклонение, Бк/кг	105,9	5,7	6,3	106,6
Коэффициент вариации, %	48	30	30	23
Пики Чегет и Терскол, Республика Кабардино-Балкария (n=23)				
Минимум, Бк/кг	0,5	18,0	38,8	530,0
Максимум, Бк/кг	167,3	70,1	77,1	1082,0
Среднее арифметическое, Бк/кг	25,5	49,9	61,0	784,0
Среднее геометрическое, Бк/кг	15,0	47,6	59,9	766,7
Стандартное отклонение, Бк/кг	33,9	13,9	11,5	173,0
Коэффициент вариации, %	132	28	19	22

Также, для горно-луговых почв плато Лагонаки и пиков Чегет/Терскол характерно наличие сухоторфянного горизонта, отличающегося высокими сорбционными способностями. Различия в концентрации ЕРН могут быть

обусловлены удельной активностью радионуклидов в почвообразующих породах – на плато Лагонаки и Шаджатмаз – осадочные породы (древние известняки и песчаники с низкими удельными активностями ЕРН), на КУ в Национальном парке Алания – валунно-галечниковые отложения различного генезиса, на пиках Чегет и Терскол – плотные кристаллические породы, в том числе и с повышенным содержанием ЕРН.

ГЛАВА 6. РАДИАЛЬНОЕ И ЛАТЕРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ПОЧВ

6.1 Профили распределения радионуклидов в различных типах почв

6.1.1 Профили распределения ^{137}Cs в различных типах почв Северного Кавказа

Для оценки радиального распределения радионуклидов оценивали почвенные образцы, отобранные по глубине почвенных профилей. Профили распределения ^{137}Cs в различных почвах степных (рис. 3) и горных (рис. 4) территорий исследования представлены ниже.

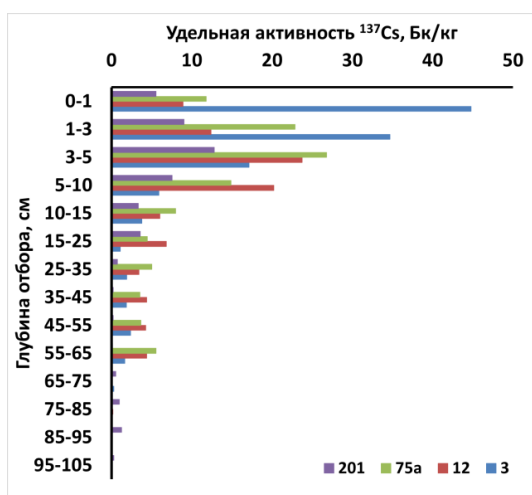


Рисунок 3 – 201 аллювиально-луговая, 12 лугово-каштановая, 3 темно-каштановая, 75a каштановая почва

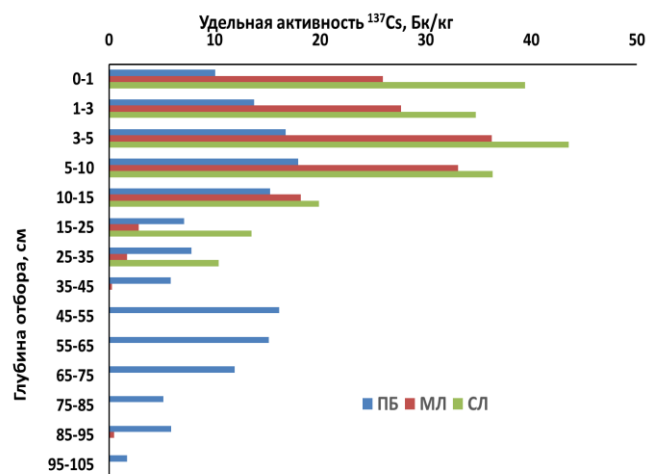


Рисунок 4 – ПБ аллювиально-дерновая, МЛ луговая глеевая, СЛ песчаная, луговая почва

Все исследованные профили распределения ^{137}Cs в почвах горных и степных территорий Северного Кавказа подразделяются на два типа: «диффузионный» – с максимумом удельной активности ^{137}Cs в верхнем слое почвы и резким снижением его содержания с глубиной и – «промывной» – максимум удельной активности цезия смещен в глубь (рис. 4). «Диффузионные» профили ^{137}Cs характерны, в основном, для сухих и полусухих степей. Профили распределения ^{137}Cs «промывного» типа формировались после аварии на ЧАЭС, преимущественно в условиях промывного почвенного режима и наиболее часто фиксируются в горных условиях. Стоит

отметить, что накопление ^{137}Cs в почве происходит в слое максимального скопления сорбирующего материала органического или минерального.

6.1.2 Изменение профилей распределения ^{137}Cs в различных типах почвы Северного Кавказа со временем

Изменение ^{137}Cs в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС. В данной работе основное внимание уделялось оценке изменений профилей распределения ^{137}Cs в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС как его потенциальному источнику в окружающей среде.

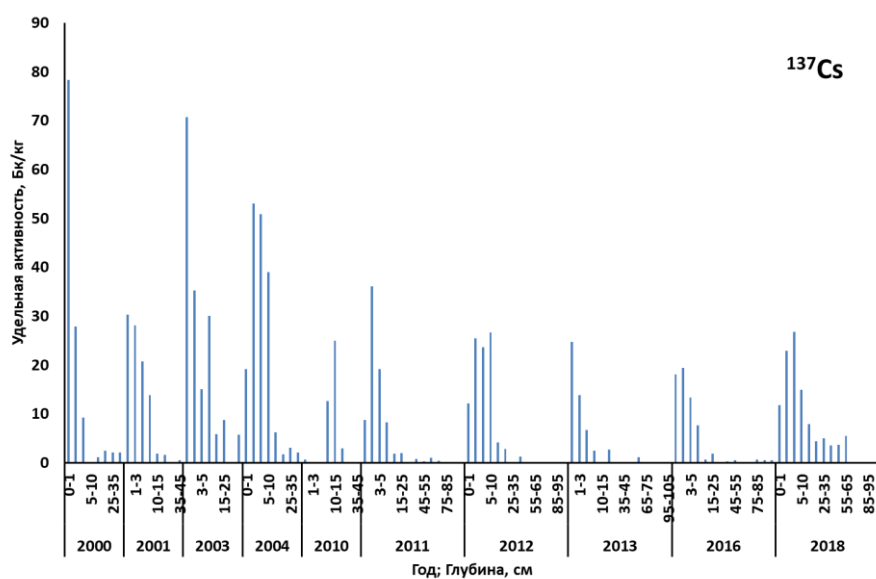
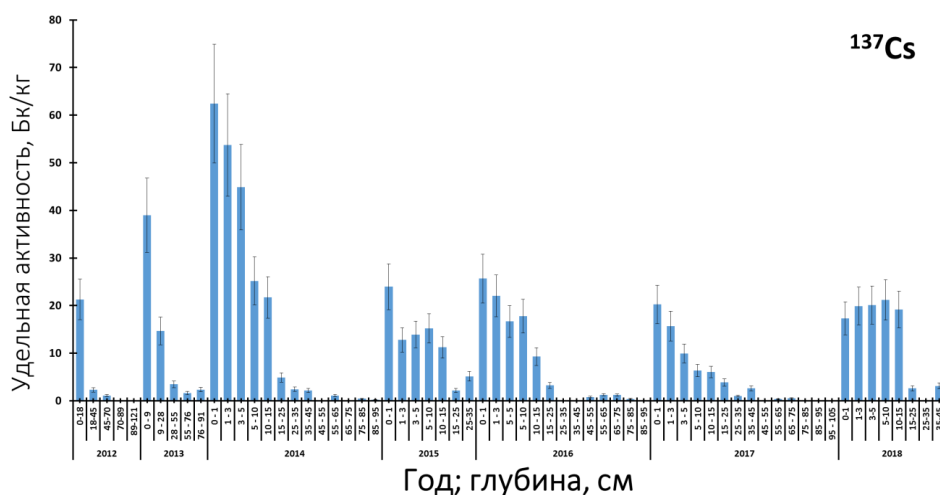


Рисунок 5 – Изменение удельной активности ^{137}Cs в каштановых солонцеватых почвах

Со временем, под влиянием различных, в том числе и климатических факторов, происходит трансформация «диффузионного» профиля ^{137}Cs в «промывной» и наоборот (рис. 5). Чередование длительных засушливых периодов с обильными кратковременными осадками приводят к миграции ^{137}Cs по профилю как за счет капиллярных эффектов, связанных с градиентом температуры почвы (восходящие потоки влаги начинают «поднимать» ^{137}Cs в верхние горизонты почвы) так и в результате растрескивания и пыления почвы в засухи.

Изменение ^{137}Cs в почвах территорий со сложным рельефом на примере Майкопского района Республики Адыгея. Интерес представляют профили распределения ^{137}Cs на территориях со сложным рельефом, обусловленные значительной миграцией радионуклида по склоновым территориям с возможным

его накоплением в понижениях рельефа. На рис. 6, в качестве примера, представлено изменение концентрации ^{137}Cs в бурой лесной почве. Участок расположен на выровненной площадке на пологом склоне в районе ущелья реки Сюк.



территории) характеризуются наличием большого количества обломочного материала, в том числе и с высоким содержанием ЕРН.

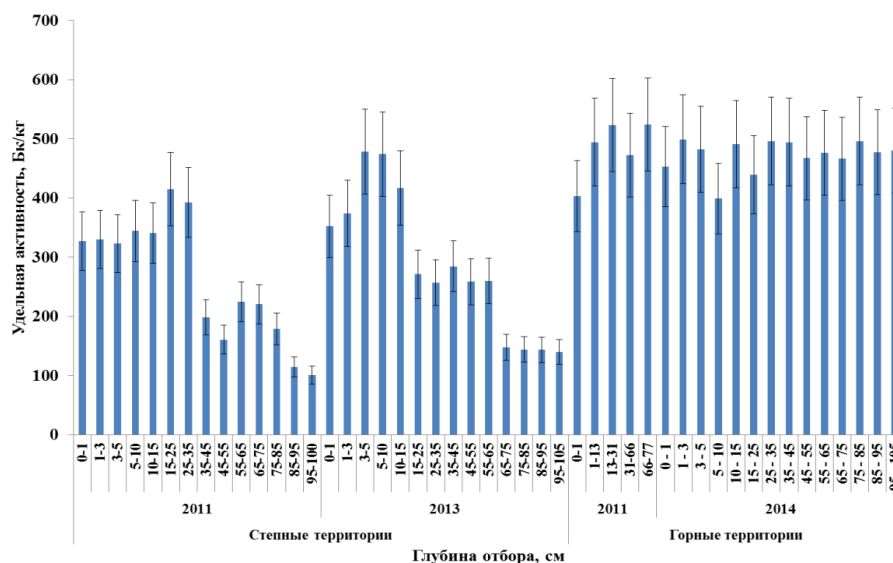


Рисунок 7 – Изменение ^{40}K в почвах степных (аллювиально-луговые почвы) и горных (дерново-аллювиальные почвы) территорий

Повышенное содержание радионуклидов пойме реки Белой может быть объяснено также большей расчлененностью рельефа по сравнению со степной территорией, что влияет на количество поступления смываемого почвенного материала.

6.2 Распределение радионуклидов по элементам рельефа на степных территориях

6.2.1 Распределение радионуклидов по элементам рельефа в Ботаническом саду Южного федерального университета

Для исследования поверхностного распределения радионуклидов в почвах Ботанического сада ЮФУ выбрали два условных разреза, вдоль которых расположены точки отбора поверхностных почвенных образцов. Эти разрезы приведены на рис. 8, вместе с картой почв.

На распределение естественных радионуклидов (рис. 9) по территории Ботанического сада в 0–10 см слое почвы особенности рельефа не оказывают значимого влияния. При этом ^{137}Cs аккумулируется у подножия склона (рис. 9).

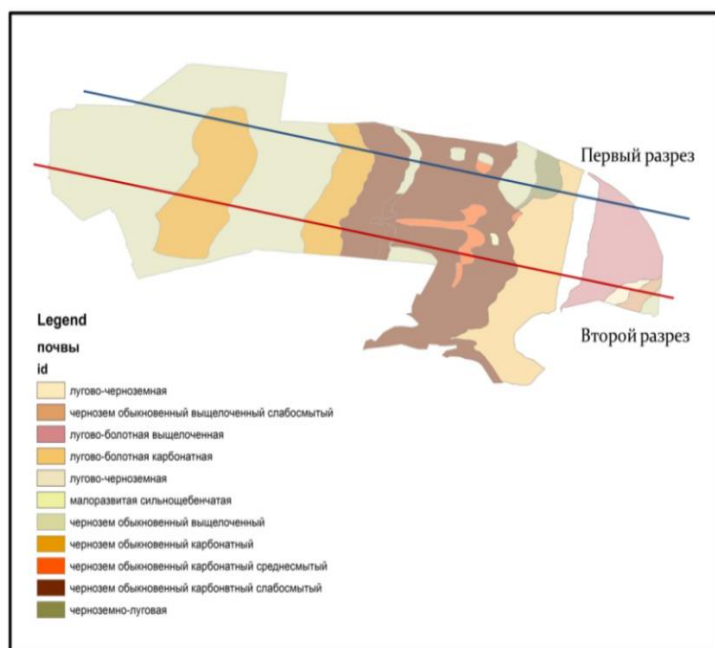


Рисунок 8 – Почвенная карта и разрезы 1 и 2 Ботанического сада ЮФУ

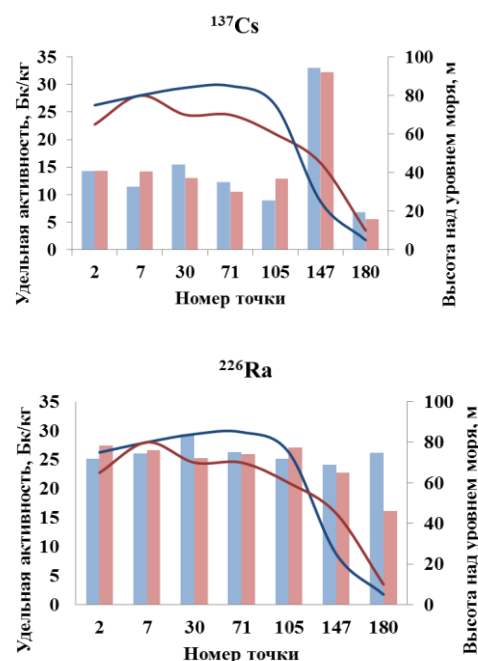


Рисунок 9 – Распределение ^{137}Cs и ^{226}Ra в разрезах 1 и 2 Ботанического сада ЮФУ

6.2.2 Распределение радионуклидов по элементам рельефа в Приазовской степи

Распределение концентрации радионуклидов в зависимости от характера мезорельефа представлен на рис. 10 и рис. 11. Удельная активность ^{137}Cs в слое 0–10 см увеличивается от почвы А к D. Содержание ЕРН в почвах уменьшается от точки А к D, что может объясняться различием в типе почвы и абразионными склоновыми процессами.

Наименьшее содержание ЕРН и максимальное ^{137}Cs наблюдается в аллювиально-луговых почвах (трансаккумулятивная фация), находящихся в пойме р. Мертвый Донец (рис. 11). Это может быть обусловлено прежде всего тем, что песчаные отложения обладают низкой сорбционной способностью и, как следствие, в почвах, сформированных на песчаных аллювиальных отложениях, также будет невысокое содержание данных поллютантов. При этом происходит смыв и переотложение ^{137}Cs у подножия склона. Максимальная концентрация ЕРН характерна для КУ А (элювиальная автоморфная фация).

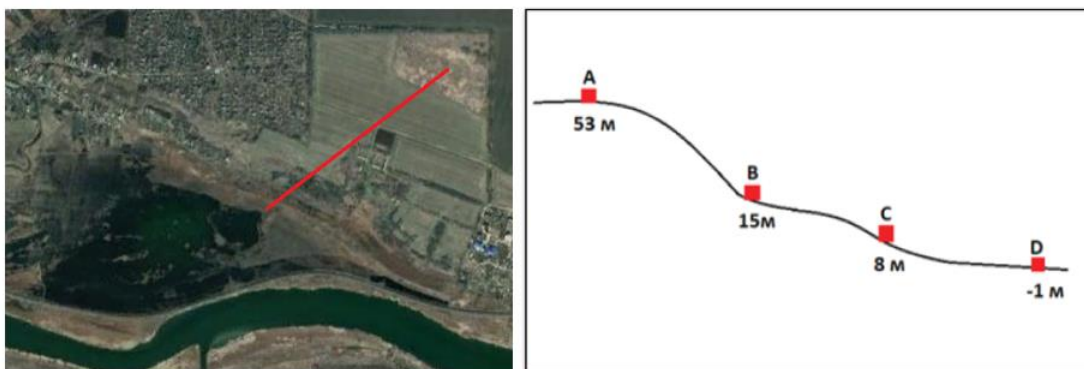


Рисунок 10 – Катена отбора проб почвы и схема рельефа местности в пойме реки Мертвый Донец: А, В – чернозем обыкновенный карбонатный среднесиловой тяжелосуглинистый на желто-бурых лессовидных суглинках; С – чернозем обыкновенный карбонатный террасовый намытый среднесиловой тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках; D – аллювиально-луговая карбонатная мощная тяжелосуглинистая на аллювиальных отложениях.

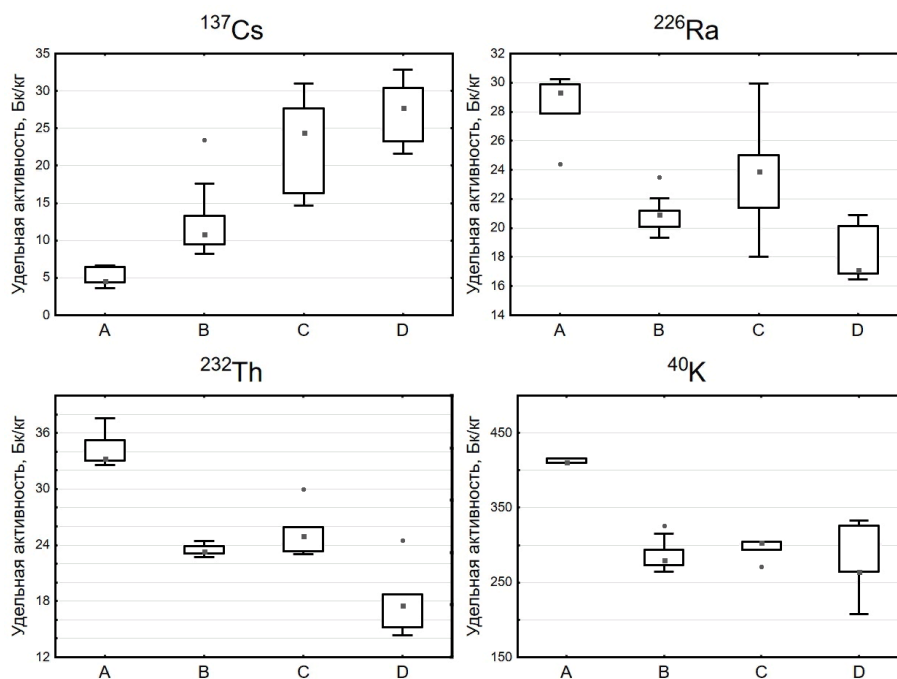


Рисунок 11 – Распределение радионуклидов по элементам рельефа в катене на склоне в пойме р. Мертвый Донец (Мясниковский район, Ростовская область)

6.2.3 Распределение радионуклидов по элементам рельефа в зоне наблюдения Ростовской АЭС

Распределение естественных и искусственных радионуклидов в почвах регионов исследования в значительной мере определяет и развитый микрорельеф. Ниже показано распределение радионуклидов на примере ^{137}Cs (рис.12) и естественного ^{226}Ra (рис. 13) в зависимости от микрорельефа территории в зоне

наблюдения Ростовской АЭС. Отбор проб проводили с шагом 2 м, по оси «х» отложен порядковый номер пробы почвы.

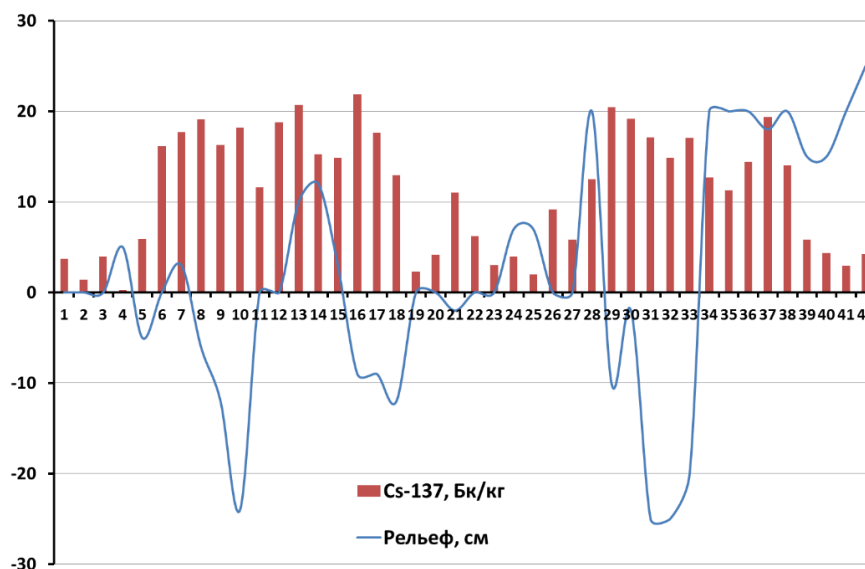


Рисунок 12 – Распределение ^{137}Cs в аллювиально-луговой почве

Вариации удельной активности ^{137}Cs для разных почв в пределах КУ зоны наблюдения Ростовской АЭС составляют от 2 до 20 раз. Распределение ЕРН, в основном, варьирует в пределах 20–50%, а на ряде контрольных участков вариации находятся в пределах погрешности определения удельной активности (в среднем, 10–15% и не более 30%).

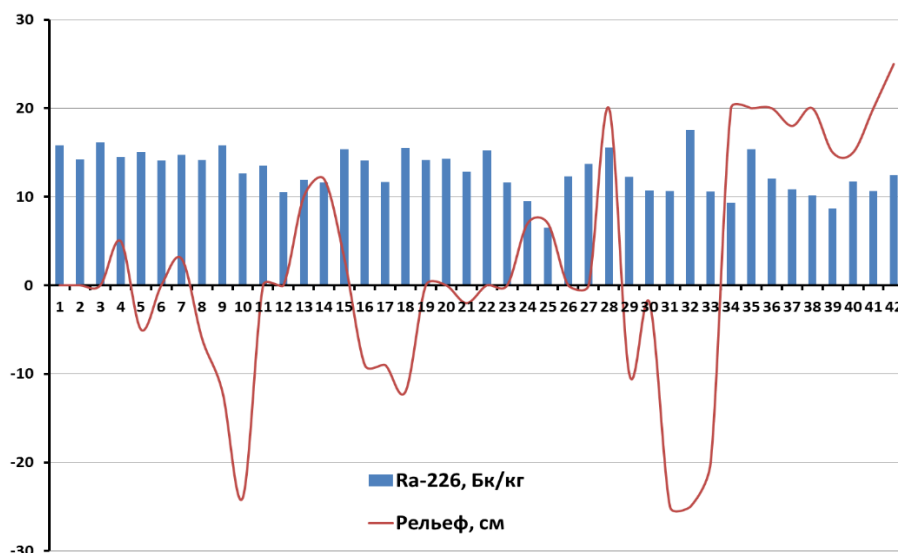


Рисунок 13 – Распределение ^{226}Ra в аллювиально-луговой почве

Удельная активность водорастворимого ^{137}Cs максимальна в понижениях рельефа за счет значительного перераспределения тепла и влаги, а на распределение ЕРН микрорельеф территории значимого влияния, как правило, не оказывает.

6.3 Распределение радионуклидов по элементам рельефа на модельных площадках горной Адыгеи

В качестве примера на рис. 14 представлены профили распределения радионуклидов по склону гранитного ущелья на территории Майкопского района Республики Адыгея (переход от трансэлювиальной к трансаккумулятивной (Л-003) фации).

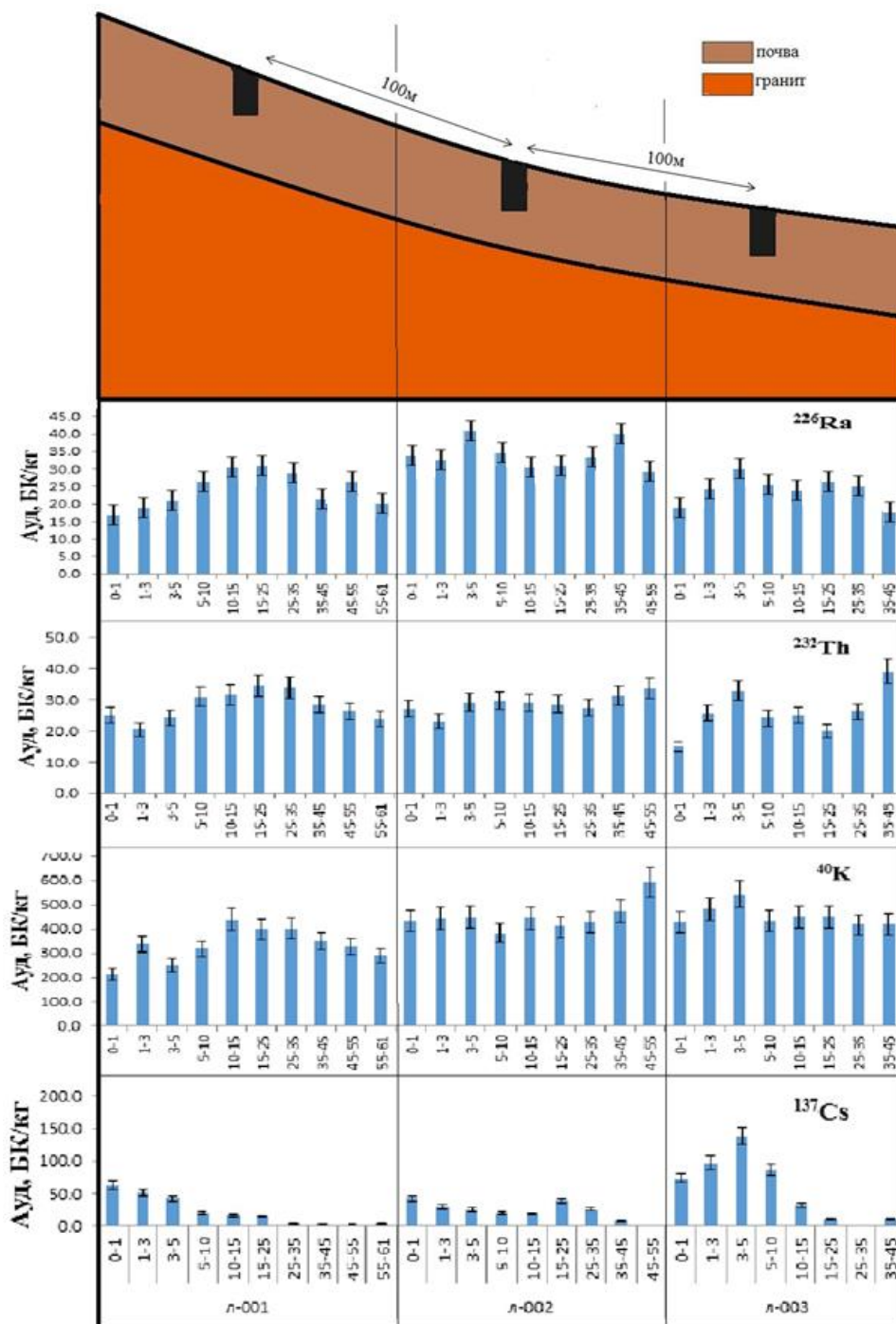


Рисунок 14 – Распределение радионуклидов на почвах, сформированных на гранитах. Склон северо-восточной экспозиции

Тип почв изменяется от бурых лесных неполноразвитых (разрезы на гребне горной гряды и вдоль склона) до дерново-силикатных на элювии гранитов (разрезы

в нижней части ущелья). Увеличение концентрации ЕРН с глубиной обусловлено повышенным содержанием ЕРН в магматических породах (гранитах). Накопление радионуклидов в верхних почвенных слоях может быть связано с сорбционной способностью лесной подстилки (опада), развитой на данном разрезе. На изменение профилей радионуклидов оказывает влияние интенсивное выщелачивание радионуклидов в верхних разрезах, для которых в равной степени характерны водная и ветровая эрозии почв. В результате этих процессов происходит накопление радионуклидов в нижней части склона.

Профили распределения ^{137}Cs на склоне ущелья изменяются со смещением максимума удельной активности в нижележащие слои (рис. 14). При этом ожидаемое повышенное содержание данного радионуклида в профилях на дне ущелья не явное. Это может быть связано с интенсивным выщелачиванием ^{137}Cs из верхних почвенных горизонтов и перераспределением его удельной активности по глубине.

6.4 Зависимость активности радионуклидов в почвах от физико-химических свойств почвы

На рис.15 приведены отношения удельной активности ^{137}Cs в слое 0–10 см в почвах степных территорий к содержанию гумуса (%) и уровнем pH на примере Ростовской области.

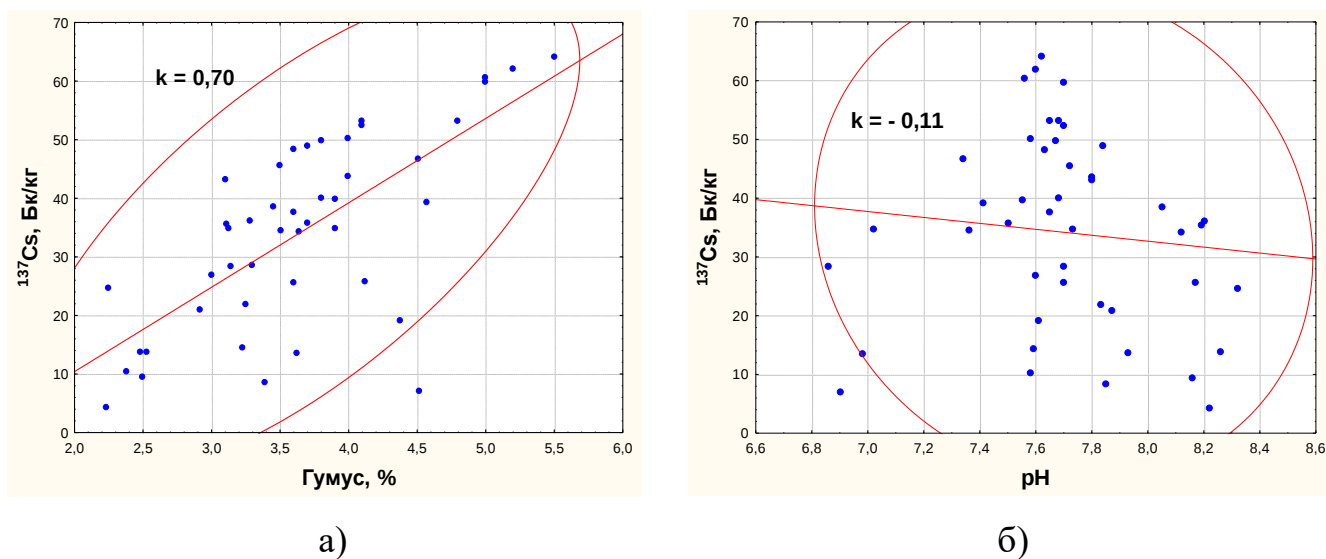


Рисунок 15 – Зависимость содержания ^{137}Cs (слой 0–10 см) от гумуса (а) и уровня pH (б) во всех типах почвы (по данным 2013 года)

Коэффициенты корреляции между концентрацией ^{137}Cs в верхнем слое почвы, гумусом и pH составляют 0,7 и -0,11 соответственно, что может подтверждать сорбционную активность гумуса по отношению к ^{137}Cs (критическое значение корреляции Пирсона для 43 степеней свободы и уровне значимости $P=0,01$ составляет 0,39). Значимая связь между удельной активностью ^{137}Cs и уровнем pH отсутствует. Это обусловлено малой вариацией диапазона pH (все исследуемые почвы отличались нейтральной или слабощелочной реакцией среды с уровнем pH от 6,9 до 8,4). Катионы цезия подвижны и слабоподвижны в окислительной обстановке, а щелочные барьеры препятствуют миграции ^{137}Cs . В целом, для степных территорий накопление ^{137}Cs в почвах обусловлено, в основном, количеством органического вещества в почве: чем больше содержание гумуса, тем лучше сорбируется ^{137}Cs . В общем случае наличие органического вещества снижает подвижность ^{137}Cs в почве. Для ЕРН слабые корреляционные зависимости между удельной активностью радионуклидов и содержанием гумуса наблюдаются только для ^{226}Ra и ^{232}Th (коэффициенты корреляции составляют 0,247 и 0,244 соответственно при критическом значении корреляции Пирсона 0,20).

Таблица 8 – Агрохимические свойства почвы и отношения содержания ^{137}Cs в различных горизонтах к полному содержанию данного радионуклида для горных почв Майкопского района Республики Адыгея

Почва	Гумус в Ad, %	pH	Отношения содержания ^{137}Cs в различных почвенных горизонтах		
			$P_{Ad}/\Sigma P_i$	$P_{Ad+A}/\Sigma P_i$	$P_{max}/\Sigma P_i$
Бурая лесная (БЛВ)	14,64	6,22	0,29	0,46	0,29
Бурая лесная (R8)	4,07	6,56	0,37	0,55	0,37
Горно-луговая альпийская (ЛН)	10,1	4,70	0,83	0,83	0,83
Луговая мощная тяжелосуглинистая (МЛ)	22,6	3,70	0,71	0,93	0,71
Луговая маломощная среднесуглинистая (СЛ)	8,68	5,40	0,59	0,90	0,59
Дерново-силикатная (ранкер) (РЛ)	11,3	6,20	0,31	0,92	0,61
Аллювиально-дерновая (ПБ)	7,7	6,89	0,21	0,21	0,46

Для горных территорий (табл. 8) зависимость удельной активности ^{137}Cs от наличия органического вещества очевидна, но далека от прямой пропорциональности, что вероятно, обусловлено разнокачественностью состава гумуса (например, превалированием в составе многогумусной бурой лесной почвы

кислого грубого гумуса типа модер). В то же время в горно-луговой альпийской, сформированной на элювии известняков, отмечено резкое увеличение коэффициента поглощения. Причина кроется в особенностях фракционно-группового состава гумуса: высокой доли гуматов кальция. Луговые почвы характеризуются достаточно высокими коэффициентами поглощения, а различия в величине рассматриваемого параметра обусловлены совокупностью причин: это и разница в содержании гумуса и более тяжелый гранулометрический состав почвы. Связь процессов поглощения с величиной pH более прямолинейная. Кислая pH способствует росту поглощения/накопления ^{137}Cs , а в нейтральных условиях накопление данного радионуклида снижается (табл.8). Для искусственного ^{137}Cs связь его удельной активности в верхнем слое почвы с содержанием физической глины и физического песка не установлена в силу значительной варибельности данного радионуклида в почвах Северного Кавказа. При этом имеет место устойчивая положительная зависимость между удельными активностями естественных радионуклидов и содержанием физической глины (коэффициенты корреляции для ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K составляют 0,595, 0,747 и 0,683). Это обусловлено высокими сорбционными способностями глинистых почвенных фракций.

ГЛАВА 7. СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ

7.1 Радионуклиды во мхах Северного Кавказа

7.1.1 Удельная активность естественных и искусственных радионуклидов во мхах Северного Кавказа

Удельная активность радионуклидов во мхах, отобранных на различных территориях Юга Европейской части России, достаточно широко варьируется (табл. 9). Распределение радионуклидов во мхах неравномерное, обусловленное разнородностью контрольных участков – высота над уровнем моря, наличие антропогенного влияния, различия в почвенном покрове, климатические условия и запыленность приземной атмосферы (Пронина и др., 2019). Поэтому для оценки уровней удельных активностей ЕРН во мхах целесообразно использовать средние геометрические значения. Так как образцы мохообразных отбирали со стволов деревьев на высоте до 1,5 м, не исключено дополнительное поступление

радионуклидов с почвенной пылью. При этом средние геометрические удельные активности ЕРН во мхах до трех раз ниже, чем средние арифметические концентрации ЕРН в почвах.

Таблица 9 – Радионуклидный состав мохообразных (без дифференциации по регионам Северного Кавказа)

Параметр	Радионуклид			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Минимум, Бк/кг всм	1,0	1,0	0,3	1,0
Максимум, Бк/кг всм	683,6	180,6	105,0	4278,0
Среднее арифметическое, Бк/кг всм	74,5	19,3	17,4	299,0
Среднее геометрическое, Бк/кг всм	40,2	6,6	7,6	147,7
Медиана, Бк/кг всм	39,7	8,5	13,6	237,0
Мода, Бк/кг всм	40,4	1,0	1,0	10,0
Стандартное отклонение, Бк/кг всм	96,7	28,5	19,2	374,3
Количество образцов, шт	193			

7.1.2 Распределение радионуклидов во мхах на различной высоте над уровнем моря

На рис. 20 и 21 представлено высотное распределение радионуклидов в образцах мхов (без разделения по видам) и почвах, отобранных в различных регионах Северного Кавказа (Пронина и др., 2019). Распределение содержания искусственного радионуклида ^{137}Cs во мхах можно связать как с особенностями рельефа районов исследования, так и с неравномерностью выпадения ^{137}Cs на территориях России после испытаний ядерного оружия и аварии на ЧАЭС. Это может быть обусловлено как различным видовым составом изученных мхов, так и различием климатических условий, положением площадки отбора проб в рельефе территорий, периодом отбора, типом почвы и др. (Пронина и др., 2019).

Повышенное содержание ЕРН во мхах отмечается как для условий города Ростова-на-Дону, так и для природных участков высокогорных районов Северной Осетии и Кабардино-Балкарии (Пронина и др., 2019). Для Ростова-на-Дону это связано с работой промышленных предприятий, использующих углеводородное топливо, и с выхлопами автотранспорта (Пронина и др., 2019). В высокогорьях это обусловлено поступлением радионуклидов с частицами пыли из почв, сформированных на изверженных горных породах.

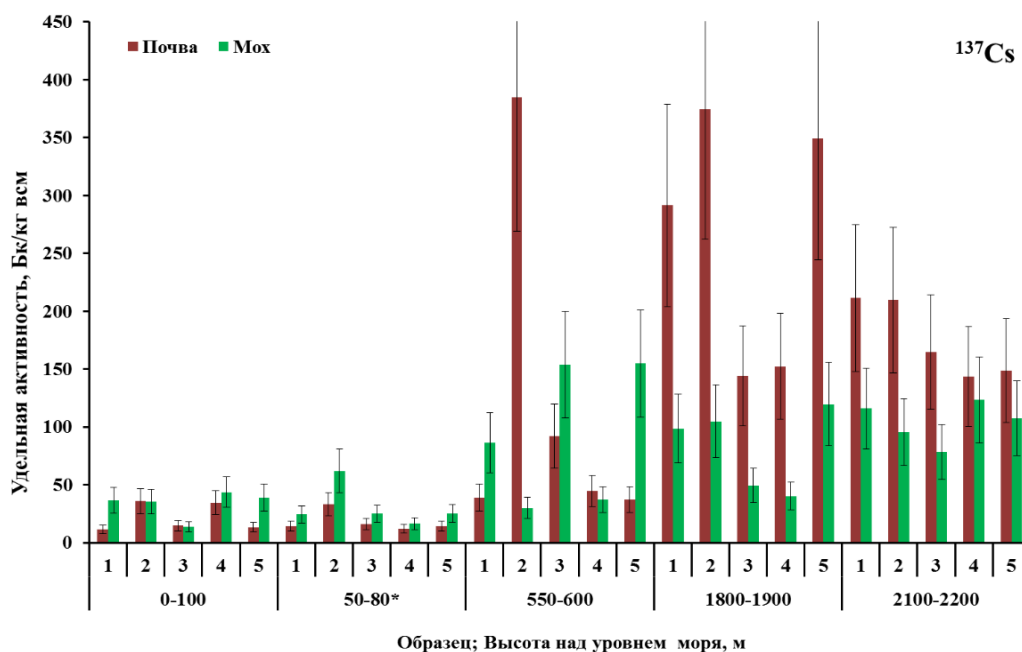


Рисунок 20 – Высотное распределение удельной активности ^{137}Cs во мхах и почве.
*Ростов-на-Дону

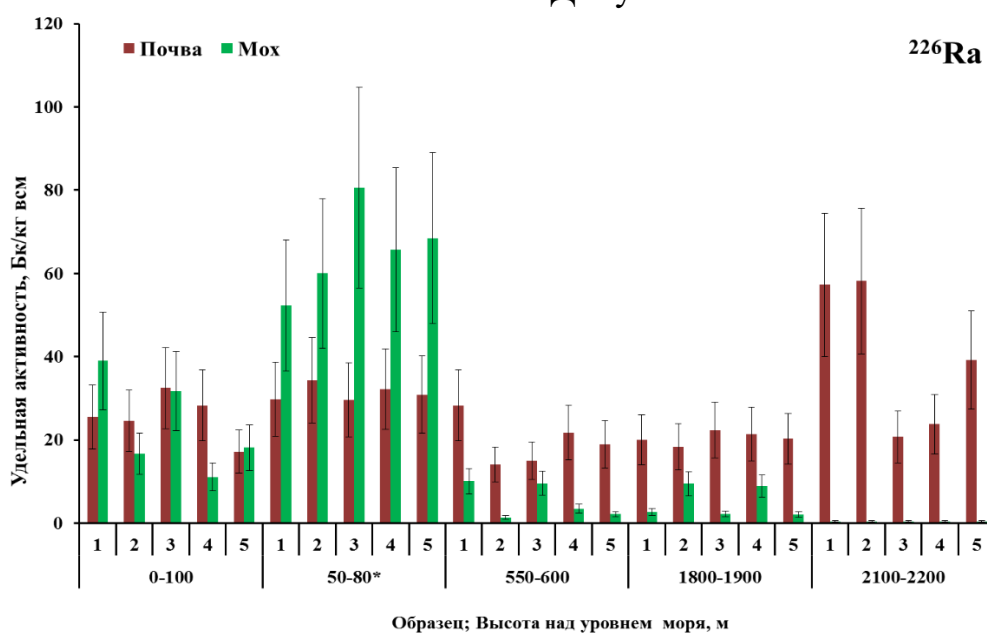


Рисунок 21 – Высотное распределение удельной активности ^{226}Ra во мхах и почве.
*Ростов-на-Дону

7.1.3 Распределение радионуклидов в компонентах экосистем в условиях г. Ростова-на-Дону

Содержание радионуклидов в аэрозольной пыли приземного слоя воздуха определено из объемной активности данных радионуклидов в атмосферных аэрозолях с учетом запыленности атмосферы. Почвы (грунт) отбирали непосредственно возле деревьев, на которых произрастал мох. Тип почвы (грунта) не определяли.

Таблица 10 – Сравнительный анализ удельной активности радионуклидов во мхах (без разделения по видам), почвах и приземном слое воздуха г. Ростова-на-Дону

Радионуклид	Мхи. Удельная активность, Бк/кг всм		Почвы (0-2 см слой). Удельная активность, Бк/кг		Приземный воздух. Удельная активность, Бк/кг пыли	
	Пределы вариации	Среднее	Пределы вариации	Среднее	Пределы вариации	Среднее
^{238}U	<1	–	10-60	30	2-20	8
^{234}Th	200-800	250	160-340	230	130-400	220
^{226}Ra	40-150	100	20-45	26	12-53	26
^{210}Pb	300-2000	700	120-260	230	1000-8000	5000
^{232}Th	23-100	55	15-40	25	2-35	12
^{224}Ra	35-200	85	15-40	25	2-35	13
^7Be	10-120	95	5-20	10	1000-150000	40000
^{40}K	100-1320	820	100-800	350	15-150	75
^{137}Cs	2-60	35	2-55	28	5-11	2
^{241}Am	1-15	7	<1	–	<1	–

Средние содержания ^{234}Th в мхах, почвах и аэрозольной пыли совпадают в пределах погрешности определения (20%). Концентрация ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^7Be во мхах г. Ростова-на-Дону в 2–4 раза выше, чем в почвах. Также ^{226}Ra , ^{224}Ra , ^{40}K , ^{137}Cs и ^{232}Th в растительности превышает их содержания в аэрозольной пыли в 2–10 раз, а для ^{210}Pb и ^7Be ситуация обратная – в приземном воздухе их содержание в ~7 и 50 раз больше, чем во мхах.

7.2 Распределение радионуклидов в травянистых растениях в разных условиях произрастания

7.2.1 Радионуклиды в травянистых растениях в условиях полусухих степей (на примере зоны наблюдения Ростовской АЭС)

Ниже представлены результаты оценки удельной активности радионуклидов в растениях (на примере полыни австрийской и шалфея остепненного) сухостепных регионов зоны наблюдения Ростовской АЭС.

Эти данные (рис. 22) четко продемонстрировали общие закономерности: полынь более предрасположена к накоплению радионуклидов, чем шалфей, особенно это справедливо в отношении ^{40}K . Причем максимальная концентрация этого изотопа калия в полыни обнаруживается на каштановой солонцеватой почве.

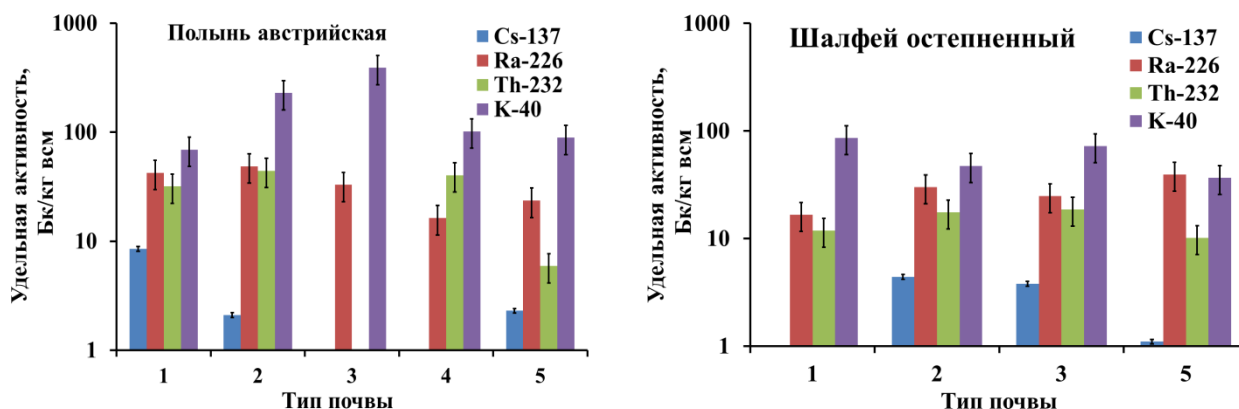


Рисунок 22 – Распределение радионуклидов в травянистых растениях, произрастающих на разных почвах: 1 – Темно-каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 2 – Лугово-каштановая мощная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 3 – Каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 4 – Аллювиально-луговая легкосуглинистая на аллювиальных погребенных отложениях, 5 – Каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на желто-бурых глинах.

7.2.2 Радионуклиды в травянистых растениях в условиях степей (на примере природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС)

Определение радионуклидов в растительных объектах, на примере распространенных на природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС, показало, что на одних и тех же КУ наблюдается синхронное поведение концентраций ^{137}Cs и ^{40}K у различных растений, в том числе, и в отдельных частях растений (рис. 23).

Схожие химические свойства ^{137}Cs и ^{40}K приводят к их конкурентному характеру взаимодействия, в том числе и при поступлении в растения. На рис. 24 представлено распределение ^{226}Ra в органах некоторых видов растений района Новочеркасской ГРЭС. Максимумы концентраций ^{226}Ra в растительности, часто, наблюдаются на участках, располагающихся вдоль северо-восточного направления ветра (КУ 4, 8, 9, 10). В таком случае очевидна роль прямого загрязнения, в первую очередь, поверхности растений данным радионуклидом.

При этом в растениях концентрация ^{226}Ra в корневой части превышает его концентрацию в стебле и соцветии, что говорит о почве как о главном источнике поступления данного радионуклида. Следовательно, в районах расположения

предприятий топливной энергетики необходимо оценивать как воздушное, так и почвенное поступление радионуклидов (в частности ^{226}Ra) в растения.

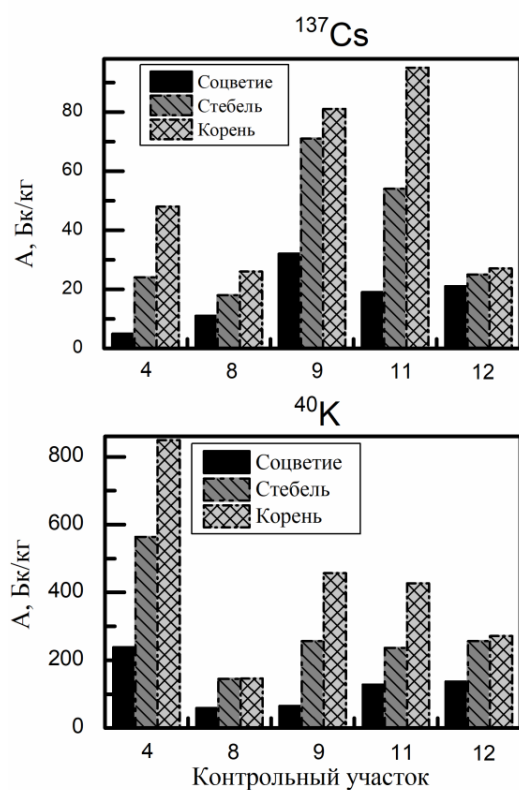


Рисунок 23 – Распределение ^{137}Cs и ^{40}K в органах полыни австрийской

Таблица 11 — Средняя удельная активность радионуклидов в растительной массе без разделения по видам

Радионуклиды	Новочеркасская ГРЭС	Ростовская АЭС
^{137}Cs	62,5	23,1
^{226}Ra	149,6	7,0
^{232}Th	74,7	28,9
^{40}K	608,3	653,5

В целом, в растительной массе на территории Новочеркасской ГРЭС содержание ^{226}Ra в 20 раз и ^{232}Th в два раза выше, чем в растениях, отобранных в зоне наблюдения Ростовской АЭС (табл. 11) и может быть обусловлено воздушным поступлением радионуклидов на территории Новочеркасской ГРЭС.

7.3 Распределение радионуклидов в грибах

Одними из важнейших биоиндикаторов загрязнения почвы являются объекты микофлоры (грибы – в особенности, плодовые тела грибов), так как они способны в

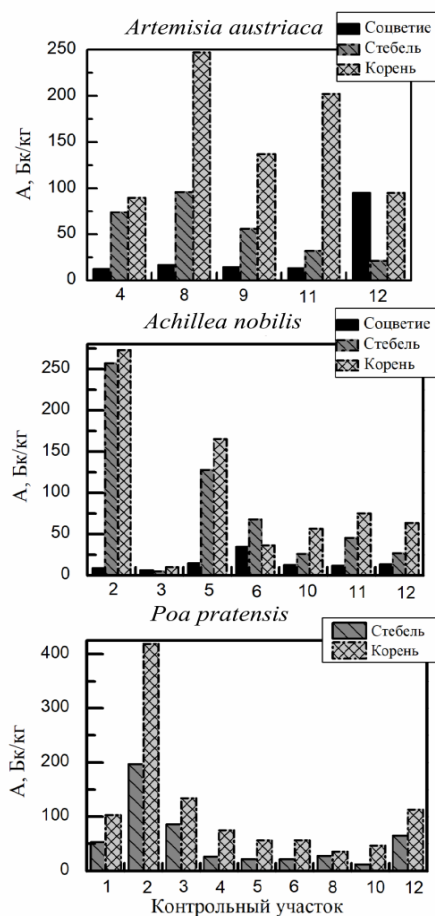


Рисунок 24 – Распределение ^{226}Ra в травянистых растениях

значительных количествах накапливать различные поллютанты, в том числе и радионуклиды.

Таблица 12 – Удельная активность радионуклидов (в высушенной массе, всм) в плодовых телах грибов Майкопского района Республики Адыгея (без разделения по видам)

Параметр	Радионуклиды			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Минимум, Бк/кг всм	0,5	0,5	0,5	1,2
Максимум, Бк/кг всм	1194	2163	823	8919
Средняя арифметическая, Бк/кг всм	70	43	40	1514
Средняя арифметическая в почвах, Бк/кг	35,7	25,0	30,3	425,1
Средняя геометрическая, Бк/кг всм	0,5	1,9	1,0	100,0
Медиана, Бк/кг всм	7,1	0,5	0,9	1145,5
Мода, Бк/кг всм	0,5	0,5	0,5	1,2
Стандартное отклонение, Бк/кг всм	191	201	88	1593
Коэффициент вариации, %	273	467	220	105
Количество образцов, шт	126			

Удельная активность радионуклидов в образцах плодовых тел грибов (табл. 12) распределена крайне неравномерно (коэффициенты вариации более 100%). При этом средние геометрические, модальные и медианные значения удельной активности ^{137}Cs , ^{226}Ra и ^{232}Th в плодовых телах грибов находятся в пределах минимальных детектируемых активностей (пределов определения) и сопоставимы друг с другом. Стоит отметить, что только средняя геометрическая удельная активность ^{40}K всего в три раза ниже его среднего значения в почвах. ^{40}K – биогенный элемент и наряду с ^{137}Cs может достаточно хорошо поглощаться плодовыми телами грибов. Низкие удельные активности радионуклидов в плодовых телах грибов могут быть связаны с тем, что отбирали, преимущественно, плодовые тела грибов возрастом 3–5 дней.

7.4 Распределение радионуклидов в степной и лесной подстилке

Радионуклиды в степной подстилке. Подстилка степных регионов (особенно в зонах наблюдения АЭС) служит буфером на пути поступления радионуклидов в почвы. Концентрации ^{137}Cs и ^{40}K в подстилке сопоставимы с их содержанием в почвах (радий и торий в подстилке в 2–5 раз ниже). Достаточно высокие температуры воздуха и умеренный порывистый ветер в периоды отбора проб могут создавать условия для

пыления почвы. Сильные кратковременные ливни приводят к забрызгиванию растений частицами почвы.

Таблица 13 – Распределение радионуклидов в степной подстилке

Почвы	Радионуклид	Среднее арифметическое Бк/кг	Стандартное отклонение
Лугово-каштановые	^{137}Cs	27,3	27,5
	^{226}Ra	<МДА	<МДА
	^{232}Th	17,3	27,5
	^{40}K	397,0	637,2
Аллювиально-луговые	^{137}Cs	5,5	6,3
	^{226}Ra	19,2	24,5
	^{232}Th	9,9	10,5
	^{40}K	318,4	256,4
Темно-каштановые	^{137}Cs	9,3	12,4
	^{226}Ra	1,3	2,9
	^{232}Th	5,4	7,6
	^{40}K	460,5	432,4

При этом коэффициенты перехода для всех радионуклидов составляли, в основном, менее $0,4 \text{ м}^2/\text{кг}$. На участках с луговой растительностью содержания радионуклидов в подстилке выше, как следствие, и коэффициенты перехода для ^{137}Cs выше, причем значения больше $1,0 \text{ м}^2/\text{кг}$ фиксировались в периоды отбора образцов после кратковременных ливней. Принято считать, что ^{137}Cs слабо мигрирует в растения, поэтому приоритетным фактором поступления радионуклидов в растительную массу можно считать ее механическое загрязнение частицами почвы, пыли как в период дождей, так и в дни с пыльными бурями, характерными для этой зоны.

Радионуклиды в лесной подстилке Лесная подстилка является одним из основных компонентов, куда поступают как естественные, так и искусственные радионуклиды.

Таблица 14 – Удельная активность радионуклидов в лесной (листовой) подстилке

Параметр	Радионуклиды			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Минимум, Бк/кг	0,2	0,3	0,1	9,0
Максимум, Бк/кг	62,7	78,9	68,5	1346,0
Среднее арифметическое, Бк/кг	11,8	15,8	15,0	253,4
<i>Среднее арифметическое в почвах, Бк/кг</i>	<i>35,7</i>	<i>25,0</i>	<i>30,3</i>	<i>425,1</i>
Среднее геометрическое, Бк/кг	7,4	9,3	9,1	172,4
Стандартное отклонение, Бк/кг	1,4	1,8	1,7	24,0
Количество измерений, шт	107			

В среднем удельная активность радионуклидов в лесной подстилке в два раза ниже, чем в почвах. В отдельных пробах встречается обратная зависимость – в подстилке концентрация радионуклидов в 3–5 раз выше, чем в почвах. Это может быть обусловлено положением площадок в рельефе – низинные участки могут загрязняться за счет смыва поллютантов по склонам с осадками, площадки в поймах рек загрязняются за счет привноса радионуклидов в период паводков. Распределение ^{137}Cs и ЕРН в компонентах экосистем на примере Майкопского района Республики Адыгея подчиняется следующей закономерности: в компонентах экосистем горных районов Республики Адыгея удельная активность радионуклидов уменьшается в ряду: почва > лесная подстилка > мхи > грибы (плодовые тела).

ГЛАВА 8. ВКЛАД В ГОДОВУЮ ЭФФЕКТИВНУЮ ДОЗУ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

8.1. Мощность AMBIENTНОГО эквивалента дозы гамма-излучения на различной высоте над уровнем моря

Детально особенности распределения МАЭД в различных регионах Северного Кавказа представлены в разделе 4. Средняя арифметическая МАЭД на КУ возрастает с высотой над уровнем моря от 0,140 мкЗв/ч на территории Ростовской области (0-100 м над уровнем моря) до 0,260 мкЗв/ч на пиках Чегет и Тескол (высота более 3000 м над уровнем моря). Неопределенность измерений МАЭД составляет 30–40%.

8.2. Активность радона в воздухе

Климатические условия региона (температура воздуха, скорость ветра, наличие осадков и пр.) могут способствовать изменению объемной активности радона (^{222}Rn) не только в течение года, но и в течение одного дня. В Ростовской области модельные площадки расположены в районе региональных глубинных разломов земной коры (Цимлянский, Дубовский районы), что способствует повышенной эманации радона с поверхности почвы.

Таблица 15 – Объемная активность ^{222}Rn в воздухе, Бк/м³

Контрольный участок	Среднее арифметическое	Относительная погрешность
Ростовская область, Цимлянский и Дубовский районы	64,4	10,1
Республика Адыгея, Майкопский район	49,6	5,0
Республика Северная Осетия – Алания, Ирафский район	54,9	7,0
Республика Кабардино-Балкария, пики Чегет и Терскол	17,2	0,8

8.3. Дозы облучения населения от различных источников

Доза от естественных радионуклидов. Годовая эффективная доза (ГЭД) от естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K на различных территориях Юга России составляет от 0,05 мЗв (Ростовская область, Республика Северная Осетия – Алания) до 0,11 мЗв (пики Чегет и Терскол).

Доза от ^{137}Cs . ГЭД от ^{137}Cs в почвах региона исследования и составляет для взрослой группы населения от 0,005 мЗв (Республика Кабардино-Балкария) до 0,04 мЗв (Республика Северная Осетия – Алания).

Доза от радона. Наименьшая доза от радона в воздухе на открытой местности и ее вариации зарегистрированы на модельных площадках, расположенных на пиках Чегет и Терскол (0,16 мЗв). Максимальная ГЭД от радона в воздухе и наибольшие ее вариации отмечаются на территории Ростовской области (0,81 мЗв).

Доза от космогенного излучения. Значения годовой эффективной дозы (ГЭД) от космогенного излучения с увеличением высоты над уровнем моря возрастают и становятся близкими к величинам измеренной годовой дозы. В соответствии с НРБ-99/2009, исследуемые мониторинговые площадки относятся к зонам постоянного мониторингового контроля (1–5 мЗв/год). В случае отсутствия расчетных или инструментальных данных о ГЭД от космогенного излучения нормативные документы Российской Федерации рекомендуют учитывать вклад только ионизирующей компоненты и принимать его равным 0,40 мЗв/год.

8.4. Суммарная годовая эффективная доза

Расчетные годовые эффективные дозы от природных источников на открытой местности превышают измеренные до трех раз для разных территорий. Подобные различия могут сказаться и на методах оценки радиационного облучения населения на различных объектах. В настоящей работе не учитывались дозы облучения, получаемые населением внутри помещений (от строительных материалов и газа радона), от питьевой воды и продуктов питания, а также от других источников излучения (например, от медицинской диагностики).

Результаты натурных измерений МАЭД на открытых территориях зависят не только от характера стационарных источников (горных пород, типа грунта,

активности экзогенных геологических процессов и т. д.), но и, в значительной степени, от меняющихся условий (ветровой режим и различные активные склоновые процессы, такие как оползни, камнепады и так далее, что часто встречается в горных районах).

ВЫВОДЫ

1. Характер распределения МАЭД гамма-излучения на степных территориях Ростовской области и Краснодарского края однородный и не изменяется со временем. По результатам исследования распределения МАЭД на ООПТ Ростовской области фоновым (эталонным) значением МАЭД можно считать значение $0,128 \pm 0,042$ мкЗв/ч (среднее арифметическое МАЭД гамма-излучения, полученное при усреднении результатов измерений на всех ООПТ) для природных и урбанизированных территорий степных регионов с умеренным континентальным климатом, слаборасчлененным равнинным рельефом и каштановыми и черноземными почвами на глинах и лессовидных суглинках.

2. В целом средняя МАЭД на природных и урбанизированных степных территориях Юга Европейской части России составляет $0,130\text{--}0,140$ мкЗв/ч и соответствует Нормам радиационной безопасности Российской Федерации (НРБ-99/2009) и Основным санитарным правилам обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). Ее распределение на исследуемых территориях не зависит от наличия населенных пунктов и промышленных предприятий, как в силу значительной естественной вариабельности гамма-фона даже в пределах небольшого участка, так и по причине возможностей измерительной аппаратуры (как правило, аппаратурная погрешность при измерении фоновых величин МАЭД гамма-излучения оставляет 30–40%).

3. Для прибрежных природных и урбанизированных территорий Черного моря фоновое значение МАЭД гамма-излучения составляет $0,109 \pm 0,047$ мкЗв/ч. В качестве фоновой (эталонной) МАЭД гамма-излучения для горных районов Республики Адыгея можно считать величину $0,132 \pm 0,047$ мкЗв/ч при отсутствии выходов/обнажений пород и месторождений полезных ископаемых. Для высокогорных районов Кавказа фоновые значения МАЭД составляют: $0,146 \pm 0,051$ мкЗв/ч (высота над уровнем моря 1700–1900 м, горно-луговые почвы на осадочных породах), $0,159 \pm 0,042$ мкЗв/ч (высота над уровнем моря 2100–2200 м, горно-луговые почвы на осадочных породах), $0,214 \pm 0,039$ мкЗв/ч (высота над уровнем моря 2000–2200 м, горно-луговые почвы на магматических породах) и $0,263 \pm 0,059$ мкЗв/ч

(высота над уровнем моря 3050–3150 м, горно-луговые почвы на плотных кристаллических породах различного генезиса).

4. Влияние загрязнения искусственным ^{137}Cs почв на гамма-фон территорий в рамках данного исследования проследить/подтвердить не удалось, так как все регионы (Ростовская область, Краснодарский и Ставропольский края, Республики Адыгея, Северная Осетия – Алания, Карачаево-Черкесия и Кабардино-Балкария) не подверглись значимому загрязнению территорий ^{137}Cs вследствие аварии на Чернобыльской АЭС (26 апреля 1986 года).

5. В степных условиях (на примере Ростовской области) фоновая удельная активность естественных радионуклидов в верхнем (0–10 см) слое почвы составляет $26,9 \pm 9,8$ Бк/кг для ^{226}Ra , $27,0 \pm 7,8$ Бк/кг для ^{232}Th и $403,7 \pm 127,8$ Бк/кг для ^{40}K . Наличие населенных пунктов и промышленных предприятий не оказывает значимого влияния на удельную активность естественных радионуклидов в почвах Ростовской области. Медианные удельные активности ^{137}Cs в верхнем (0–10 см) почвенном слое составляют 14,2 Бк/кг.

6. В горных условиях (на примере Майкопского района Республики Адыгея) фоновая удельная активность естественных радионуклидов в верхнем (0–10 см) слое почвы составляет $25,0 \pm 6,8$ Бк/кг, $30,3 \pm 8,8$ и $425,1 \pm 114,0$ для ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K соответственно. Медианные удельные активности ^{137}Cs в верхнем (0–10 см) почвенном слое составляют 32,4 Бк/кг.

7. Фоновые усредненные значения удельной активности ^{137}Cs в высокогорных регионах Северного Кавказа в силу его неравномерного выпадения не устанавливались. Сложный рельеф приводит к перераспределению ^{137}Cs в почвах и его накопление за счет переотложения в понижениях как в равнинных, так и в горных условиях. Распределение ЕРН в почвах горных и степных районов Юга Европейской части России слабо дифференцировано в зависимости от расположения КУ в рельефе и от типа почвы.

8. Распределение естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K) в профиле почв степных регионов (черноземов и каштановых почв), как правило, равномерное. Основным фактором, обуславливающим вертикальное изменение концентрации радионуклидов, является гранулометрический состав почв (в отсутствии техногенных источников естественных радионуклидов). В горных районах (почвы дерново-силикатные, бурые лесные, луговые, горно-луговые, аллювиально-дерновые) может отмечаться незначительное увеличение их удельной активности с глубиной, обусловленное повышенной концентрацией естественных

дозообразующих радионуклидов в некоторых почвообразующих породах (элювий гранитов, галечниковые отложения различного генезиса на террасах и в поймах рек).

9. В распределении искусственного ^{137}Cs в профилях почв степных и горных районов Северного Кавказа отмечены следующие закономерности: «диффузионное» распределение – с максимумом удельной активности ^{137}Cs в верхнем слое почвы (до 15 см) и резким снижением его содержания с глубиной и «промывной» тип распределения, отличающийся смещением максимума удельной активности ^{137}Cs по глубине. В отдельных случаях имеет место два максимума данного радионуклида в почвенном профиле на различных глубинах, либо фиксируется равномерное распределение ^{137}Cs по почвенному профилю.

10. В зональных почвах степей (черноземы и каштановые почвы) концентрация естественных радионуклидов (ЕРН) не зависит от содержания гумуса и рН среды, но коррелирует с гранулометрическим составом: обнаружена сильная положительная связь с содержанием физической глины и отрицательная связь – с содержанием физического песка.

11. В компонентах экосистем горных районов Республики Адыгея естественные радионуклиды и искусственный ^{137}Cs распределены следующим образом: удельная активность радионуклидов уменьшается в ряду почва > лесная подстилка > мхи > грибы (плодовые тела), что обусловлено как буферной ролью подстилки на пути поступления поллютантов из атмосферы в почву, так вероятным загрязнением подстилки частицами почвы. Во мхи радионуклиды могут поступать как из почвы при ветровом подъеме пыли с подстилающей поверхности, так и их атмосферы с мокрыми и сухими выпадениями.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science

1. The Specific Activity of the Naturally Occurring Radionuclides and Artificially Produced ^{137}Cs in Soils and Herbaceous Plants of Rostov Oblast / **E. A. Buraeva**, O. S. Bezuglova // *Arid Ecosystems*. – 2023. – Vol. 13. – № 1. – P. 65–72. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1134/S2079096123010031> (дата обращения 30.03.2023).

2. Results Of Long-Term Radioecological Monitoring Of Terrestrial Ecosystems In The Observation Zone Of The Rostov NPP / **E. A. Buraeva**, D. V. Ivankov, N. V. Malomyzheva, V. A. Bobylev, O. S. Bezuglova // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. – 2023. – Vol. 334. – № 1. – P. 84–96. (In Russ.). – Режим доступа: <https://doi.org/10.18799/24131830/2023/1/3841> (дата обращения 13.03.2023).

3. Radioecological Situation on the Territory of Novocherkassk, Rostov Region / **E. Buraeva**, A. Gorbunov, A. Dergacheva, N. Malomyzheva, D. Nevidomskaya, T. Minkina, Yu. Litvinov, Ghazaryan K. // Ecology and Industry of Russia. – 2022. – Vol. 26. – № 8. – P. 48–53. (In Russ.). – Режим доступа: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-8-48-53> (дата обращения 03.09.2022).
4. Activity Concentration of Natural Radionuclides and Total Heavy Metals Content in Soils of Urban Agglomeratio / D. Kozyrev, S. Gorbov, O. Bezuglova, **E. Buraeva**, S. Tagiverdiev, N. Salnik // Springer Geography. – Cham : Springer Science and Business Media, 2022. – P. 111–122. – Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-75285-9_11 (дата обращения 03.08.2022).
5. Climatic Factors of the Radionuclide Composition of Atmospheric Aerosols in Rostov-on-Don / T. A. Mikhailova, E. A. Kaschaeva, K. S. Masharov, **E. A. Buraeva**, Yu. V. Popov, I. A. Verbenko // Atmospheric and Oceanic Optics. – 2021. – Vol. 34. – № 1. – P. 14–18. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1134/S1024856021010085> (дата обращения 03.08.2022).
6. Features of ^{137}Cs distribution and dynamics in the main soils of the steppe zone in the southern European Russia / **E. A. Buraeva**, O. S. Bezuglova, V. V. Stasov, V. S. Nefedov, E. V. Dergacheva, A. A. Goncharenko, S. V. Martynenko, L. Yu. Goncharova, S. N. Gorbov, V. S. Malyshevsky, T. V. Varduny // Geoderma. – 2015. – № 259–260. – P. 259–270. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.014> (дата обращения 03.08.2022).
7. Accumulation of radionuclides by pylaisiella moss (*Pylaisia Polyantha*) under urboecosystem conditions / T. V. Varduni, T. M. Minkina, **E. A. Buraeva**, S. N. Gorbov, S. S. Mandzhieva, G. V. Omel'chenko, E. I. Shimanskaya, A. A. V'yukhina, S. N. Sushkova // American Journal of Applied Sciences. – 2014. – Vol. 11. – No 10. – P. 1735–1742. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.3844/ajassp.2014.1735.1742> (дата обращения 03.08.2022).
8. Content of Cosmogenic ^7Be In The Air Layer At The Ground At Temperate Latitudes / **E. A. Buraeva**, M. G. Davydov, L. V. Zorina, V. S. Malyshevskii, V. V. Stasov // Atomic Energy. – 2007. – Vol. 102. – № 6. – P. 463–468. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s10512-007-0073-4> (дата обращения 03.08.2022).
9. Components OF The Background Of Ge(Li) And Ge Detectors In Passive Shielding / **E. A. Buraeva**, M. G. Davydov, L. V. Zorina, V. V. Stasov // Atomic Energy. 2007. – Vol. 103. – № 5. – P. 895–900. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s10512-007-0142-8> (дата обращения 03.08.2022).

Статьи, опубликованные в изданиях, входящих в Перечни рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК РФ

10. Радионуклиды в верхнем слое почв особо охраняемых природных территорий Ростовской области. / **Е. А. Буряева**, Н. В. Маломыжева, Д. А. Швецова, О. С. Безуглова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2022. – №3(215). – С. 38–44. – DOI 10.18522/1026-2237-2022-3-38-44.
11. Буряева, Е. А. Зависимость вертикального распределения удельной активности ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{137}Cs от физико-химических свойств почв горных и степных ландшафтов / **Е. А. Буряева**, О. С. Безуглова // Агрохимический вестник. – 2022. – №4 – С. 19–26.
12. Распределение радионуклидов в горных почвах (на примере Майкопского района Республики Адыгея) / **Е. А. Буряева**, А. А. Ширяева, О. С. Безуглова // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 4(52). – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/4/st_423.pdf (дата обращения 03.09.2022). – DOI: 10.51419/202124423.
13. Буряева, Е. А. Радионуклиды в почвах высокогорных районов Северного Кавказа [Электрон. ресурс] / **Е. А. Буряева** // АгроЭкоИнфо. – 2022. – № 4(52). – Режим доступа:

http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/4/st_409.pdf (дата обращения 03.09.2022). – DOI: 10.51419/202124409.

14. Бураева, Е. А. Удельная активность радионуклидов в почвах урбанизированных территорий Ростовской области / **Е. А. Бураева** // Живые и биокосные системы. – 2022. – № 40. – Режим доступа: <https://jbks.ru/archive/issue-40/article-3/> (дата обращения 03.09.2022). – DOI: 10.18522/2308-9709-2022-40-3.

15. Особенности распределения радионуклидов в наземных экосистемах каштановой зоны в условиях Ростовской области / **Е. А. Бураева**, О. С. Безуглова, С. Н. Горбов, Д. В. Иванков, Т. А. Михайлова, Е. А. Кащаева, Н. В. Маломыжева, Д. А. Швецова, А. А. Ширяева // Известия высших учебных заведений. Северо-кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2021. – №4. – С. 34–44. – DOI: 10.18522/1026-2237-2021-4-34-44.

16. Удельная активность радионуклидов и их взаимосвязь с валовым химическим составом почв / Д. А. Козырев, С. Н. Горбов, О. С. Безуглова, **Е. А. Бураева**, С. С. Тагивердиев, Г. А. Плахов, Н. В. Сальник // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2021. – №1. – С. 70–80. – DOI 10.18522/1026-2237-2021-1-70-80.

17. Элементный состав некоторых горных и степных почв юга европейской части России / С. Р. Аветисян, **Е. А. Бураева**, Н. М. Новиковский // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2017 – № 3-1. – С. 62–68. – DOI 10.23683/0321-3005-2017-3-1-62-68.

18. ^{226}Ra и ^{232}Th в породах и донных отложениях территории Белореченского месторождения (Большой Кавказ) / Ю. В. Попов, **Е. А. Бураева**, В. С. Нефедов, Е. В. Дергачева, А. А. Гончаренко, Р. А. Цицуашвили // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2015. – №3. – С. 226-229.

19. Оценка генотоксичности окружающей среды урбанизированных территорий с использованием древесно-моховых консорциев (на примере г. Ростова-на-Дону) / Г. В. Омельченко, Е. И. Шиманская, **Е. А. Бураева**, А. К. Шерстнев, В. А. Чохели, А.А. Вьюхина, Т. В. Вардуни, В.А. Середа // Экология и промышленность России. – 2012. – №11. – С. 51–55.

20. Радионуклид ^{210}Pb в атмосферных аэрозолях в приземном слое воздуха и метеопараметры г. Ростова-на-Дону / Л. В. Зорина, **Е. А. Бураева**, М. Г. Давыдов, В. В. Стасов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2008. – №5. – С. 108–118.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЪЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

ООПТ – особо охраняемые природные территории

ЕРН – естественные радионуклид(ы)

ИРН – искусственные радионуклид(ы)

КУ – контрольный участок

МАЭД – мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, мкЗв/ч

МП – модельная площадка

всм – высушенная масса (для образцов растительности, грибов и др.). Например: Бк/кг всм.

МДА – минимальная детектируемая активность