**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**
**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)

**ДИССЕРТАЦИЯ**
на соискание ученой степени
**доктора** биологических наук

Научный консультант:
доктор биологических наук, профессор Безуглова Ольга Степановна

Ростов-на-Дону – 2023

## ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

ООПТ – особо охраняемые природные территории

ОЛ – охраняемый ландшафт

ЕРН – естественные радионуклид(ы)

ИРН – искусственные радионуклид(ы)

РН – радионуклид(ы)

КУ – контрольный участок

МЭД – мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, мкЗв/ч

МАЭД – мощность амбиентного эквивалента дозы, мкЗв/ч

ГЭД – годовая эффективная доза

МП – модельная площадка

ЯТЦ – ядерный топливный цикл

Ауд – удельная активность, Бк/кг

ИИИ – источник(и) ионизирующих излучений

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

МДА – минимальная детектируемая активность (предел определения)

## СОДЕРЖАНИЕ

**ВВЕДЕНИЕ** 7

**ГЛАВА 1. РАДИОАКТИВНОСТЬ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ** 22

*1.1. Источники и пути поступления радионуклидов в объекты окружающей среды* 22

1.1.1. Космогенные радионуклиды 22

1.1.2. Естественные радионуклиды земного происхождения 23

1.1.3. Искусственные радионуклиды 24

*1.2. Радионуклиды в почвах* 25

1.2.1. $^{137}$Cs в наземных экосистемах 25

1.2.2. Естественные радионуклиды в почвах 31

*1.3. Радиоактивность объектов флоры* 36

1.3.1. Содержание радионуклидов в травянистой растительности 36

1.3.2. Радионуклиды в объектах бриофлоры 39

1.3.3. Радионуклиды в грибах 42

1.3.4. Радионуклиды в лесной и луговой подстилках 45

**ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ** 48

*2..1 Контрольные участки и модельные площадки на территории Ростовской области* 48

2.1.1. Особо охраняемые природные территории Ростовской области 48

2.1.2. Зона наблюдения Ростовской АЭС 55

2.1.3. Природно-техногенная территория Новочеркасской ГРЭС 62

2.1.4. Территории городских и сельских поселений Ростовской области 66

*2.2. Контрольные участки и модельные площадки на территории Краснодарского края* 74

2.2.1. Контрольные участки на территориях городских и сельских поселений Краснодарского края 74

2.1.2. Площадка в урочище Малый Лиман 76

*2.3. Контрольные участки и модельные площадки на территории Ставропольского края (Кавказские Минеральные Воды)* 78

*2.4. Контрольные участки и модельные площадки на территории Республики Адыгея* 80
2.4.1. Площадки в Майкопском районе 80
2.4.2. Площадка на плато Лагонаки (Кавказский биосферный заповедник) 90
*2.5. Контрольные участки на территории Республики Северная Осетия – Алания* 92
*2.6. Контрольные участки на территории Республики Карачаево-Черкесия* 93
*2.7. Контрольные участки на территории Республики Кабардино-Балкария* 95
**ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ** 97
*3.1. Дозиметрия территорий и объектов* 97
*3.1. Методики отбора и подготовки проб почвы и растений* 98
3.1.1. Отбор почвенных и растительных проб 98
3.1.2. Подготовка почвенных и растительных проб 100
*3.3. Спектрометрия гамма-излучения на основе сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов* 101
*3.4. Определение физико-химических свойств почвы* 105
*3.5. Статистический анализ и обработка данных* 105
*3.6. Методы расчетов дозовых нагрузок, индексов опасности и степени накопления радионуклидов объектами флоры* 106
3.6.1. Оценка накопления и переноса радионуклидов 106
3.6.2. Оценка дозовых нагрузок 107
*3.7. Дополнительные радиоэкологические исследования объектов окружающей среды для оценки дозовых нагрузок от природных источников ионизирующих излучений* 107
**ГЛАВА 4. РАДИОАКТИВНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ** 110
**ГЛАВА 5. УДЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА** 158
*5.1. Содержание радионуклидов в почвах Ростовской области* 158
5.1.1. Радионуклиды в верхнем слое почвы особо охраняемых природных территорий Ростовской области 159

5.1.2. Радионуклиды в почвах природно-техногенных территорий 173
5.1.3. Радионуклиды в почвах населенных пунктов Ростовской области 189
5.1.4. Сравнительный анализ почв территорий с различной антропогенной нагрузкой 199
*5.2. Радионуклиды в почвах горной Адыгеи* 203
*5.3. Радионуклиды в почвах высокогорных районов Северного Кавказа* 214
**ГЛАВА 6. РАДИАЛЬНОЕ И ЛАТЕРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ПОЧВЫ** 221
*6.1. Профили распределения радионуклидов в различных типах почв* 221
6.1.1. Профили распределения $^{137}$Cs в различных типах почв Северного Кавказа 221
6.1.2. Изменение профилей распределения $^{137}$Cs в различных типах почвы Северного Кавказа со временем 227
6.1.3. Профильное распределение и изменение со временем естественных радионуклидов в различных типах почв Северного Кавказа 246
*6.2. Распределение радионуклидов по элементам рельефа на степных территориях* 251
6.2.1. Распределение радионуклидов по элементам рельефа в Ботаническом саду Южного федерального университета 251
6.2.2. Распределение радионуклидов по элементам рельефа в Приазовской степи 255
6.3. Распределение радионуклидов по элементам рельефа на модельных площадках горной Адыгеи 261
*6.4. Зависимость активности радионуклидов в почвах от физико-химических свойств почвы* 274
**ГЛАВА 7. СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ** 286
*7.1. Радионуклиды во мхах Северного Кавказа* 286
7.1.1. Удельная активность естественных и искусственных радионуклидов во мхах Северного Кавказа 286
7.1.2. Распределение радионуклидов во мхах на различной высоте над уровнем моря 291

7.1.3. Распределение радионуклидов в компонентах экосистем в условиях г. Ростова-на-Дону 304
*7.2. Распределение радионуклидов в травянистых растениях в разных условиях произрастания* 307
7.2.1. Радионуклиды в травянистых растениях в условиях полусухих степей (на примере зоны наблюдения Ростовской АЭС) 307
7.2.2. Радионуклиды в травянистых растениях в условиях степей (на примере природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС). 312
*7.3. Распределение радионуклидов в грибах* 317
*7.4. Распределение радионуклидов в степной и лесной подстилках* 319
**ГЛАВА 8. ВКЛАД В ГОДОВУЮ ЭФФЕКТИВНУЮ ДОЗУ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОТКРЫТОЙ МЕСТНОСТИ** 326
*8.1. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на различной высоте над уровнем моря* 327
*8.2. Активность радона в воздухе* 329
*8.3. Дозы облучения населения от различных источников* 331
*8.4. Суммарная годовая эффективная доза* 337
**ВЫВОДЫ** 339
**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ** 342
**ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ПОЛУЧЕННЫХ В РАМКАХ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ** 450
*П1.1 Распределение мощности эквивалентной дозы на природных и урбанизированных территориях Северного Кавказа* 450
*П1.2 Радионуклидный и элементный составы объектов окружающей среды* 456
**ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНЫХ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОСОБИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В РАМКАХ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ** 464
*П2.1. Учебник* 464
*П2.2. Учебные пособия* 464
*П2.3. Учебно-методические пособия* 464

# ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** В настоящее время накоплен огромный объем сведений по концентрации (удельной активности) и особенностям распределения радионуклидов естественного и искусственного происхождения в почвах и в системе почва-растительность. Особый интерес к радиоактивности наземных экосистем вызван последствиями испытаний ядерного оружия и аварий (инцидентов) на радиационно опасных объектах (преимущественно на атомных электростанциях).

Несмотря на многочисленные публикации в области радиоэкологии, радиационной безопасности человека и окружающей среды, остается множество вопросов при решении задач по моделированию процессов переноса радионуклидов в экосистемах и на границах раздела сред. Сложность в моделировании распределения и переноса радионуклидов в природных системах и в особенности в наземных экосистемах (в том числе в системе почва-растительность) заключается в учете множества факторов, которые влияют на транспорт поллютантов в окружающей среде. К таким факторам относятся свойства почвы (химический и гранулометрический составы почвы, содержание гумуса и уровень pH, химические и физические свойства поллютантов), климатические особенности региона (количество осадков, температура воздуха, скорость и направление ветра), особенности рельефа территории, растительный покров, биотурбация и антропогенное вмешательство.

Ряд факторов (биотурбация, вынос растительностью) сложно оценить количественно, что затрудняет интерпретацию профилей распределения радионуклидов в почвах и их временную динамику. Для оценки свойств почвы и форм нахождения поллютантов в экосистеме требуются значительные временные затраты и серьезное аппаратурное оснащение исследовательских центров.

При оценке распределения в экосистемах такой вероятностной величины, как активность радионуклидов, возникают проблемы методологического характера: регистрация квантов, излучающих в низкоэнергетической (до 100 кэВ) области спектра, учет самопоглощения ионизирующего излучения в анализируемом образце

(Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева, 2005в), особенности отбора и подготовки проб почвы, растительности и многие другие (например: Щеглов, 2000; Бураева, 2005б; Линник, 2008; Орлова и др., 2015; Коробова, 2016; Линник и др., 2017).

Объекты флоры, мхи, лишайники и грибы не только зарекомендовали себя как хорошие индикаторы радиоактивности окружающей среды, но и применяются при оценке загрязненности экосистем тяжелыми металлами (Malikova et.al., 2019). При этом при оценке радиоактивности растительных объектов желательно учитывать содержание и распределение радионуклидов в почвах, их дифференциацию на территориях исследования (Линник, 2008) и физиологические особенности травянистых растений, мхов, грибов и других живых объектов (Щеглов, 2000; Орлова и др., 2015; Коробова, 2016).

Несмотря на то, что в мировых научных изданиях представлен огромный объем данных по удельной активности, распределению и поведению искусственных и естественных радионуклидов в компонентах окружающей среды (почвы, донные отложения, приземный слой воздуха, растительность, мхи, грибы, вода), эти сведения достаточно отрывочны и разрозненны. Значительное количество публикаций по активности искусственных радионуклидов приурочено к территориям, пострадавшим в результате аварий на предприятиях ядерного цикла, а по естественным радионуклидам – к зонам наблюдения предприятий топливной энергетики, месторождениям полезных ископаемых и участкам с природными радиоактивными аномалиям (например: Мосинец и Грязнов, 1983; Гиршфельд и Морозов, 1986; Garba et al, 2014; Đurašević et al, 2014; Rodriguez et al, 2014; Bilici et al, 2019).

Концентрация, распределение и поведение радионуклидов в почвах и в системе почва-растение используется для оценки дозовых нагрузок на население и окружающую среду от природных источников ионизирующих излучений, оценки изменения природного уровня радионуклидов в результате деятельности человека в различных, в том числе и мониторинговых, исследованиях в зонах наблюдения предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), а также для изучения эрозии почвы

(например: Титаева и др, 1978; Скрипников, 2016; Wells et al, 2019; Sobakin et al, 2019).

В регионах Российской Федерации и странах ближнего зарубежья непрерывные радиоэкологические исследования в основном приурочены к зонам размещения радиационно опасных объектов (НПО Тайфун, 2022), территориям, пострадавшим в результате аварии на Чернобыльской АЭС и Кыштымской аварии (например: Алексахин и др., 1990; Щеглов, 2000; Sobakin et al, 2019; Дерягин и др., 2015; Дерягин и др., 2021), к местам испытаний ядерного оружия (например: Савицкий, 2015; Sobakin et al, 2019). Поэтому сведения о содержании (концентрации) естественных и искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды в регионах Юга России (Северного Кавказа), либо отсутствуют, либо являются эпизодическими. Оценка особенностей распределения удельной активности естественных радионуклидов в почвах и породах на отдельных территориях Северного Кавказа, высокогорных районов Большого Кавказа и в почвах Терско-Кумской низменности представлена только в работах Т. А. Асваровой с соавторами и Маликова В.Г. с соавторами (например: Маликов и др., 1988а; Маликов и др., 1988б; Асварова и др., 2012; Асварова и др., 2013; Асварова и др., 2014а; Асварова и др., 2014б; Абдулаева и Асварова, 2014а; Абдулаева и Асварова, 2014б; Маммаев и др., 2015).

**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 использовались данные, полученные в радиоэкологических экспедициях 2000–2021 годов в Ростовской области, Краснодарском и Ставропольском краях, Республиках Северная Осетия – Алания, Адыгея, Карачаево-Черкесия и Кабардино-Балкария. Среди техногенно измененных территорий особое внимание уделялось г. Ростову-на-Дону, 30-километровой зоне наблюдения Ростовской АЭС и природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС.

Все измерения проводились с применением современной аппаратуры, прошедшей метрологическую аттестацию по методикам, утвержденным

Госстандартом. Применялся широкий спектр радиометрических и спектрометрических полевых и лабораторных методов.

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 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 изменятся 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 изменятся 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 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. По распределению мощности эквивалентной дозы гамма-излучения получены 29 авторских свидетельств о регистрации баз данных.

Распределение искусственного $^{137}Cs$ и естественных радионуклидов в объектах окружающей среды (почвы, приземный слой воздуха, донные отложения, растения, мхи и подстилка) используются для оценки влияния различных предприятий (в том числе и ядерной топливной энергетики) на природные и техногенные экосистемы. В рамках выполнения диссертационного исследования получены авторские свидетельства о регистрации баз данных, посвященных содержанию радионуклидов в почвах, растительности, атмосферных аэрозолях, породах и донных отложениях. Дополнительно изучался элементный состав почв и приземного слоя воздуха для комплексной оценки состояния экосистем Северного Кавказа. Всего получено 36 авторских свидетельств о регистрации баз данных.

Результаты диссертационной работы активно используются в образовательном процессе при подготовке студентов естественно-научных направлений (14.03.02 – Ядерные физика и технологии, профиль – Радиоэкология. Радиационная безопасность человека и окружающей среды; 06.03.02 – Почвоведение, направление – Управление земельными ресурсами). Также, 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 ходе выполнения диссертационного исследования подготовлены и опубликованы учебник, учебные и учебно-методические пособия.

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:

– Федеральная целевая программа «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы. Соглашение на предоставление гранта от 17 августа 2012 г. № 14.A18.21.0633 с дополнительным соглашением от 18 марта 2013 г. №1. Проект «Исследование процессов переноса естественных и искусственных радионуклидов в приземном слое воздуха умеренных широт». Сроки выполнения: 2012–2013 гг.

– Российский фонд фундаментальный исследований. Проект 13-08-01413-а «Влияние внешних и внутренних параметров на процессы распределения токсичных элементов в биогеоценозах Ростовской области». Сроки выполнения: 2013–2015 гг.

– Внутренний грант Южного федерального университета. Регистрационный номер НИР: 213.01–24/2013-23. Проект «Радиоактивность природных и урбанизированных территорий Северного Кавказа». Сроки выполнения: 01.05.2013 – 15.12.2013.

– Российский фонд фундаментальный исследований. Проект 16-08-20125-г «Всероссийский семинар с международным участием "Радиационная и промышленная экология"». Сроки выполнения: 2016 г.

**Программы и гранты, в которых автор выступала в качестве исполнителя:**

– Российский фонд фундаментальный исследований. Проект 05-08-01201-а «Исследование процессов переноса и миграции радионуклидов в объектах экосферы и на границах их раздела». Сроки выполнения: 2005–2007 гг.

– Внутренний грант Южного федерального университета. Регистрационный номер НИР**:** 1-К-11-22. Проект «Актуальные задачи физики, астрономии и химии». Сроки выполнения: 29.04.2011 – 30.09.2011.

– Российский фонд фундаментальных исследований. Проект 12-08-90401-Укр_а «Механизмы образования и переноса радионуклидов в земной атмосфере». Сроки выполнения: 2012–2013 гг.

– Проектная часть внутреннего гранта Южного федерального университета. Проект №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». Сроки выполнения: 2014–2016 гг.;

– Базовая часть внутреннего гранта Южного федерального университета. Проект № 213.01-2014/011-ВГ «Устойчивость веществ и материалов в различных твердотельных состояниях». Сроки выполнения: 2014–2016 гг.

– Российский фонд фундаментальных исследований. Проект 16-05-00930-а «Экспериментальные исследования электрической структуры приземного слоя атмосферы с учетом радона-222 и аэрозолей». Сроки выполнения: 2016–2018 гг.

– Базовая часть государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации № 3.6439.2017/БЧ «Принципы организации функциональных материалов с тороидальным магнитным упорядочением как основы квантовых запоминающих систем». Сроки выполнения: 2017–2019 гг.

– Государственное задание Минобрнауки России в сфере научной деятельности проект № FENW-2020-0032 (0852-2020-0032), тема «Экологически чистые материалы для интеллектуальных сенсорных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям», в рамках тематики исследования «Экологически чистые материалы для инновационных мультифункциональных систем: от цифрового дизайна к производственным технологиям», внутренний номер БАЗ0110/20-3-07ИФ. Сроки выполнения: 2020–2022 гг.

– Российский фонд фундаментальных исследований. Проект 20-55-05014-Арм-а «Фиторемедиационный потенциал растений в условиях техногенного загрязнения почв». Сроки выполнения: 2021–2022 гг.

– Мегагрант для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых Министерства науки и высшего образования РФ «Биореставрация загрязненных почвенных экосистем», соглашение № 075-15-2022–1122. Сроки выполнения: 2022–2024 гг.

**Апробация работы:** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях:

– Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-12 – ВНКСФ-26), 2008–2021 гг.;

– IV–V Научно-практическая конференция с международным участием «Экологические проблемы. Взгляд в будущее», г. Ростов-на-Дону – СОЛ «Лиманчик», 2007 г., 2008 г.;

– V Международная научно-практическая конференция по высоким технологиям и фундаментальным исследованиям, г. Санкт-Петербург, 2008 г.;

– Всероссийская научная конференция «Природные минеральные сорбенты Юга России и перспективы их использования», г. Ростов-на-Дону, 22–24 октября, 2009 г.;

– X Международный семинар по магнитному резонансу (спектроскопия, томография, экология), 2–7 марта, г. Ростов-на-Дону, 2010 г.;

– X Международная научно-практическая конференция «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности»,, г. Санкт-Петербург, 9–11 декабря 2010 г.;

– I Международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы природных и антропогенных территорий», г. Чебоксары, 2011 г.;

– IV Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины», г. Ростов-на-Дону, 22–25 сентября, 2011 г.;

– II Ростовский молодежный научно-практический форум «Молодежная инициатива – 2011», г. Ростов-на-Дону, 13 мая 2011 г.;

– Всероссийская молодежная конференция «Современные проблемы почвоведения и природопользования Сибири», г. Томск, 2012 г.;

– Всероссийская молодежная научная школа «Актуальные проблемы физики», г. Таганрог, г. Ростов-на-Дону, 19–21 сентября 2012 г.;

– Всероссийская научно-практическая конференция «Современные проблемы геологии, географии и геоэкологии», г. Грозный, 25–28 марта 2013 г.;

– IX–X Международная научно-практическая конференция «Безопасность ядерной энергетики», г. Волгодонск, 2013–2014 гг.;

– VII Международная научная конференция «Вулканизм, биосфера и экологические проблемы», г. Майкоп, г. Туапсе, 2013 г.;

– Международная научно-практическая конференция «Наука и образование в XXI веке», г. Тамбов, 30 сентября 2013 г.;

– XVI Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике», г. Санкт-Петербург, 5–6 декабря 2013 г.;

– III–X Международные междисциплинарные молодежные симпозиумы «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития)», г. Ростов-на-Дону, Туапсе, 2014–2021 гг.;

– Международная научная конференция «Экология и биология почв», г. Ростов-на-Дону, 17–19 ноября 2014 г.;

– XXVII–XXVIII Симпозиум «Современная химическая физика», г. Туапсе, 2015–2016 гг.;

– VII Международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы. Взгляд в будущее», г. Ростов-на-Дону, 12–16 октября 2015 г.;

– Всероссийский семинар с международным участием «Радиационная и промышленная экология», г. Ростов-на-Дону, 21–28 апреля 2016 г.;

– II Научная конференция студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле», г. Ростов-на-Дону, 27 октября 2016 г.;

– Международная научная конференция, посвященная 90-летию Ботанического сада Южного федерального университета «Современные технологии в изучении биоразнообразия и интродукции растений», г. Ростов-на-Дону, г. Таганрог, 17–21 октября 2017 г.;

– VIII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству (с международным участием), г. Санкт-Петербург, 2019 г.;

– VII Международная научная конференция, посвященная 90-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ «Отражение био-, гео-, антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове», г. Томск, 14–19 сентября 2020 г.;

– II Международная научная конференция «Современное состояние черноземов», посвященная 140-летию со дня рождения С. А. Захарова, г. Ростов-на-Дону, 24–28 сентября 2018 г.;

– XI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021)», г. Ессентуки, 18–20 ноября 2021 г.;

– II Международная научно-практическая конференция «Устойчивое развитие территорий: теория и практика», г. Сибай, 18–21 ноября 2021 г.;

– XII Международная биогеохимическая школа, посвященная 175-летию со дня рождения В. В. Докучаева «Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине», г. Тула, 2021 г.;

– Международная научно–практическая конференция «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2021», г. Севастополь, 20–23 сентября 2021 г.

**Публикации:** По материалам диссертационного исследования опубликовано 350 работ, в том числе 8 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 470 страниц машинописного текста. Содержит 94 таблицы и 127 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 вопросы химии почв. Изучение взаимодействия органических и минеральных компонентов почв. Техногенное и агрогенное химическое загрязнение почв, изменение их естественной кислотности, химического состава и физико-химических свойств».

**Благодарности:** За определение содержания гумуса и уровня pH в почвах, предоставление растительных объектов из зоны расположения Новочеркасской ГРЭС, определение 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.

За неоценимую помощь в экспедициях на протяжении 20 лет по регионам Северного Кавказа, за помощь в подготовке и измерении тысяч образцов окружающей среды хочу выразить благодарность студентам и аспирантам физического факультета Южного Федерального университета, Академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского и Института наук о Земле.

# ГЛАВА 1. РАДИОАКТИВНОСТЬ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

## *1.1. Источники и пути поступления радионуклидов в объекты окружающей среды*

### 1.1.1. Космогенные радионуклиды

Естественные радионуклиды космогенного происхождения поступают в приземный слой воздуха, а затем в наземные и водные экосистемы в результате их генерации в атмосфере и стратосфере и последующего воздушного переноса (Yoshimori, 2005; Безуглов и др., 2010; Bezuglov et al., 2012; Dovbnua et al., 2014).

Среди космогенных радионуклидов для радиоэкологии и радиационной безопасности наиболее значимы $^{7}$Be, $^{3}$H и $^{14}$C. Естественный радионуклид $^{7}$Be космогенного происхождения с периодом полураспада 53,4 дня образуется в ядерных реакциях космического излучения с ядрами азота, углерода и кислорода (Nagai et al., 2000; Usoskin&Kovaltsov, 2008; Безуглов и др., 2010; Bezuglov et al., 2012; Dovbnua et al., 2014). В сезонном поведении данного радионуклида в приземной атмосфере на различных широтах авторы (Todorovic et al., 1999; Al-Azmi et al., 2001; Azahra et al., 2003; Todorovic et al., 2005; Daish et al., 2005; Buraeva et. al, 2007a; Buraeva et. al, 2013b; Dueñas et al., 2009; Dueñas et al., 2011; Стасов В.В., 2013а; Стасов В.В., 2013б; Kapała et al., 2018; Brattich et al., 2021; Kremenchutskii et al., 2021; Buraeva et. al, 2021) отмечают наличие максимума объемной активности $^{7}$Be в весенне-летний период и минимума объемной активности в осенне-зимний период. Имеет место обратная зависимость содержания $^{7}$Be от солнечной активности (Al-Azmi et al., 2001; Azahra et al., 2003; Kikuchi et al., 2009; Leppanen&Paatero, 2013), количества атмосферных осадков (Al-Azmi et al., 2001; Azahra et al., 2003; Kikuchi et al., 2009; Lozano et al., 2012; Alegría et al., 2020; Burakowska et al., 2021) и относительной влажности (Pinero et al., 2012), а также прямая зависимость от температуры воздуха (Al-Azmi et al., 2001; Azahra et al., 2003; Burakowska et al., 2021). Содержание $^{7}$Be в осадках коррелирует с количеством осадков, что подтверждает факт вымывания аэрозолей осадками (Стасов и др., 2007; Стасов, 2013а; Стасов, 2013б; Buraeva et. al, 2013b; Burakowska et al., 2021; Zheng et al., 2021; Buraeva et. al, 2021). Имеются данные о влиянии скорости и направления ветра на объемную активность $^{7}$Be в атмосфере (Стасов и др., 2007; Lozano et al.,

2012; Стасов, 2013а, Стасов, 2013б). Стоит отметить, что данный радионуклид совместно с естественным радионуклидом $^{210}Pb$ и искусственным радиоцезием может служить трассером различных атмосферных процессов (Зорина и др., 2007а; Зорина и др., 2007б;Зорина и др., 2008а, Зорина и др., 2008б; Зорина и др., 2008в; Зорина и др., 2008г; Зорина и др., 2008д; Стасов и др., 2007; Зорина и др.. 2010; Стасов и др., 2013; Стасов, 2013а, Стасов, 2013в, Buraeva et. al, 2013а; Нефедов и др., 2014б; Нефедов и др., 2014в; Долгополов и др, 2015а, Долгополов и др., 2015б; Иванов и др., 2015 а; Иванов и др., 2015б; Иванов и др., 2016; Долгополов и др., 2016; Buraeva et. al, 2021).

Тритий ($^{3}H$) с периодом полураспада ($T_{1/2}$) 12,32 года образуется в результате ядерной реакции космического излучения с ядрами азота (Audi et al., 2003a; Audi et al., 2003b). Также, в том числе и для нужд промышленности, тритий нарабатывается в ядерных реакторах. Поэтому в окружающей среде (преимущественно в водных объектах) фиксируется тритий как космогенного, так и искусственного происхождения (Джура и др., 2020; Джура и др., 2021; Andries et al., 2021; La Verde et al., 2021; Matano et al., 2021).

Радиоуглерод ($^{14}C$), бета-излучающий радионуклид с периодом полураспада ($T_{1/2}$) 5700 лет, образуется в ядерных реакциях с нейтронами на ядрах азота (в большей степени) и на ядрах углерода и кислорода (в меньшей степени) в верхней атмосфере, в ядерных реакторах и при испытании ядерного оружия (Tans et al., 1979; Kovaltsov et al., 2012).

В наземные экосистемы (почву и растения) космогенные радионуклиды поступают в результате сухих и мокрых выпадений из атмосферы, включаются в биологические циклы и вносят различный вклад в облучение живых организмов (Артемова и др., 1980; Бойко и Кошелев, 2001).

### 1.1.2. Естественные радионуклиды земного происхождения

К естественным радионуклидам земного происхождения относятся продукты распада $^{238}U$ (радиоактивное семейство урана), $^{235}U$ (радиоактивное семейство

актиноурана), $^{232}$Th (радиоактивное семейство тория) и $^{40}$К (радиоактивный калий). Данные радиоактивные семейства (и радионуклиды) появились, вероятно, с образованием Земли.

Дозообразующими радионуклидами земного происхождения (терригенные радионуклиды) принято считать $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$К. По их удельной активности в почвах, грунтах, породах оценивается опасность для населения и окружающей среды (UNSCEAR, 1988; UNSCEAR, 1993; IAEA, 1996; UNSCEAR, 2000; IAEA, 2005; UNSCEAR, 2008; СанПиН 2.6.1.2523-09, 2009; СП 2.6.1.2612-10, 2010; СанПиН 2.6.1.2800-10, 2011).

В почвы естественные радионуклиды земного происхождения поступают в процессе почвообразования из подстилающих пород (Титаева, 2000). Далее на их содержание и распределение как по глубине почвенного профиля, так и по площади будут оказывать влияние климатические особенности регионов, рельеф местности, наличие растительного покрова, физико-химические и агрохимические свойства самих почв (содержание гумуса, уровень pH, гранулометрический состав и др.) (Шуктомова и др., 1983; Титаева, 2000; Рачкова и др., 2010; Рачкова и Шапошникова, 2021).

На урбанизированных территориях дополнительными источниками естественных радионуклидов в почвах, а затем и в растительных объектах являются промышленные предприятия, месторождения полезных ископаемых, автотранспорт и предприятия топливной энергетики (Рачкова и Шапошникова, 2018; Рачкова и Шапошникова, 2019; Рачкова и Шапошникова, 2020). На сельскохозяйственных территориях данные элементы могут привноситься с минеральными удобрениями (Давыдов и др., 2013).

### 1.1.3. Искусственные радионуклиды

Среди искусственных радионуклидов наибольший интерес представляет радиоактивный $^{137}$Cs с периодом полураспада 30 лет.

$^{137}Cs$ поступал в объекты окружающей среды (почвы, донные отложения, растительность и др.) при испытаниях ядерного оружия («глобальный» $^{137}Cs$ – 1950–1970 гг.) и после аварии на Чернобыльской АЭС («Чернобыльский» $^{137}Cs$ – 1986 г.).

Отдельные регионы также были загрязнены данным радионуклидом локально в результате инцидентов на предприятиях ядерного топливного цикла: 1957 год — Российская Федерация, Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС); 1979 год — США, авария на АЭС Три-Майл-Айленд; 2011 год — Япония, Фукусима.

## *1.2. Радионуклиды в почвах*

### 1.2.1. $^{137}Cs$ в наземных экосистемах

Изучение особенностей вертикального (профильного) распределения концентрации радиоцезия в наземных экосистемах (почвах и в системе почва-растение) необходимо для интерпретации его миграционных процессов (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева, 2016). Содержание данного изотопа в окружающей среде играет значительную роль при учете дозовых нагрузок на население от искусственных радионуклидов на загрязненных вследствие аварий территориях. В таких регионах вклад в дозу облучения населения и воздействие на живые системы может оказаться преобладающим. К настоящему времени накоплен значительный объем данных по уровням загрязнения искусственным радионуклидом $^{137}Cs$ различных почв. Вертикальное распределение $^{137}Cs$ в почвах анализируется не только в долговременных и рекогносцировочных исследованиях загрязненных (Isaksson et al., 2001; Hamarneh et al., 2003; Park et al., 2013; Hirono et al., 2016; Toriyama et al., 2018; Muto et al., 2019; Takahashi et al., 2019) и фоновых (Nabyvanets et al., 2000; Al-Masri, 2006; Doering et al., 2006; Turhan et al., 2012; Gaspar & Navas, 2013; Stobinski et al., 2018; Van et al., 2019) территорий, но и при учете дозовых нагрузок от искусственных радионуклидов (Fujiwara et al., 2012), изучении почвенных эрозионных процессов (Collins et al., 2001; Chappell & Warren, 2003; Li et al., 2010; Parsons & Foster, 2011; Feng et al., 2016; Alewell et al., 2017; Nie et al., 2018; Chen et al., 2019; Гусаров и Шарифуллин, 2019; Federico et al., 2020; Gaspar et al., 2021) и оценке источников поступления искусственных радионуклидов в наземные

экосистемы (Lee et al., 2013). Поведение данного радионуклида в окружающей среде изучается в модельных экспериментах для определения механизмов миграции $^{137}Cs$ по почвенным профилям (Shinonaga et al., 2005; Almgren & Isaksson, 2006; Matisoff et al., 2011; Nakanishi et al., 2014), скорости диффузии данного радионуклида (Krstic et al., 2004, Iurian et al., 2014) и особенностям его накопления в почвах (Bai et al., 2002).

Загрязнение $^{137}Cs$ наземных экосистем, в том числе почв и растительности, в результате испытаний ядерного оружия и аварий на предприятиях ядерного топливного цикла происходило неравномерно. В результате выпадения радиоцезия в различных регионах образовались пятна и полосы различной формы и размера. После выпадения на почву $^{137}Cs$ начал мигрировать в экосистемах в горизонтальном и вертикальном направлениях. На горизонтальное распределение данного радионуклида влияют климатические условия: скорость ветра и количество осадков. Скорость ветра способствует выдуванию (дефляции) и переносу на большие расстояния частиц, содержащих $^{137}Cs$, а количество осадков обеспечивает его смыв в понижения рельефа. При значительном загрязнении почв данным радионуклидом в сочетании с погодными условиями может происходить вторичное загрязнение территорий в результате «ветрового подъема пыли с подстилающей поверхности» (Махонько, 1992; Махонько, 2000; Махонько, 2002; Гаргер и Гаврилов, 1992). На незагрязненных территориях влияние ветрового подъема пыли и ее трансконтинентального переноса (особенно во время экстремальных погодных условий) может привести к увеличению удельной активности радиоцезия (и других поллютантов) в экосистемах (Hernandez et al., 2005, Karlsson et al., 2008).

Вертикальное распределение и миграция радиоцезия в почвах достаточно сильно зависят от содержания гумуса в почве, уровня кислотности и гранулометрического состава почвы (Askbrant et al., 1996; Matsunaga et al., 2013; Koarashi et al., 2012; Gaspar & Navas, 2013; Манахов и др, 2019; Попова и др., 2021), рельефа местности (Korobova & Romanov, 2011), климатических особенностей региона (Legarda et al., 2011), поглощения растительностью (Gastberger et. al., 2000) и других факторов.

$^{137}Cs$ поступал в почву в результате мокрых и сухих выпадений из атмосферы, сорбируясь в глинистых и органических составляющих почвенного покрова (Tamura, 1964; Алексахин и др., 1990; Щеглов, 2000; Staunton et al., 2002; Ефремов и др., 2005; Рахимова, 2006; Кузьменкова и др., 2011; Navas et al., 2011; Toriyama et al., 2018). Далее на содержание и миграцию данного радионуклида в почвенных профилях, кроме естественного радиоактивного распада радиоцезия, влияют различные процессы, в том числе поглощение его растительностью и биотурбация (Müller-Lemans & Van Dorp, 1996; Gastberger et. al., 2000; Staunton et al., 2002; Ефремов и др., 2005; Рахимова, 2006; Кузьменкова и др., 2011; Бобренко и др., 2020).

Достаточно явная зависимость удельной активности $^{137}Cs$ от физико-химических свойств почвы, в том числе корреляция его содержания с размерами гранулометрических фракций верхнего слоя почвы (He & Walling, 1996; Askbrant et al., 1996; Navas et al., 2007; Navas et al., 2011; Koarashi et al., 2012; Matsunaga et al., 2013; Gaspar & Navas, 2013; Toriyama et al., 2018; Muto et al., 2019) позволяет использовать этот радионуклид в качестве маркера (или трассера) различных почвенных и атмосферных процессов (Walling et al., 1993; Wright et al., 1999; Rosner et al., 2001; Hernandez et al., 2001; Alonso Hernandez et al., 2004; Karlsson et al., 2008; Belyaev et al., 2009; Blazej et al., 2014; Lee et al., 2014). В то же время при изучении вертикальной и горизонтальной миграций $^{137}Cs$ в наземных экосистемах необходимо учитывать климатические особенности регионов исследования, особенности рельефа, условия и способы обработки почв (Forsberg & Strandmark, 2001). Достаточно сложен учет ветрового подъема радиоактивности с подстилающей поверхности для крупных промышленных центров (Уорнер и Харрисон, 1999).

Значительную роль в накоплении и миграции $^{137}Cs$ авторы отводят содержанию гумуса (органической составляющей) в почвенных профилях (Ritchie and McHenry, 1973; Анохин, 1974; McHenry and Ritchie, 1977; Санжарова и др., 1996; Rigol et al., 2002; Арастович, 2004; Martinez et al., 2010; Navas et al., 2011; Кузнецов и др., 2018). Утверждается, что подвижность $^{137}Cs$ также обусловлена тем, что это «…изотоп щелочного металла, химического аналога биогенно важного элемента – калия…»

(Санжарова и др., 2004; Кузнецов и др., 2004; Санжарова и др., 2005; Белова и др., 2009; Санжарова и др., 2014; Кузнецов и др., 2017). Как показано в ряде работ, «…для $^{137}Cs$ характерны процессы селективной и необменной сорбции твердой фазой почв…» (Dumat &Staunton, 1999; Rosén et al., 1999; Санжарова и др., 2005; Ziembik et al., 2009; Ziembik et al. 2010). Высказаны предположения о том, что «…способность почв фиксировать $Cs^+$ в значительной степени определяется содержанием в почве глинистых минералов…» и «…наибольшей способностью к фиксации $K^+$, $NH_4^+$ и $Cs^+$ обладают гидрослюды типа иллита…» (Dumat &Staunton, 1999; Rosén et al., 1999; Санжарова и др., 2005; Ziembik et al., 2009; Ziembik et al. 2010).

Удельная активность $^{137}Cs$ в почвах различных регионов Земли варьируется в широких пределах. Максимальные удельные активности данного радионуклида приурочены к территориям, попавшим под влияние аварий на предприятиях ядерного топливного цикла (Атлас, 1998; Атлас, 2009; Кузьмин и др., 2012; Дерягин и др., 2015; Мамихин и др., 2016; Bilici et al., 2019; Российский национальный доклад, 2021; Граковский и Фрид, 2021). Однако на большинстве территорий Земли удельная активность $^{137}Cs$ достаточно низкая (Szabó et al. 2012; Buraeva et al., 2015), в том числе и в районах расположения атомных электростанций (Попова и др., 2020; Кузнецов и др., 2021).

Необходимо отметить, что для степных регионов Российской Федерации комплексные сведения по содержанию $^{137}Cs$ в различных почвах, а тем более по его вертикальной миграции в различных зональных и интразональных почвах за длительный период времени достаточно малочисленны. В ряде работ (Ефремов и др., 2005; Рахимова, 2006) проводились исследования по оценке миграции искусственных радионуклидов в профилях почвы и в системе «почва — растения степей». Отдельные исследования проводились в 1993–2000 гг. и позже при дополнительном обследовании радиационной обстановки для составления карт-схем радиоактивного загрязнения территории Российской Федерации в результате аварии на Чернобыльской АЭС (Атлас, 1998; Атлас, 2009). Детальная оценка содержания радиоцезия в почвах Ростовской области проводилась в рамках предпускового

мониторинга зоны наблюдения Ростовской АЭС (Отчет, 2000) в Цимлянском, Волгодонском и Дубовском районах, входящих в зону наблюдения данной АЭС.

В настоящее время радиационную обстановку, в основном мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (гамма-фон) и радиоактивность приземного слоя воздуха, на предприятиях ЯТЦ и в различных населенных пунктах оценивает ряд государственных организаций и ведомств (Роспотребнадзор по РО, 2022; РОСАТОМ, 2022; НПО «Тайфун», 2022). Однако в этих работах отсутствуют как наблюдения в глубоких почвенных горизонтах, так и анализ связи между распределением $^{137}$Cs по профилю и физико-химическими свойствами почв.

Ниже представлен анализ публикационной активности международных исследователей, в чьи сферы научных интересов входит оценка содержания и распределения радиоцезия в почвах.

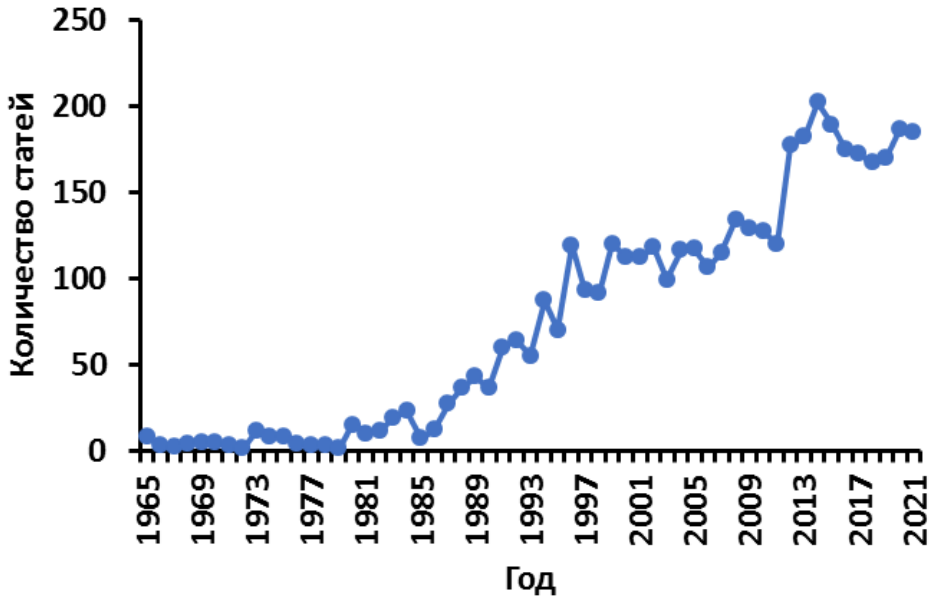



Рисунок 1.1 – Распределение публикаций типа «Article (статья)» с ключевыми словами «$^{137}$Cs» и «soil (почва)» по годам, опубликованные в международных журналах базы Scopus

Только за три последних года (2019–2021 и начало 2022 года) в международных журналах базы Scopus по содержанию, распределению, моделированию искусственного радионуклида $^{137}$Cs опубликовано (в финальной стадии) более 400 статей (Scopus, 2022). Как видно из рис. 1.1, интерес к изучению радиоцезия в

почвах резко возрос после аварии на Чернобыльской АЭС, когда наземные экосистемы огромных территорий СССР (в настоящее время это страны Российская Федерация, Белоруссия и Украина) и Восточной Европы подверглись значительному загрязнению искусственными радионуклидами.

На рис. 1.2 представлено распределение публикаций типа «Article (статья)» по отраслям знаний с ключевыми словами «$^{137}$Cs» и «soil (почва)», опубликованные в международных журналах базы Scopus за все годы.

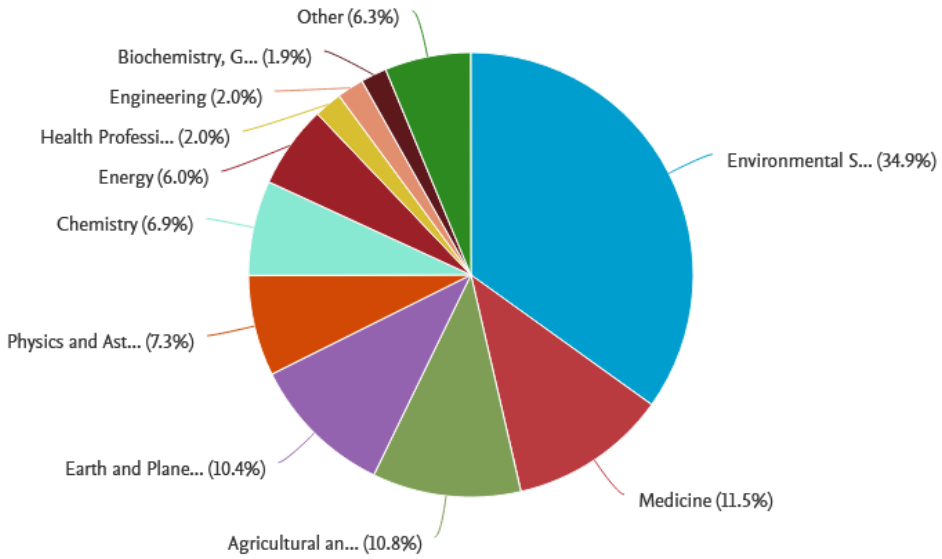



Рисунок 1.2 – Распределение публикаций типа «Article (статья)» по отраслям знаний с ключевыми словами «$^{137}$Cs» и «soil (почва)», опубликованные в международных журналах базы Scopus

Более половины всех опубликованных статей в международных журналах посвящены экологическим проблемам окружающей среды (рис. 1.2) и относятся к естественно-научным направлениям отраслей знаний (Науки об окружающей среде, Науки о Земле, Физика и Астрономия, Сельскохозяйственные науки, Химия и др.). Это подтверждает и интерес научного сообщества к сохранению/восстановлению окружающей среды, и необходимость детального изучения влияния искусственных радионуклидов на экосистемы и человека.

### 1.2.2. Естественные радионуклиды в почвах

Одним из основных природных факторов, определяющих естественную радиоактивность окружающей среды, является литосфера (Давыдов и др., 2013). Структура почвенного покрова в значительной мере определяется составом подстилающих горных пород, но варьируется в зависимости от особенностей процесса накопления и выноса элементов при контакте с подстилающими породами, подземными и поверхностными водами, биомассой (Почвоведение, 1988; Abd El-mageed, 2011).

В литературных источниках (El Galy et al, 2008) показано, что почва, сформировавшаяся на почвообразующих породах магматического происхождения, имеет повышенную естественную радиоактивность. Это связано с высоким содержанием естественных радионуклидов в изверженных породах (El-Shershaby et al, 2002; Ahmed et al, 2006; El-Arabi et al, 2007; Harb et al, 2012). Для почвообразующих пород осадочного происхождения ожидается низкая природная радиоактивность верхнего почвенного слоя (El Galy et al, 2008).

Естественные радионуклиды (**ЕРН**) включены во все компоненты почвы: неорганический материал, почвенный раствор, почвенные газы, органические вещества и живые организмы.

Изучению содержания ЕРН в почвенном покрове уделяют внимание во всем мире. В литературе (Alatise et al, 2008; Saleh & Abu Shayeb, 2014; Selvasekarapandian et al, 2000) приводятся данные о содержании в почвах различных ЕРН, вносящих вклад в дозовую нагрузку, сравнивается их излучение с природным радиационным фоном земной поверхности. Между содержанием радионуклидов в почве и удельной активностью растений существует линейная зависимость (Blanco et al, 2002; Blanco et al, 2010; Asaduzzaman et al, 2014). Растения принимают активное участие в формировании дозы внешнего, а для съедобных растений, сельскохозяйственной продукции и внутреннего облучения (Алексахин, 1963; Алексахин и др., 1990; Санжарова и др., 2004; Скрипников, 2015; Парамонова и Мамихин, 2017; Парамонова и др., 2017; Sato et al, 2019). Оценка особенностей аккумуляции

радионуклидов растительностью важна в радиоэкологии, радиобиологии и радиационной безопасности человека и окружающей среды (Алексахин и др., 1990; Blanco et al, 2002; Санжарова и др., 2004; Blanco et al, 2010; Asaduzzaman et al, 2014; Sokolik et al, 2014; Скрипников, 2015; Парамонова и Мамихин, 2017; Парамонова и др., 2017; Sato et al, 2019).

Содержание естественных радионуклидов ($^{226}$Ra, $^{232}$Th, и $^{40}$K) в почвах определяют с помощью мониторинговых исследований при контроле радиоактивности окружающей среды (Yang et al, 2005; Blanco et al, 2008; Janković Mandić et al, 2010; James et al, 2011; Navas et al, 2011a; Navas et al, 2011b; Hamideen et al, 2012; Ravisankar et al, 2012; Charro et al, 2013; Khmar et al, 2013a; Khmar et al, 2013b; Chandrasekaran et al, 2014; Nada et al, 2014; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Ademola et al, 2014; Попов и др., 2015б), в том числе и для изучения уровня загрязненности почвенных экосистем (Taskin et al, 2009; Baykara et al, 2009; Wallova et al, 2012; Strok et al, 2013; Manigandan et al, 2014), исследований процессов переноса и миграции естественных радионуклидов в экосистемах (Akyil et al, 2008; Nada et al, 2009; Asaduzzaman et al, 2014; Yan et al, 2015).

Стоит отметить, что некоторые ЕРН (например, $^{226}$Ra и $^{210}$Pb), содержащиеся в почвах, могут быть также и антропогенного (техногенного) происхождения. Тепловые станции, работающие на сжигании угля, вместе с золой выбрасывают в атмосферу ряд ЕРН, которые впоследствии переносятся ветром и, попадая в почвы и растительность, повышают естественный радиационный фон территорий (Dai et al, 2007; Huseyin et al, 2008; Papastefano, 2010; Charro et al, 2013; Давыдов и др., 2013; Vaasma et al, 2014).

Средние мировые концентрации $^{226}$Ra и $^{232}$Th в различных почвах варьируются в пределах от 19 Бк/кг до 25 Бк/кг (Yang et al, 2005; James et al, 2011; Hamideen et al, 2012; Wallova et al, 2012; Canbazoglu et al, 2013; Khmar et al, 2013b; Asaduzzaman et al, 2014; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Zytoon et al, 2014; Попов и др., 2015б), а $^{40}$K – от 300 до 500 Бк/кг (Baykara et al, 2009; Wallova et al, 2012; Strok et al, 2010; Strok et al, 2013; Nada et al, 2014; Zytoon et al, 2014).

Содержание ЕРН в почвах зависит от ее гранулометрического состава, содержания гумуса (Blanco et al, 2008; Baykara et al, 2009; Janković Mandić et al, 2010; James et al, 2011; Ramola et al, 2014; Srilatha et al, 2015), радиоактивности подстилающих пород (James et al, 2011; Canbazoglu et al, 2013; Chandrasekaran et al, 2014; Ramola et al, 2014), климатических условий (Yan et al, 2015), геологических и географических характеристик региона исследования (Blanco et al, 2008; Nada et al, 2009; Taskin et al, 2009; Wallova et al, 2012; Ravisankar et al, 2012; Manigandan et al, 2014; Ademola et al, 2014; Dusane et al, 2014). Содержание ЕРН в почвах также может быть связано с рельефом местности (Kovacs et al, 2013; Nada et al, 2014; Zytoon et al, 2014; Gaso et al, 2015; Srilatha et al, 2015).

Наименьшей естественной радиоактивностью, как правило, обладают суглинистые (Akozcan et al, 2014; Alsaffar et al, 2015), песчаные (Asaduzzaman et al, 2014; Moreno et al, 2014; Yadav et al, 2014) и аллювиальные почвы (Khmar et al, 2013b; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б). Распределение ЕРН по глубине почвенного профиля, как правило, равномерное (Charro et al, 2013; Canbazoglu et al, 2013; Nada et al, 2014).

Необходимо отметить, что в некоторых почвах концентрация ЕРН может составлять 100–1000 Бк/кг (James et al, 2011; Strok et al, 2013; Charro et al, 2013). Максимумы содержания ЕРН на таких территориях привязаны, как правило, к урановым месторождениям (James et al, 2011; Wallova et al, 2012; Ravisankar et al, 2012; Strok et al, 2013; Charro et al, 2013; Nada et al, 2014; Ramola et al, 2014; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Gaso et al, 2015). Значительную роль в накоплении ЕРН в почвах играют физико-географические особенности ландшафта (Akyil et al, 2008; Baykara et al, 2009; Navas et al, 2011a; Navas et al, 2011b; Moreno et al, 2014).

Систематизированные сведения по содержанию и распределению основных естественных дозообразующих радионуклидов ($^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K) в горных породах, почвах и в системе «почва — растение» в районах Северного Кавказа представлены в коллективных работах автора (Бураева, 2005а; Бураева 2005б; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013ж; Федченко и др., 2013б; Неганова и др.,

2014а; Неганова и др., 2014б; Аветиян и др., 2015; Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г и др.).

При этом различные надзорные органы и службы оценивают в почвах (и других компонентах окружающей среды) удельную активность искусственных радионуклидов и суммарную альфа- и бета-активность (Роспотребнадзор по РО, 2022; НПО Тайфун, 2022 и др.).

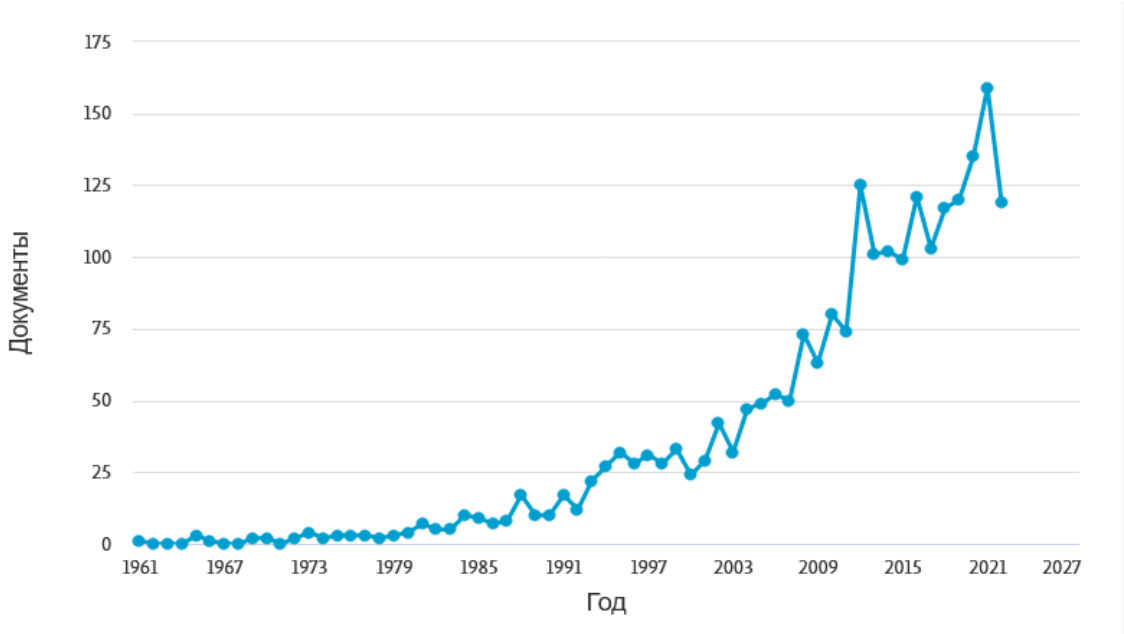



Рисунок 1.3 – Распределение публикаций типа «Article» с ключевыми словами «natural radionuclides» и «soil» по годам, опубликованные в международных журналах базы Scopus

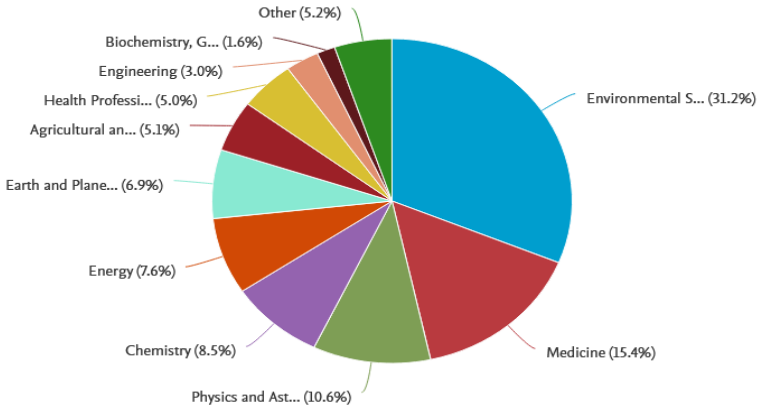



Рисунок 1.4 – Распределение публикаций типа «Article» по отраслям знаний с ключевыми словами «natural radionuclides» и «soil», опубликованные в международных журналах базы Scopus

Рост количества публикаций, связанных с оценкой естественных радионуклидов в почвах, начался также после аварии на Чернобыльской АЭС (рис. 1.3). Это объясняется тем, что гамма-спектрометрия — наиболее перспективный и простой метод контроля радиоцезия в почвах. Отличительной особенностью данного метода является возможность определять целый спектр радионуклидов (включая и ЕРН) в одной пробе и в одном измерении (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б). Ограничения данного метода обусловлены исключительно характеристиками детектирующих устройств (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б) и методиками измерений в разных областях энергетического спектра (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б).

Распределение публикаций по отраслям знаний (рис. 1.4) показывает, что основные исследования также посвящены наукам об окружающей среде. Стоит отметить, что многие работы мировых ученых одновременно в одной статье оценивают как радиоцезий в почвах, так и естественные радионуклиды (например: Darabi-Golestan et al, 2019).

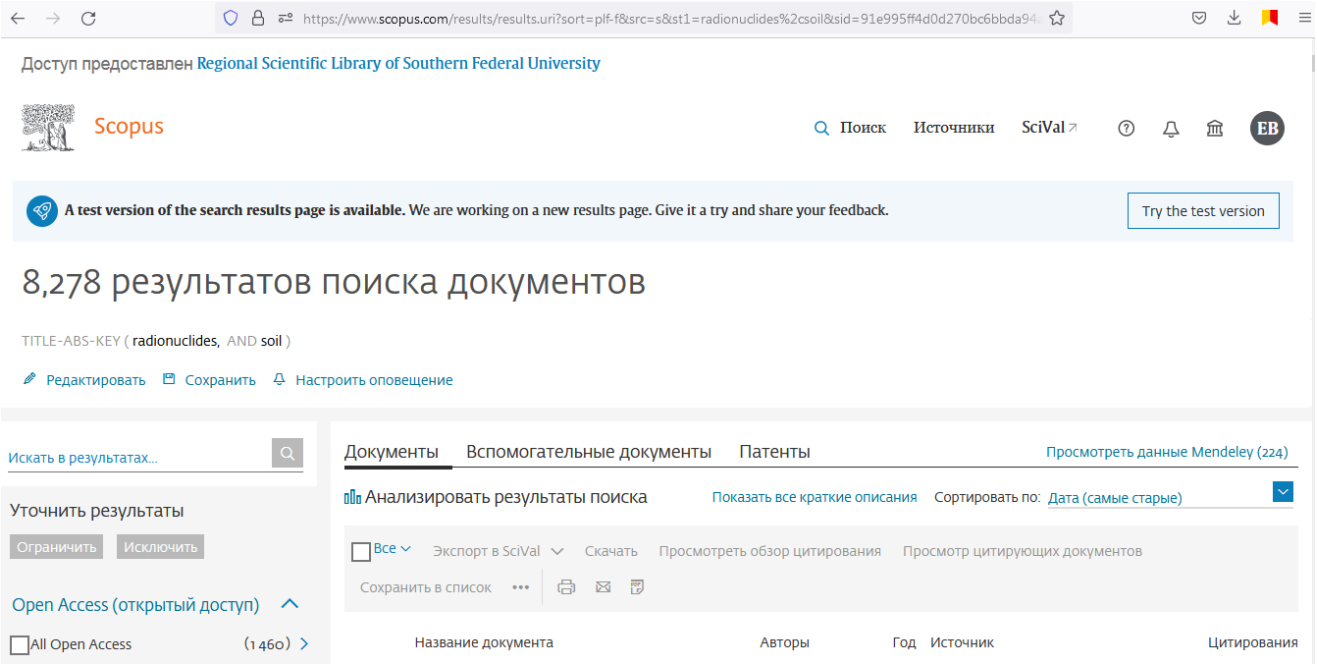



Рисунок 1.5 – Количество публикаций с ключевыми словами «radionuclides» и «soil», опубликованные в изданиях базы Scopus на 12.05.2022

Огромное количество публикаций различного уровня (рис. 1.5) показывает значительный интерес исследователей к радиоактивности почв – одному из

важнейших компонентов окружающей среды, уникальному природному образованию, определяющему не только значимую часть биоразнообразия на Земле, но и возможность самой жизни.

Стоит отметить, что самая ранняя работа с ключевыми словами «radionuclides» и «soil», представленная в базе Scopus, датируется 1956 годом и посвящена методикам радиохимического определения некоторых искусственных радионуклидов в почве (Kahn, 1956).

## *1.3. Радиоактивность объектов флоры*

### 1.3.1. Содержание радионуклидов в травянистой растительности

Различные растительные объекты достаточно широко используются в качестве индикаторов радионуклидного загрязнения окружающей среды (Velasco et al., 2008; Vandenhove et al., 2009; Blanco et al., 2010; Pozolotina et al., 2010; Ларионова и др., 2013; Kozhakhanov et al., 2014; Henner et al., 2014; Молчанова и др., 2014; Šprem et al., 2016; Rout at al., 2021; Larionova at al., 2021; Velasco at al., 2021; Ramadan at al., 2021; Doering at al., 2021; Mostafa at al., 2021; Muñoz-Muñoz at al., 2021; Alsaadie at al., 2021; Brimo at al., 2021).

В растительные объекты естественные и искусственные радионуклиды попадают в результате оседания радиоактивных аэрозолей и при поглощении из почвы с водой (Алексахин и др., 1992; Бондарь и др., 2000; Щеглов, 2000; Воронов, 2017; Воронов и Санжарова, 2017). При этом, чем сильнее радионуклиды сорбируются (фиксируются) почвенными частицами, тем их меньшее количество концентрируется в растительности (Бондарь и др., 2000).

Удельная активность ЕРН и ИРН, поступивших в растения, достаточно сильно зависит от свойств почвы, таких как гранулометрический состав почвы, уровень pH, содержание гумуса, минералогический состав почвы, влажность почвы и др. (Алексахин и др., 1963; Wen at al, 1995; Liu et al, 1999; Коробова и др., 2007; Wang and Lu, 2007; Asaduzzaman et al, 2014; Volosov at al, 2011; Korobova et al, 2014). Отсутствует прямая зависимость между наличием органического вещества и фактором накопления радионуклидов $^{226}$Ra и $^{232}$Th (Asaduzzaman et al, 2014).

Стоит отметить, что глины и илистые почвенные фракции обладают большой поглотительной способностью (Анненков, Юдинцева, 1991; Алексахин и др., 1992; Wen al, 1995; Бондарь, 1998; Wang and Lu, 2007), обусловленной различными факторами, в том числе и «…повышением емкости поглощения, обменных катионов, содержания органического вещества» (Алексахин и др., 1992).

Также на накопление ЕРН и ИРН растительностью может оказывать влияние и возраст самих растений: «…каждому периоду развития растения отвечает определенный тип физиологических процессов и, следовательно, свой тип питания…» (Моисеев и др., 1982; Алексахин, 1982; Анненков, Юдинцева, 1991; Алексахин и др., 1992; Wen al, 1995; Бондарь, 1998). Некоторые исследователи отмечают, что «…поглощение радионуклидов растениями на средних и поздних стадиях роста выше, чем на ранней стадии роста» (Asaduzzaman et al, 2014).

Многие авторы отмечают высокую степень накопления радионуклидов сельскохозяйственными культурами (Моисеев и др., 1982), многолетней луговой растительностью и хвойными породами деревьев (Wen at al, 1995; Бондарь и др., 2000). А, например, бобовые и злаки могут поглощать радиоактивные вещества с большой площади (Krmar at al, 2007; Моисеев и др., 1982; Dragović at al, 2010; Vinichuk at al, 2013; Krmar at al, 2016).

Необходимо отметить, что «…миграция ЕРН в системе почва-растительность в значительной степени зависит от физико-химических свойств почвы (катионообменной способности, содержания органического вещества и т.д.)» (Моисеев и др., 1982; Алексахин, 1982; Анненков, Юдинцева, 1991; Алексахин и др., 1992; Wen al, 1995; Бондарь, 1998; Юриков, 2007; Lee at al, 2009).

В целом накопление радионуклидов растениями зависит от свойств почвы и биологических особенностей растений.

Интерес к оценке концентрации, распределения и накопления радионуклидов в растительности (прежде всего в сельскохозяйственных культурах) возрос после аварии на Чернобыльской АЭС (рис. 1.6) и в естественнонаучных отраслях знаний (рис. 1.7). При этом, в отличие от исследований в области радиоактивности почвы, динамика выхода публикаций носит пилообразный характер.

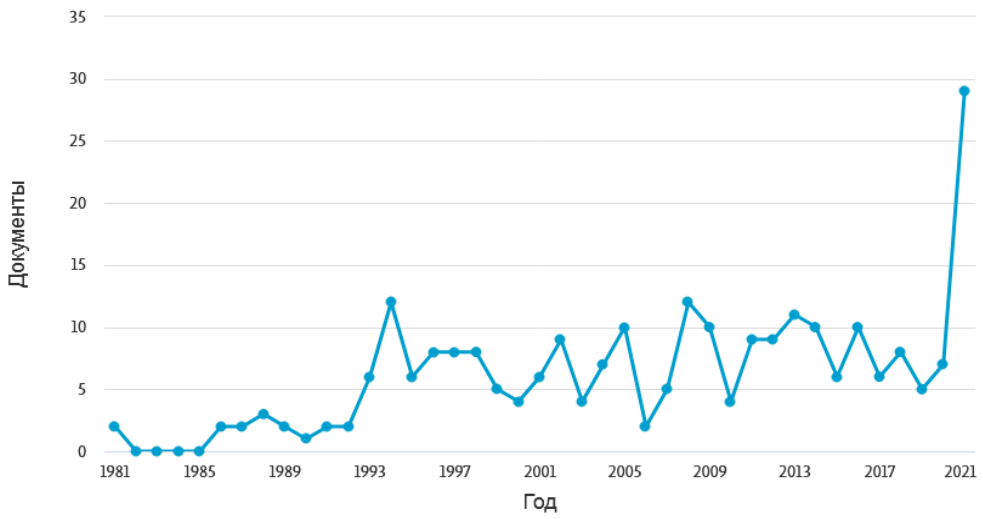



Рисунок 1.6 – Распределение публикаций типа «Article» с ключевыми словами «radionuclides» и «soil-to-plant» по годам, опубликованные в международных журналах базы Scopus

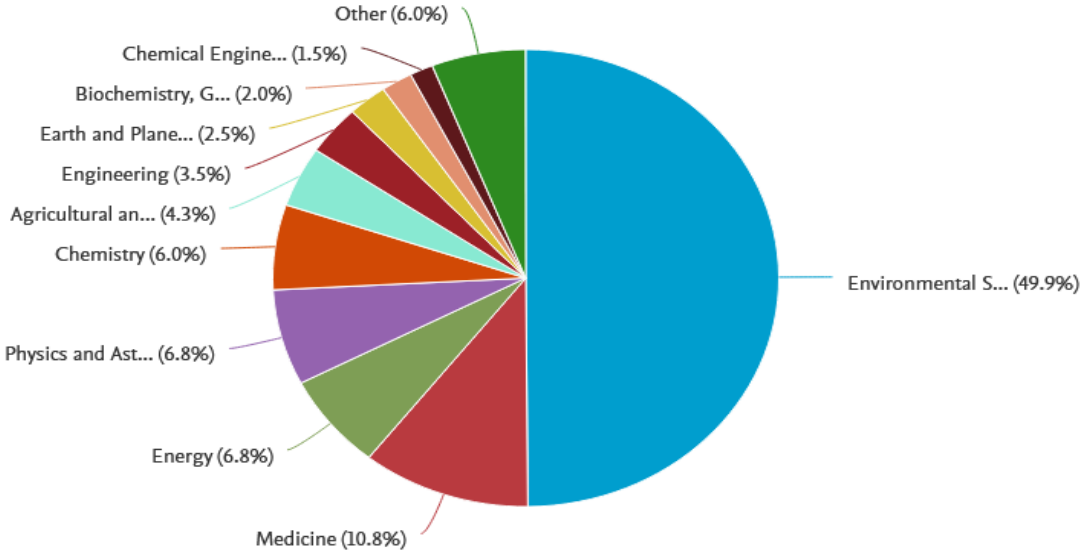



Рисунок 1.7 – Распределение публикаций типа «Article» по отраслям знаний с ключевыми словами «radionuclides» и «soil-to-plant», опубликованные в международных журналах базы Scopus

Необходимо отметить, что с 2020 года наблюдается резкое увеличение количества публикаций, посвященных переносу (переходу, передаче, накоплению – «transfer factor») естественных и искусственных радионуклидов растениями, в том числе и сельскохозяйственного назначения (Rout at al., 2021; Larionova at al., 2021;

Velasco at al., 2021; Ramadan at al., 2021; Doering at al., 2021; Mostafa at al., 2021; Muñoz-Muñoz at al., 2021; Alsaadie at al., 2021; Brimo at al., 2021).

Это может быть обусловлено как сложностью объектов (например, короткий вегетационный период отдельных культур и необходимость набирать статистически значимые объемы материала часто не позволяют провести исследования за один полевой сезон), так и недостатками методик подготовки и измерения образцов (например, длительные и сложные методики концентрирования, в том числе озоления, растений).

### 1.3.2. Радионуклиды в объектах бриофлоры

Во многих исследованиях показано, что «…мхи прекрасно зарекомендовали себя в качестве биологических индикаторов – аккумуляторов атмосферных выпадений» (Ашихмина, 2002; Мелехова, 2007; Ашихмина и Тимонюк, 2008; Сазыкина и др., 2011; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Омельченко и др., 2012; Сазыкина и др., 2013; Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Сазыкина и др., 2016). Также стоит отметить, что «…моховый покров формируется в течение 2–5 лет, поэтому анализ биомассы дает оценку уровня загрязнения окружающей среды в основном за этот период…» (Ашихмина, 2002; Ашихмина и Тимонюк, 2008; Belivermis et al., 2010, Belivermis, Çotuk, 2010; Krmar et al., 2013a; Krmar et al., 2013b).

Объекты бриофлоры обнаружены на всех континентах и растут практически повсеместно, исключения составляют засушливые места и места с высоким засолением территории. Мохообразные (ранее использовали термин «моховидные») «…обильно представлены в средне увлажненных и влажных лесах различных зональных типов, где они селятся на почве и камнях, на влажной и гнилой древесине, густо обрастают стволы и ветви деревьев…» (Лесная энциклопедия, 1986 (Т.2, с. 91); Topcuoğlu et al., 2005; Krmar et al., 2007; Schroder et al., 2008; Sawidis et al 2009; Dragović et al.; 2010, Belivermis et al., 2010).

В ряде работ было показано, что «…благодаря высокой площади распространения (мхи распространены по площади в 10 раз больше травянистых растений), моховый покров является хорошим сорбентом, а низкий уровень метаболизма способствует накоплению в биомассе многих мутагенных веществ, в том числе радионуклидов, тяжелых металлов и т.д.» (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015). Также многими авторами были представлены исследования, доказывающие, что «…мхи накапливают металлы и радионуклиды лучше, чем высшие растения…» (Schroder et al., 2008, Dragović et al., 2010; Анищенко и др., 2014). Стоит отметить, что мохообразные преимущественно накапливают радионуклиды из атмосферы (в большей степени) (Nifontova, 2000; Lee et al., 2005, Krmar et al., 2007; Ziembik et al., 2013) и из почвы (в меньшей степени) (Belivermis et al., 2010, Pulhani et al., 2005).

Следует ожидать высотную зависимость концентрации поллютантов в мохообразных, отобранных на различной высоте над уровнем моря в силу различий в климатических условиях и солнечной радиации (Soons at al., 2002; Popović et al., 2010; Koenig et al., 2015; Cucherousset rt al., 2015; Puissant at al., 2015; Sánchez at al., 2015, Ji at al., 2016, Bennett at al., 2016, Theobald at al., 2016).

Для регионов Юга Европейской части России исследования по определению перспективных индикаторов радиоактивности окружающей среды практически отсутствуют. В ряде работ (Varduni at al., 2014; Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Чохели и др., 2016а; Чохели и др., 2016б) показаны особенности накопления поллютантов эпифитным мхом (*Pylaisia polyantha*) в условиях промышленного города Ростова-на-Дону.

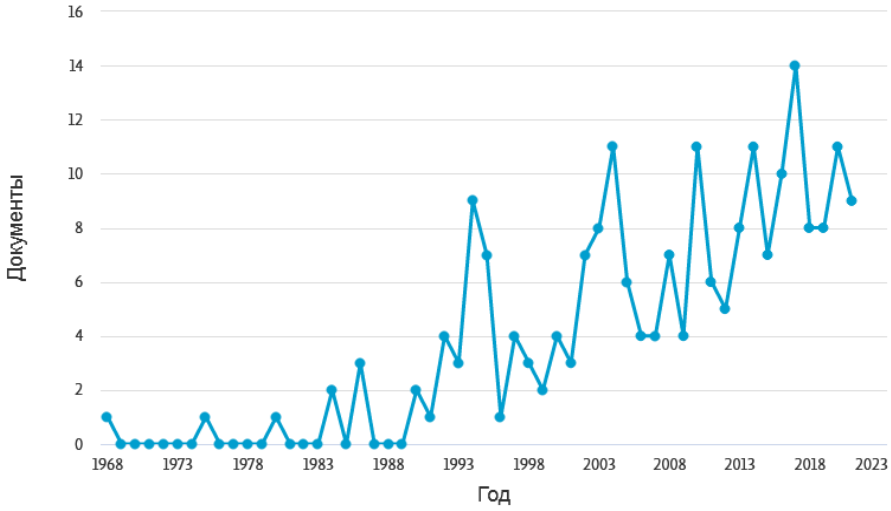



Рисунок 1.8 – Распределение публикаций типа «Article» с ключевыми словами «radionuclides» и «moss» по годам, опубликованные в международных журналах базы Scopus

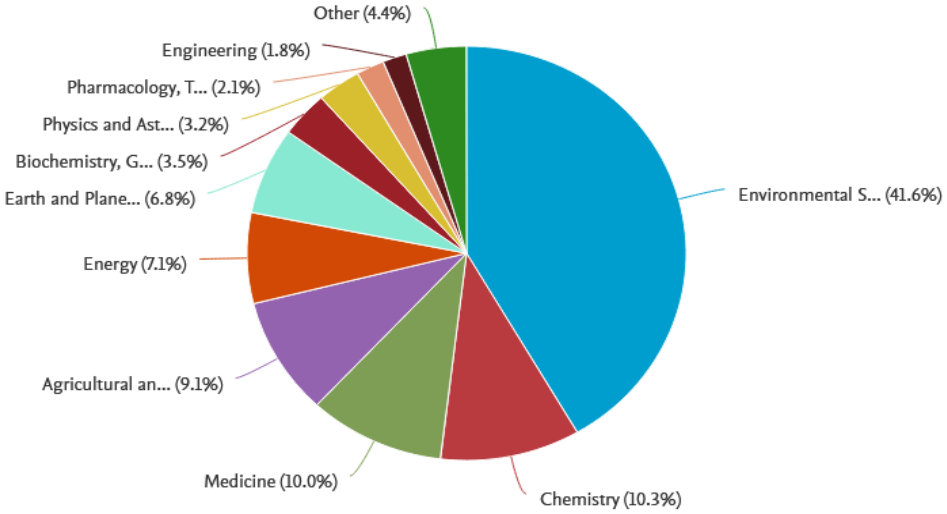



Рисунок 1.9 – Распределение публикаций типа «Article» по отраслям знаний с ключевыми словами «radionuclides» и «moss», опубликованные в международных журналах базы Scopus

Интерес к мохообразным как биоиндикаторам окружающей среды возник в 1990-х годах и непрерывно скачкообразно растет (рис. 1.8). Мхи исследователи стараются повсеместно использовать как индикаторы загрязненности приземного слоя воздуха, при этом все имеющиеся литературные данные достаточно отрывочны и разрозненны.

Скачкообразный рост публикаций в высокорейтинговых журналах также может быть связан со сложностью объекта исследования, методики пробоотбора,

определения вида мхов и множеством методологических факторов. При этом поиск надежных биоиндикаторов радиоактивности окружающей среды является актуальным исследованием в естественно-научных отраслях знаний (рис. 1.9).

### 1.3.3. Радионуклиды в грибах

Потребление продуктов с повышенным содержанием радионуклидов является важным источником формирования дополнительной дозовой нагрузки у населения. Изучение проблем формирования доз облучения от ионизирующих излучений при потреблении человеком пищевых продуктов, содержащих радионуклиды (Steinhauser, 2016), стало важным направлением исследований в области радиационной гигиены, радиоэкологии, радиационной безопасности. Особую актуальность подобные исследования приобрели после аварий на предприятиях ЯТЦ (Zarubinan, 2004; Taira et al., 2011; Taira et al., 2012; Taira et al., 2014).

Одним из важных биоиндикаторов радиоактивности среды являются грибы (в особенности, плодовые тела грибов), поскольку они проявляют свойство сорбции водорастворимых соединений из почвы, в том числе содержащих радиоактивные элементы.

Грибы, так же, как и мхи, хорошо зарекомендовали себя как биоиндикаторы окружающей среды (Мелехова, 2007; Казеев и др., 2016; Caridi et al., 2021). При этом плодовые тела грибов накапливают поллютанты преимущественно из почвы, а эпифитные мхи – из приземной атмосферы (Кадука и др., 2008). Интерес к грибам как к объекту мониторинга высок в странах, пострадавших от аварий на предприятиях ядерной топливной энергетики (Zarubinan, 2004; Taira et al., 2011; Taira et al., 2012; Переволоцкий и Переволоцкая, 2013; Taira et al., 2014; Nakashima et al., 2015; Prand-Stritzko et al., 2018), в регионах с развитой промышленностью (Salazar et al., 1994; Болсуновский и др., 2006; Türkekul et al., 2018), а также на природных территориях (Rafferty et al., 1999; Steiner et al., 2002; Shaw et al., 2005; Rakić et al., 2014; Šprem et al., 2016; Pelgunov & Pelgunova, 2016; Szymańska et al., 2018).

Удельная активность ЕРН и ИРН в плодовых телах грибов варьируется в достаточно широких пределах (Булохов и др., 2009; Цветнова и Щеглов, 2009; Барсуков и др., 2011; Матишов и др., 2014; Steinhauser & Steinhauser, 2016; Strumińska-Parulska et al., 2017; Strumińska-Parulska & Falandysz, 2020; Strumińska-Parulska et al., 2020; Strumińska-Parulska et al., 2021; Густова и др., 2021). Это обусловлено и степенью загрязнения радионуклидами почвы, и физиологическими особенностями разных видов грибов (Baeza et al., 2006; Mascanzoni et al., 2009; Переволоцкий, 2012; Tuo et al., 2017; Barua et al., 2019; Popovych et al., 2020;Tagami et al., 2021; Melgar et al., 2021). Отмечается избирательное накопление радиоцезия шляпочными грибами, обусловленное химическими свойствами данного радионуклида и тем, что у цезия и калия схожи химические свойства (Steiner et al., 2002; Baeza et al., 2004; Baeza et al., 2005; Pelgunov & Pelgunova, 2016; Kobayashi et al., 2019; Мамихин, 2012). Важным фактором высокого накопления радионуклидов грибами (особенно радиоцезия) является то, что радиоцезий, как и многие искусственные радионуклиды, сосредоточен в верхнем слое почвы (Karadeniz et al., 2011a; Karadeniz et al., 2011b), где расположен и мицелий грибов (Gray et al., 1995; Karadeniz & Yaprak, 2007; Karadeniz & Yaprak, 2010; Karadeniz & Yaprak, 2011a; Karadeniz et al., 2011b; Lehto et al., 2013).

В силу неравномерного распределения естественных и искусственных радионуклидов на территории Юга Европейской части России (это особо актуально для горных районов Кавказа) следует ожидать, что накопление радионуклидов растительными объектами, в том числе и грибами (объектами микофлоры), будет различным.

В регионах, где распространена практика сбора и использования в пищу дикорастущих грибов, это может служить дополнительным источником облучения населения от природных и техногенных радионуклидов (Пономаренко и др., 2015; Воронов, 2017; Ivanić et al., 2019). Стоит отметить, что некоторые способы приготовления грибов способны снизить концентрацию радионуклидов в данных продуктах питания (Gwynn et al., 2013; Guillén & Baeza, 2014; Варфоломеева, 2015).

Ниже представлены особенности распределения публикаций типа «Article» с ключевыми словами «radionuclides» и «mushrooms» по годам (рис. 1.10) и по странам (рис. 1.11), опубликованные в международных журналах базы Scopus.

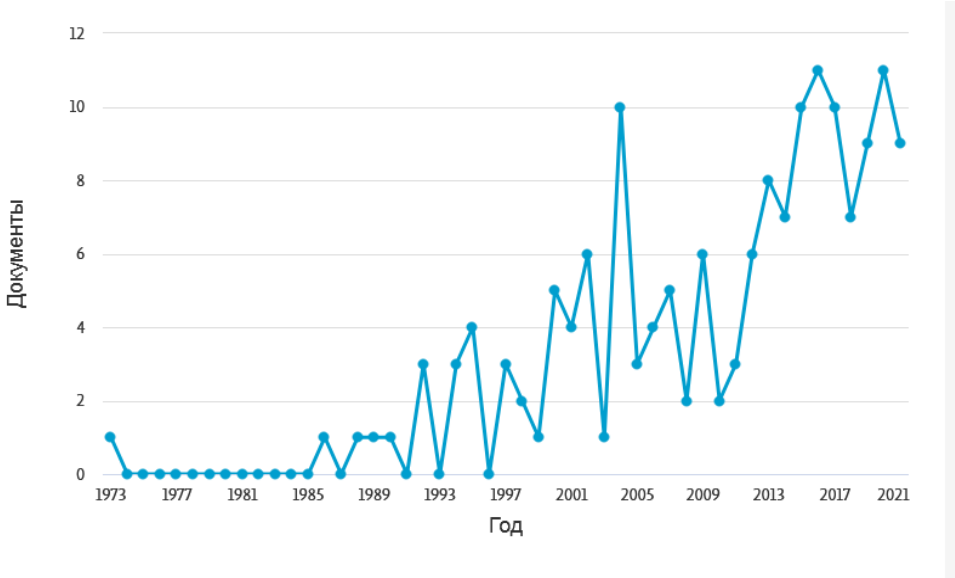



Рисунок 1.10 – Распределение публикаций типа «Article» с ключевыми словами «radionuclides» и «mushrooms» по годам, опубликованные в международных журналах базы Scopus

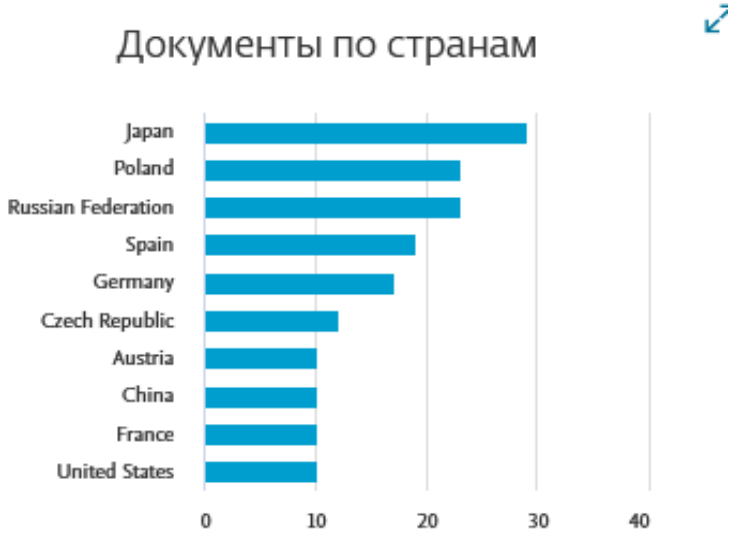



Рисунок 1.11 – Распределение всех публикаций по странам с ключевыми словами «radionuclides» и «mushrooms», опубликованные в международных журналах базы Scopus

Интерес к оценке радионуклидного состава различных грибов возник после аварии на Чернобыльской АЭС (рис. 1.10). Наиболее активно радионуклиды в грибах исследуются в Японии (после аварии на АЭС Фукусима, 2011 год), в Польше

и Российской Федерации (Восточно-Уральский радиоактивный след, 1957 год; авария на Чернобыльской АЭС) (рис. 1.11).

### 1.3.4. Радионуклиды в лесной и луговой подстилках

Лесная подстилка — это «…слой органического материала над верхней частью почвы, который сформирован растительным опадом в разной степени разложения» (Ильина, Сапожников, 2007). Разложение лесной подстилки (опада) зависит от множества факторов, но в первую очередь от температуры воздуха, количества осадков и относительной влажности воздуха (Rafferty et al., 2000; Bonzom et al., 2016). Лесная подстилка играет роль буфера (или преграды) при поступлении различных поллютантов в почвы в результате атмосферных выпадений и оказывает влияние на круговорот питательных веществ в лесных экосистемах (Семенова-Тян-Шанская, 1960; Данилов, 2000; Титлянова и Шибарева, 2012; Скрипников, 2015; Baldrian, 2017).

Необходимо отметить неоднородность лесной подстилки. Исследователи выделяют три слоя опада: «…1. Верхний слой состоит из веточек и листьев. Части растений легко различимы. 2. В среднем слое идет медленный процесс разложения. В слой входят измельченные остатки растений, которые еще смогли сохранить часть скелета и может находиться мицелий грибов. 3. Самый нижний слой – слой гумификации. Он имеет бурый или черный цвет, обладает равномерной смешанностью, состоит из однородного разложившегося вещества, близкого к минеральной части почвы. Элементы почвы входят в подстилку при смешивании с почвенной фауной…» (Ильина и Сапожников, 2007; Титлянова и Шибарева, 2012).

Ниже представлены особенности публикаций типа «Article» с ключевыми словами «radionuclides» и «plant litter or forest litter» по годам, опубликованные в международных журналах базы Scopus.

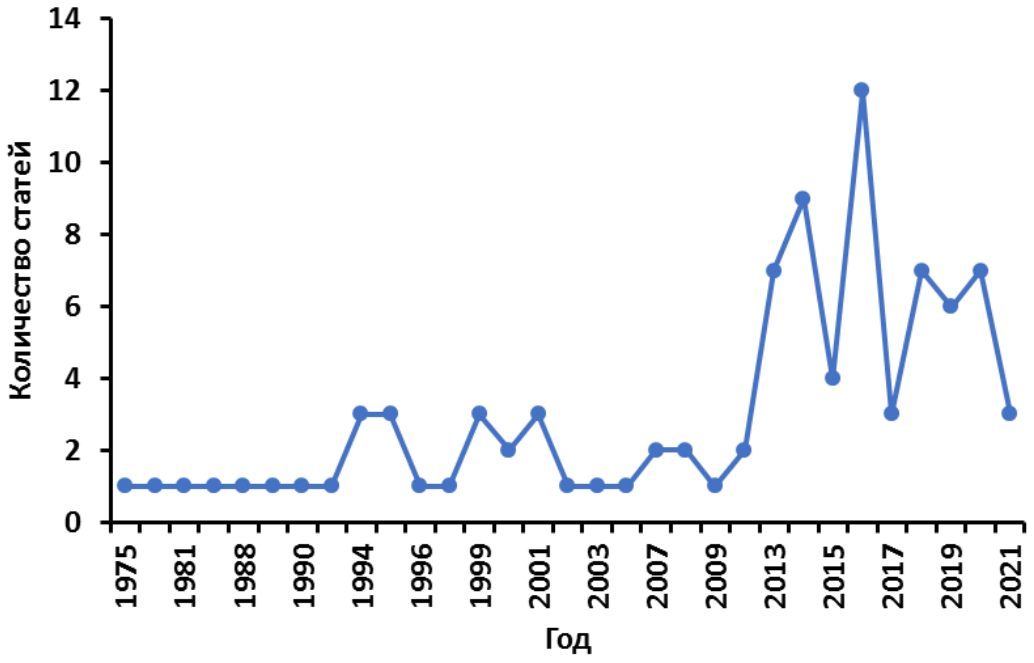



Рисунок 1.12 – Распределение публикаций типа «Article» с ключевыми словами «radionuclides» и «plant litter or forest litter» по годам, опубликованные в международных журналах базы Scopus

Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных разным аспектам изучения подстилки (опада), радионуклидный состав данного компонента экосистемы начал активно изучаться после аварии на АЭС Фукусима (2011 год) (рис. 1.12). Это обусловлено тем, что на территориях, покрытых лесом, основная масса радиоактивных выпадений все-таки приходится на кроны деревьев с последующим смывом на подстилку (опад). Мощный листовой (хвойный) опад может препятствовать поступлению радионуклидов (преимущественно радиоцезия) в почвы.

**В целом по итогам анализа литературы по тематике исследования можно сделать следующие выводы:**

– Исследования по оценке удельной активности радионуклидов в различных объектах окружающей среды стремительно начали расти после аварии на Чернобыльской АЭС (26 апреля 1986 года). Это обусловлено усовершенствованием материально-методических ресурсов как по измерениям мощности дозы ионизирующих излучений, так и по концентрации радионуклидов в объектах

экосферы. Хотя радиометрическая и спектрометрическая аппаратурная база начала активно развиваться в период испытаний ядерного оружия и даже ранее.

– Результаты радиационных исследований окружающей среды в настоящее время используются не только в мониторинге предприятий ядерной топливной энергетики, но и в сельском хозяйстве (эрозия почв), геофизике (ионизация атмосферы), геологии и поиске месторождений полезных ископаемых и др. Возрос интерес и к оценке фона от природных радионуклидов, особенно в местах урановых шахт, предприятий угольной промышленности, нефтегазовой отрасли.

– Ведется поиск перспективных объектов флоры (мхов, грибов, лишайников, травянистых растений) для индикации, мониторинга радиоактивного загрязнения почв, водоемов и атмосферы.

– Человеческая деятельность, урбанизация, промышленность оказывают влияние на радиоактивность окружающей среды не только из-за выбросов искусственных радионуклидов в результате, например, аварий на предприятиях ядерной топливной энергетики, но и за счет техногенно повышенного фона от естественных радионуклидов земного происхождения.

– Несмотря на многочисленные публикации по оценке радиоактивности окружающей среды, все данные достаточно разрознены и несколько хаотичны. Основное внимание уделяется территориям, пострадавшим либо от аварий на АЭС, испытаний ядерного оружия, либо от чрезмерной урбанизации и индустриализации. Сложно составить полную картину о распределении как гамма-фона, так и радионуклидов в окружающей среде в пределах населенных пунктов, природных и техногенных территориях, в том числе в отсутствие урбанизации и при слабом влиянии промышленности.

# ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ[1]

## *2..1 Контрольные участки и модельные площадки на территории Ростовской области*

### 2.1.1. Особо охраняемые природные территории Ростовской области

К особо охраняемым природным территориям (ООПТ) относятся «…государственные природные заповедники, заказники, природные парки и т.д…» (Тельнова, 2015). Радиационная обстановка в данной работе оценивалась как на территориях таких государственных (федеральных) природных заповедников, так и на ООПТ регионального значения. Расположение КУ на ООПТ Ростовской области приведены на рис. 2.1.

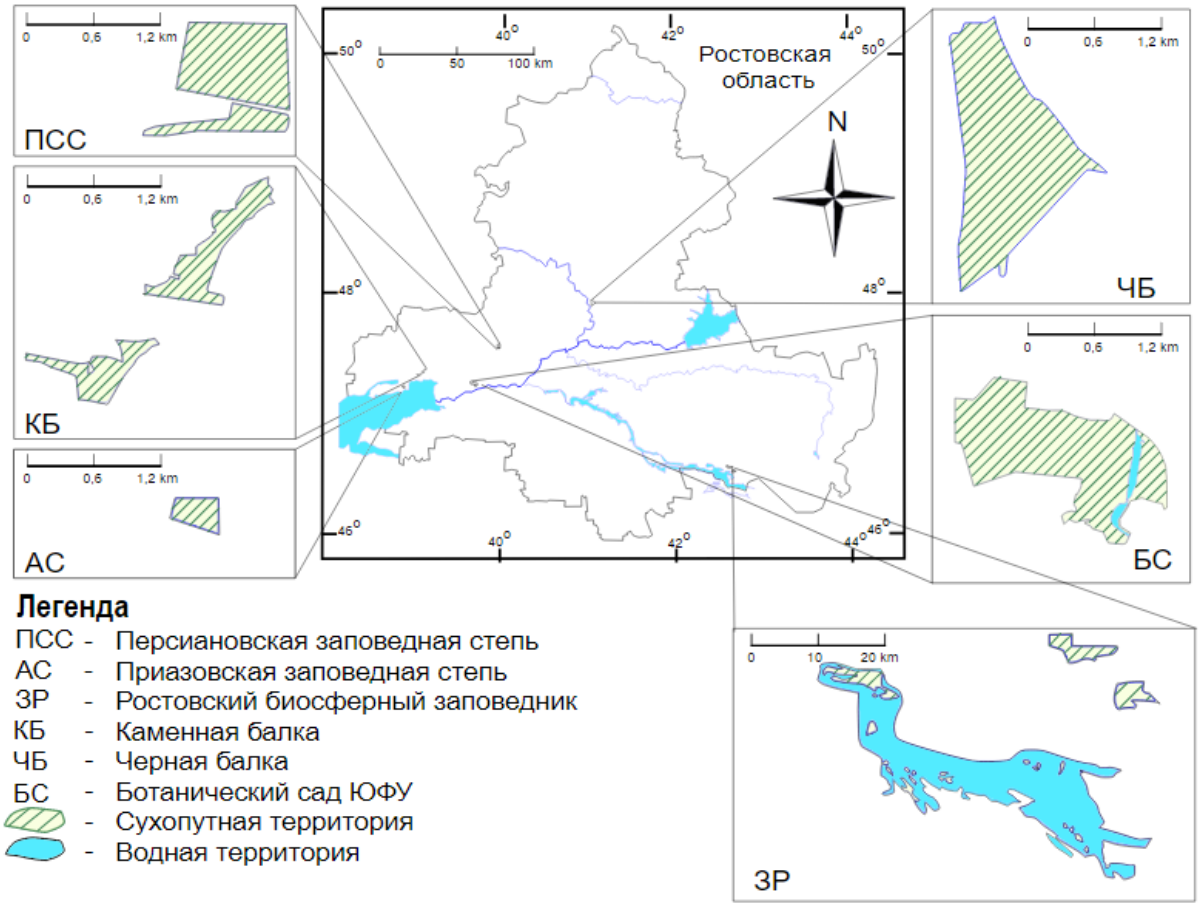



Рисунок 2.1 – Карта-схема расположения контрольных участков в пределах ООПТ Ростовской области (Бураева и др., 2022д)

[1] Также детальное описание контрольных участков и модельных прощадок в регионах Северного Кавказа представлено в коллективной монографии автора: Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и дозовые нагрузки от природных источников ионизирующего излучения в регионах Северного Кавказа : монография / Е. А. Бураева, Н. В. Маломыжева, А. А. Ширяева ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. – 289 с. ISBN 978-5-9275-4255-0 DOI 10.18522/801299992

**1. Государственный природный биосферный заповедник «Ростовский»**

Детальное описание государственного природного биосферного заповедника «Ростовский» (далее – «заповедник Ростовский») представлено на его официальном сайте (Заповедник Ростовский, 2022; Официальный портал Правительства Ростовской области, 2022). ООПТ расположен на территории Орловского и Ремонтненского районов Ростовской области (Заповедник Ростовский, 2022).

Радиоэкологические экспедиции проводились на участках «Островной» и «Стариковский». На территории Заповедника «Ростовский» развиты, преимущественно, «…каштановые и темно-каштановые почвы. Встречаются солонцы, солончаки и лугово-каштановые почвы…» (Заповедник Ростовский, 2022; Безуглова и Хырхырова, 2008; Вальков и др., 2008).

**2. Ботанический сад Южного федерального университета** расположен в черте г. Ростова-на-Дону и является ООПТ федерального значения (Официальный портал Правительства Ростовской области, 2022; Ботанический сад ЮФУ, 2022).

**3. Урочище «Черная балка»** расположено в Белокалитвинском районе Ростовской области на берегу р. Северский Донец. Этот парк природы местного значения, имеющий режим заказника (Официальный портал Правительства Ростовской области, 2022).

**4. Каменная балка** – «…образец типичного природного ландшафта правого коренного борта дельты Дона…» (Официальный портал Правительства Ростовской области, 2022). Данная ООПТ расположена в Мясниковском районе Ростовской области и «…является эталонным участком Недвиговского энтомологического рефугиума…» (Официальный портал Правительства Ростовской области, 2022).

**5. Персиановская заповедная степь** – «…степной целинный участок как образец исчезающей природы донских степей…» (Официальный портал Правительства Ростовской области, 2022). Данный ООПТ расположен в Октябрьском районе Ростовской области в 10 км от г. Новочеркасска.

**6. Степь Приазовская** расположена в Мясниковском районе Ростовской области, рядом х. Недвиговка. «Степь Приазовская представляет собой часть степной равнины, исключенной из хозяйственного использования последние 50–60

лет и используемой в учебных целях, служит научным полигоном для изучения степных сукцессионных процессов и стадий самозарастания…» (Официальный портал Правительства Ростовской области, 2022).

Годы исследования, количество отобранных проб и выполненных измерений МАЭД, характеристики почвенного покрова ООПТ Ростовской области представлены в таблицах 2.1–2.3.

Таблица 2.1 – Количество отобранных проб и выполненных измерений МАЭД Ростовской области

| ООПТ | Годы исследований | Количество проб/измерений/разрезов, шт | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | МАЭД | Почвенные разрезы | Поверхностные пробы | Растения | Подстилка |
| Персиановская заповедная степь | 2012, 2013, 2015 | 339 | 3 | 10 | – | – |
| Заповедник «Ростовский» | 2015, 2016, 2018, 2019, 2021 | 1003 | 11 | 55 | – | – |
| «Ботанический сад ЮФУ» | 2013, 2014, 2016, 2019, 2020 | 1509 | 4 | 71 | – | – |
| «Приазовская степь» | 2012–2016, 2021 | 1302 | 18 | 49 | – | – |
| Урочище «Каменная балка» | 2018 | 60 | 1 | 5 | – | – |
| Урочище «Черная балка» | 2018, 2019, 2021 | 648 | 6 | 15 | – | – |

Таблица 2.2 – Почвы особо охраняемых природных территорий (Бураева и др., 2022д)

| ООПТ | Шифр участка | Тип почвы по классификации: | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1977 год | 2004 год | WRB |
| Персиановская заповедная степь (**ПСС**) | КУП 1 | Чернозем обыкновенный карбонатный мощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Чернозем миграционно-сегрегационный мощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Calcic Chernozem (Pachic) |

| ООПТ | Шифр участка | Тип почвы по классификации: | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1977 год | 2004 год | WRB |
| | КУП 2 | Чернозем обыкновенный карбонатный мощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Чернозем миграционно-сегрегационный мощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Calcic Chernozem (Pachic) |
| Заповедник «Ростовский» (**ЗР**) | КУП 3 | Каштановая среднемощная карбонатная тяжелосуглинистая солонцеватая почва на желто-бурых суглинках | Каштановая солонцеватая среднемощная карбонатная тяжелосуглинистая на желто-бурых суглинках | Haplic Kashtanozem (Sodic) |
| | КУП 4 | Каштановая солончаковатая глубокосолонцеватая среднемощная тяжелосуглинистая на желто-бурых лессовидных суглинках и глинах | Каштановая засоленная глубокосолонцеватая среднемощная тяжелосуглинистая на желто-бурых лессовидных суглинках и глинах | Haplic Kashtanozem (Endosalic Sodic) |
| | КУП 5 | Солонец каштановый корковый тяжелосуглинистый на желто-бурых лессовидных суглинках и глинах | Солонец светлый корковый тяжелосуглинистый на желто-бурых лессовидных суглинках и глинах | Mollic Solonetz (Clayic) |
| | КУП 6 | Солончак корковый тяжелосуглинистый на аллювиальных отложениях | Солончак типичный тяжелосуглинистый на аллювиальных отложениях | Fluvic Solonchaks (Loamic) |
| «Ботанический сад ЮФУ» (**БС**) | КУП 7 | Чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке | Чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке | Calcic Chernozem (Pachic) |
| | КУП 8 | Лугово-черноземная тяжелосуглинистая на лессовидном суглинке | Чернозем квазиглееватый тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке | Gleyic Chernozem (Loamic) |
| | КУП 9 | Лугово-болотная почва на аллювиально-делювиальных отложениях | Перегнойно-квазиглеевая типичная на аллювиально-делювиальных отложениях | Gleyic Histic Fluvisols |
| «Приазовская степь» (**АС**) | КУП 10 | Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Чернозем миграционно-сегрегационный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Calcic Chernozem (Pachic) |

| ООПТ | Шифр участка | Тип почвы по классификации: | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1977 год | 2004 год | WRB |
| | КУП 11* | Чернозем обыкновенный карбонатный террасовый намытый среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Чернозем миграционно-сегрегационный среднемощный намытый тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Calcic Chernozem |
| | КУП 12* | Аллювиально-луговая глеевая тяжелосуглинистая на аллювиальных отложениях | Аллювиальные темногумусовые квазиглеевые на аллювиальных отложениях | Gleyic Fluvisols (Humic) |
| | КУП 13* | Солончак луговой корковый, глубоко профильный карбонатный глинистый на аллювиальных отложениях | Солончак глеевый корковый глубоко карбонатный глинистый на аллювиальных отложениях | Fluvic Solonchaks (Calcaric) |
| Урочище «Каменная балка» (**КБ**) | КУП 14 | Чернозем обыкновенный карбонатный неполноразвитый на элювии известняков | Чернозем миграционно-сегрегационный со слаборазвитым профилем на элювии известняков | Calcic Skeletic Chernozem |
| Урочище «Черная балка» (**ЧБ**) | КУП 15 | Чернозем южный неполноразвитый на погребенном черноземе | Чернозем текстурно-карбонатный со слаборазвитым профилем на погребенном черноземе | Calcic Skeletic Chernozem |
| | КУП 16 | Чернозем южный карбонатный среднемощный среднесуглинистый каменистый на элювии плотных пород | Чернозем текстурно-карбонатный среднемощный среднесуглинистый каменистый на элювии плотных пород | Calcic Skeletic Chernozem (Loamic) |
| | КУП 17 | Чернозем южный карбонатный сильносмытый среднесуглинистый каменистый | Чернозем текстурно-карбонатный сильносмытый среднесуглинистый каменистый | Calcic Skeletic Chernozem (Loamic) |

*Почвенные разрезы закладывались за пределами территории ООПТ «Приазовская заповедная степь» на террасном спуске и в пойме реки Мертвый Донец.

Стоит отметить, что исследуемые ООПТ расположены как на территории с черноземными почвами, так и в «зоне каштановых почв». На данных модельных

площадках и контрольных участках представлена значительная часть зональных и интразональных почв, распространенных в Ростовской области (Бураева и др., 2022д).

КУП 7. Чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке

КУП 8. Лугово-черноземная тяжелосуглинистая на лессовидном суглинке

Рисунок 2.2 – Виды профилей распределения почв ООПТ Ростовской области

Таблица 2.3 – Характеристика КУ особо охраняемых природных территорий

| Шифр участка | Содержание гумуса, % | Уровень pH | Ссылки |
|---|---|---|---|
| КУП 1 | 5,08 ± 0,26 | 7,5 | Гончарова и др., 2015 |
| КУП 2 | 5,08 ± 0,26 | 7,5 | Гончарова и др., 2015 |
| КУП 3 | 2,7 – 2,8 | 7,6 – 7,8 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 4 | 1,7 – 2,1 | 7,0 – 8,0 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 5 | 1,7 – 2,1 | 7,0 – 8,0 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 6 | 2,0 – 3,0 | 7,0 – 8,0 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 7 | 3,55 ± 0,30 | 7,5 | Гончарова и др., 2015 |
| КУП 8 | 4,3 – 4,8 (до 6,0) | 7,0 – 8,0 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 9 | 2,3 – 3,4 | 7,0 – 8,0 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 10 | 4,00 ± 0,31 | 7,5 | Гончарова и др., 2015 |
| КУП 11 | 5,4 – 6,0 | 7,0 – 8,2 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 12 | От 1,0 – 1,5<br>До 3,0 – 4,0 | 7,0 – 8,0 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 13 | 3,0 – 5,0 | 7,0 – 8,0 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 14 | 5,4 – 6,0 | 7,0 – 8,2 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 15 | 4,0 – 5,0 | 7,6 – 8,1 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 16 | 4,0 – 5,0 | 7,6 – 8,1 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |
| КУП 17 | 4,0 – 5,0 | 7,6 – 8,1 | Безуглова и Хырхырова, 2008 |

Физико-химические свойства черноземов обыкновенных карбонатных на КУП 1, КУП 2, КУП 7 и КУП 10, в том числе и в динамике во времени, представлены в работе Гончаровой Л. Ю. с соавторами (Гончарова и др., 2015). Детальное описание почв Ростовской области, а также их физико-химические свойства, приведены в работе (Безуглова и Хырхырова, 2008).

Исследуемые на территориях ООПТ Ростовской области почвы преимущественно нейтральные или слабощелочные. Тип засоления большей частью сульфатный или хлоридно-сульфатный, реже хлоридный и сульфатно-хлоридный (Безуглова и Хырхырова, 2008). Следует отметить, что все контрольные участки закладывались на целинных или старозалежных почвах.

Как показано в коллективных работах автора «…растительный покров на участках представляет собой преимущественно полынно-злаковую степь. Преобладают полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), овсяница валисская (*Festuca valesiaca*), мятлик луговой (*Poa pratensis*)…» (Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Бураева и Безуглова, 2022).

Авторы также указывают, что «…на участках с развитыми лугово-черноземными, аллювиально-луговыми и лугово-болотными почвами встречается разнотравная луговая растительность: тысячелистник благородный (*Achillea nobilis*), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*), цикорий (*Cichorium intybus*), марьянник полевой (*Melampyrum arvense*), полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), а также различные злаки…» (Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Бураева и Безуглова, 2022).

При этом необходимо отметить, что «…участки с солончаками характеризуются наличием в травостое представителей галофильной растительности типа сарсазана шишковатого (*Halocnemum strobilaceum*) и солянки мясистой (*Salsola faliosa*). Практически на всех участках травяной покров сомкнутый (кроме солончаков)…» (Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Бураева и Безуглова, 2022).

### 2.1.2. Зона наблюдения Ростовской АЭС

В зону наблюдения Ростовской (ранее Волгодонской) АЭС входят Волгодонский, Дубовский и Цимлянский районы Ростовской области. Данные районы расположены на востоке области на побережье Цимлянского водохранилища (приплотинный участок) (Отчет, 2000).

Контрольные участки (КУ) для проведения исследований радиационного состояния наземных экосистем 30-километровой зоны наблюдения Ростовской АЭС в предпусковой и последующие периоды закладывались в 1999-2000 годах в рамках Предпускового мониторинга района размещения Ростовской АЭС (Отчет, 2000). Все исследуемые контрольные участки и модельные площадки заложены на целинных и залежных землях. На рис. 2.3 представлена карта-схема расположения КУ в зоне наблюдения Ростовской АЭС. Характеристики КУ и МП (фактический собранный материал, почвенный покров, физико-химические свойства почвы, растительный покров) представлены в таблицах 2.4–2.8.

Рисунок 2.3 – Карта-схема расположения контрольных участков в 30-километровой зоне наблюдения Ростовской АЭС (Бураева и др., 2022д)

Таблица 2.4 – Количество отобранных проб и выполненных измерений МАЭД на территории зоны наблюдения Ростовской АЭС

| Шифр участка | Расположение участка | Количество проб/измерений, шт | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | МАЭД | Почвенные разрезы | Поверхностные пробы | Растения | Подстилка |
| 3 | Ст. Жуковская, Дубовский район | 6284 | >50 | >150 | 10 | 10 |
| 12 | Ст. Подгоренская, Волгодонский район | | >50 | >150 | 10 | 10 |
| 75а | Полигон бытовых отходов, в 7 км от г. Волгодонска | | >50 | >150 | 10 | 10 |
| 188а | Контрольно-пропускной пункт Ростовской АЭС. Балка на повороте трассы Волгодонск — Дубовская | | 5 | 5 | – | – |
| 133а | Х. Харсеев, береговая зона Цимлянского водохранилища | | >10 | 15 | – | – |
| 201 | Пойма р. Дон. Трасса Волгодонск — Цимлянск | | >50 | >150 | 10 | 10 |
| 208 | Х. Минаев, Дубовский район | | >20 | >20 | – | – |

Таблица 2.5 – Почвы зоны наблюдения Ростовской АЭС

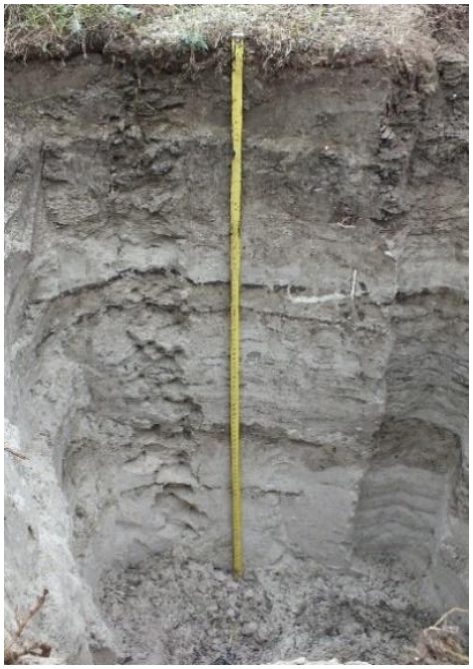
| Шифр участка | Годы исследований | Тип почвы по классификации: | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1977 год | 2004 год | WRB |
| 3 | 2000–2021 | Темно-каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках | Чернозем текстурно-карбонатный солонцеватый | Haplic Kashtanozem (Pachic) |
| 12 | 2000–2021 | Лугово-каштановая мощная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках | Каштановая гидрометаморфизованная | Gleyic Kashtanozem |
| 75а | 2000–2021 | Каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках | Каштановая солонцеватая | Haplic Kashtanozem (Sodic) |
| 188а | 2000, 2001, 2005, 2006, 2014 | Лугово-каштановая мощная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках | Каштановая Гидрометаморфизованная | Gleyic Kashtanozem (Pachic) |

| Шифр участка | Годы исследований | Тип почвы по классификации: | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1977 год | 2004 год | WRB |
| 133а | 2000, 2005, 2006, 2018–2021 | Темно-каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках | Чернозем текстурно-карбонатный солонцеватый | Haplic Kashtanozem (Pachic Sodic) |
| 201 | 2000–2021 | Аллювиально-луговая легкосуглинистая на аллювиальных погребенных отложениях | Аллювиальная темногумусовая глеевая типичная | Gleyic Fluvisols |
| 208 | 2000–2013, 2015, 2016 | Каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на желто-бурых глинах | Каштановая солонцеватая | Haplic Kashtanozem (Sodic) |

Зона наблюдения Ростовской АЭС находится на границе черноземной и каштановой почвенных зон (Отчет, 2000; Безуглова и Хырхырова, 2008; Вальков и др., 2008).

Ниже представлены фотографии почвенных профилей на контрольных участках зоны наблюдения Ростовской АЭС.

КУ 12. Лугово-каштановая мощная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках



КУ 201. Аллювиально-луговая легкосуглинистая на аллювиальных погребенных отложениях

КУ 3. Темно-каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках

КУ 133а. Темно-каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках

Рисунок 2.4 – Вид почвенных профилей

Таблица 2.6 – Морфолого-генетические показатели контрольных участков зоны наблюдения Ростовской АЭС (Янкова и др., 2009; Коломоец и др., 2012; Бураева и др., 2007б; Кобцева и др., 2008; Крыщенко и др., 2008; Бураева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Бураева и др., 2010; Бураева, 2012; Бураева и др., 2014б)

| Шифр участка | Мощность, А + В, см | | Вскипание от 10 % HCl, см | | | | Глубина выделений $CaCO_3$, см | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | слабое | | бурное | | | |
| | 2003 | 2008 | 2003 | 2008 | 2003 | 2008 | 2003 | 2008 |
| 3 | 43 | 42 | 33 | - | 37 | 42 | 43 | 64 |
| 12 | 68 | 64 | - | - | - | - | - | - |
| 75а | 42 | 58 | - | 40 | 29 | 46 | 44 | 60 |
| 201 | 44 | 51 | - | 2 | 30 | 22 | 40 | 35 |
| 208 | 42 | 50 | 14 | 35 | 33 | 43 | 45 | 51 |

Как показано в ряде коллективных работ автора «…поведение радионуклидов в системе «почва — раствор», их полнота поглощения и прочность закрепления зависят как от химических свойств самих радионуклидов, так и от физико-

химических особенностей среды, к которым относятся pH, температура раствора, присутствие в нем различных катионов и комплексообразователей, химический состав почвы, режим ее увлажнения и другие факторы…» (Янкова и др., 2009; Коломоец и др., 2012; Бураева и др., 2007б; Кобцева и др., 2008; Бураева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Бураева и др., 2010; Бураева, 2012; Бураева и др., 2014б). Авторы указывают, что «…по основополагающим почвенным показателям загрязнения и прогнозировать поведение радионуклидов в наземных экосистемах…» (Янкова и др., 2009; Коломоец и др., 2012; Бураева и др., 2007б; Кобцева и др., 2008; Крыщенко и др., 2008; Бураева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Бураева и др., 2010; Бураева, 2012; Бураева и др., 2014б).

Таблица 2.7 – Биохимические свойства почв 30-километровой зоны Ростовской АЭС, 2008 г. (Янкова и др., 2009; Коломоец и др., 2012; Бураева и др., 2007б; Кобцева и др., 2008; Крыщенко и др., 2008; Бураева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Бураева и др., 2010; Бураева, 2012; Бураева и др., 2014б)

| Шифр участка | Глубина, см | Гумус, % | pH | Каталаза, мл $O_2$ /г за 1 мин | Уреаза, $NH_3$ на 10 г за 24 часа |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 1-3 | 4,57 | 7,41 | 12,1 | 28,0 |
| | 3-5 | 4,51 | 7,34 | 13,2 | 34,5 |
| | 5-10 | 3,51 | 7,36 | 16,0 | 17,0 |
| | 10-15 | 3,23 | 7,59 | 14,1 | 11,0 |
| | 15-25 | 2,92 | 7,68 | 10,3 | 7,5 |
| | 25-35 | 1,84 | 7,65 | 9,3 | 7,5 |
| | 35-45 | 1,33 | 7,85 | 7,9 | 7,5 |
| 12 | 1-3 | 4,52 | 6,90 | 15,2 | 22,0 |
| | 3-5 | 3,62 | 6,98 | 17,2 | 11,5 |
| | 5-10 | 3,14 | 6,86 | 15,2 | 6,5 |
| | 10-15 | 3,13 | 7,02 | 18,3 | 7,5 |
| | 15-25 | 2,82 | 7,12 | 16,0 | 7,0 |
| | 25-35 | 1,91 | 7,05 | 14,0 | 9,5 |
| | 35-45 | 1,82 | 7,02 | 15,7 | 4,5 |
| 75а | 1-3 | 4,12 | 8,17 | 8,7 | 15,5 |
| | 3-5 | 3,64 | 8,12 | 11,8 | 21,5 |
| | 5-10 | 2,25 | 8,32 | 11,4 | 14,5 |
| | 10-15 | 2,48 | 8,26 | 15,3 | 10,0 |
| | 15-25 | 2,09 | 8,22 | 10,7 | 5,0 |

| Шифр участка | Глубина, см | Гумус, % | pH | Каталаза, мл $O_2$ /г за 1 мин | Уреаза, $NH_3$ на 10 г за 24 часа |
|---|---|---|---|---|---|
| | 25-35 | 1,61 | 8,37 | 9,9 | 6,0 |
| | 35-45 | 1,25 | 8,25 | 11,9 | 6,5 |
| 201 | 1-3 | 3,39 | 7,85 | 3,7 | 10,0 |
| | 3-5 | 2,53 | 7,93 | 5,3 | 11,0 |
| | 5-10 | 2,50 | 8,16 | 7,1 | 18,5 |
| | 10-15 | 2,23 | 8,22 | 8,4 | 8,5 |
| | 15-25 | 1,46 | 8,15 | 6,9 | 9,0 |
| | 25-35 | 0,87 | 8,27 | 4,0 | 6,5 |
| | 35-45 | 0,65 | 8,38 | 1,4 | 5,0 |
| 208 | 1-3 | 4,38 | 7,61 | 18,4 | 9,0 |
| | 3-5 | 3,25 | 7,83 | 18,3 | 8,5 |
| | 5-10 | 2,92 | 7,87 | 18,3 | 6,0 |
| | 10-15 | 2,38 | 7,58 | 19,8 | 6,5 |
| | 15-25 | 2,18 | 7,70 | 19,8 | 9,0 |
| | 25-35 | 1,65 | 7,61 | 16,1 | 4,5 |
| | 35-45 | 0,96 | 8,23 | 19,1 | 6,5 |

Нашими исследованиями установлено, что «…в целом почвы зоны мониторинга характеризуются средней и богатой степенью обогащенности ферментами…» (Янкова и др., 2009; Коломоец и др., 2012; Бураева и др., 2007б; Кобцева и др., 2008; Крыщенко и др., 2008; Бураева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Бураева и др., 2010; Бураева, 2012; Бураева и др., 2014б).

Необходимо отметить, что «…только аллювиально-луговая почва обладает пониженной степенью обеспеченности всеми исследуемыми ферментами по шкале Звягинцева, что обусловлено более низким содержанием гумуса и более легким гранулометрическим составом…» (Янкова и др., 2009; Коломоец и др., 2012; Бураева и др., 2007б; Кобцева и др., 2008; Крыщенко и др., 2008; Бураева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Бураева и др., 2010; Бураева, 2012; Бураева и др., 2014б).

Проведенные нами исследования показали, что «…почвы зоны мониторинга сохраняют повышенную ферментативную активность в течение последних лет. Поэтому важнейшее значение приобретает реализация комплексной программы экологического мониторинга в районе размещения Ростовской АЭС…» (Янкова и

др., 2009; Коломоец и др., 2012; Бураева и др., 2007б; Кобцева и др., 2008; Крыщенко и др., 2008; Бураева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Бураева и др., 2010; Бураева, 2012; Бураева и др., 2014б).

Также высказано предположение, что «…высокая каталазная активность почв 30-километровой зоны Ростовской АЭС, обусловлена отсутствием антропогенного воздействия в данной зоне после запуска атомной электростанции…» (Янкова и др., 2009; Коломоец и др., 2012; Бураева и др., 2007б; Кобцева и др., 2008; Крыщенко и др., 2008; Бураева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Бураева и др., 2010; Бураева, 2012; Бураева и др., 2014б).

Учитывая, что «…почвенные ферменты обладают большой специфичностью и чувствительностью к изменениям окружающей среды, то по изменению ферментативной активности генетических горизонтов можно судить о перераспределении радионуклидов по профилю почв…» (Янкова и др., 2009; Коломоец и др., 2012; Бураева и др., 2007б; Кобцева и др., 2008; Крыщенко и др., 2008; Бураева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Бураева и др., 2010; Бураева, 2012; Бураева и др., 2014б).

Таблица 2.8 – Растительный покров на контрольных участках зоны наблюдения Ростовской АЭС (Отчет, 2000; Бураева и др, 2022д)

| Шифр участка | Растительный покров |
|---|---|
| 3 | Полынно-злаковая степь. Растительный покров сомкнутый |
| 12 | Луговое разнотравье. Растительный покров сомкнутый |
| 75а | Полынно-злаковая степь. Растительный покров сомкнутый |
| 188а | Луговое разнотравье. Растительный покров сомкнутый |
| 133а | Береговая зона Цимлянского водохранилища. Тополиная роща, разнотравье |
| 201 | Луговое разнотравье. Растительный покров сомкнутый |
| 208 | Полынно-злаковая степь. Растительный покров сомкнутый |

В ряде коллективных исследований зоны наблюдения Ростовской АЭС, в том числе и с участием автора было показано, что «…на контрольных участках

(мониторинговых площадках) достаточно разнообразный растительный покров. Некоторые КУ (12, 118а, 133а, 201) характеризуются луговым разнотравьем» (Янкова и др., 2009; Коломоец и др., 2012; Бураева и др., 2007б; Кобцева и др., 2008; Крыщенко и др., 2008; Бураева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Бураева и др., 2010; Бураева, 2012; Бураева и др., 2014б).

Авторы отмечают, что на данных контрольных участках «…произрастают тысячелистник благородный (*Achillea nobilis*), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*), цикорий (*Cichorium intybus*), марьянник полевой (*Melampyrum arvense*), полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), а также различные злаки». При этом «…на КУ 3, 75а, 208 преобладают полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), овсяница валисская (*Festuca valesiaca*), мятлик луговой (*Poa pratensis*)…» (Бураева и др., 2007б; Кобцева и др., 2008; Бураева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Бураева и др., 2010; Бураева, 2012; Бураева и др., 2014б Бураева и др., 2021а).

В зоне наблюдения Ростовской АЭС удельную активностиь радионуклидов анализировали в следующих травянистых растениях: полынь австрийская (*Artemisia austriaca*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), шалфей остепненный (*Salvia tesquicola*) и тысячелистник благородный (*Achillea nobilis*).

### 2.1.3. Природно-техногенная территория Новочеркасской ГРЭС

Новочеркасская ГРЭС (НчГРЭС) – одна из крупнейших тепловых электростанций региона. Ее работа основана на сжигании угля и газа. Выбрасываемые тепловыми станциями продукты сжигания угля, такие как зола и шлак, содержат естественные радионуклиды и микроэлементы Hg, As, Cr, Ni, V, Se, Cd (Минкина и др., 2011; Minkina et al., 2013; Давыдов и др., 2013; Sushkova et al., 2019), которые оседают на объекты окружающей среды, в том числе на почву и растения, и могут стать источником их загрязнения. Поскольку в г. Новочеркасске в течение года преобладают ветры восточного направления (Минкина и др., 2011; Minkina et al., 2013; Sushkova et al., 2019; Разуваев и др., 2018; Михеев, 2009;

Кобышева, 2001), то продукты горения угля и летучей золы выпадают как на окраины города, так и на центральную его часть.

Расположение КУ и характеристики почвенного покрова на природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС приведены на рис. 2.5 и в таблицах 2.9–2.11.

Рисунок 2.5 — Карта-схема расположения точек отбора (Минкина и др., 2011; Minkina et al., 2013; Sushkova et al., 2019)

НКУ 1 – удаленность от НчГРЭС 1 км, направление северо-восточное;
НКУ 2 – удаленность от НчГРЭС 3 км, направление юго-западное;
НКУ 3 – удаленность от НчГРЭС 2,7 км, направление юго-западное;
НКУ 4 – удаленность от НчГРЭС 1,6 км, направление северо-западное;
НКУ 5 – удаленность от НчГРЭС 1,2 км, направление северо-западное;
НКУ 6 – удаленность от НчГРЭС 2 км, направление северное;
НКУ 7 – удаленность от НчГРЭС 1,5 км, направление северное;

НКУ 8 – удаленность от НчГРЭС 5 км, направление северо-западное;
НКУ 9 – удаленность от НчГРЭС 15 км, направление северо-западное;
НКУ 10 – удаленность от НчГРЭС 20 км, направление северо-западное.

Таблица 2.9 – Количество отобранных проб и выполненных измерений природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС

| Шифр участка | Годы исследований | Количество проб/измерений, шт | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | МАЭД | Почвенные разрезы | Поверхностные пробы | Растения | Подстилка |
| НКУ 1 | 2012–2017 | 1897 | 3 | 15 | 1 | – |
| НКУ 2 | | | 3 | 15 | 2 | – |
| НКУ 3 | | | 3 | 15 | 2 | – |
| НКУ 4 | | | 3 | 15 | 2 | – |
| НКУ 5 | | | 2 | 15 | 2 | – |
| НКУ 6 | | | 3 | 20 | 2 | – |
| НКУ 7 | | | 3 | 20 | – | – |
| НКУ 8 | | | 2 | 20 | 2 | – |
| НКУ 9 | | | 2 | 5 | 1 | – |
| НКУ 10 | | | 2 | 5 | 2 | – |

На территории природно-техногенной зоны Новочеркасской ГРЭС на различных участках отбирались образцы тысячелистника (*Achillea millefolium*), полыни австрийской (*Artemisia austriaca*) и типчака (*Festuca valesiaca*) (Минкина и др., 2011; Minkina et al., 2013; Sushkova et al., 2019).

Таблица 2.10 – Почвы природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС (Минкина и др., 2011; Minkina et al., 2013; Sushkova et al., 2019)

| Шифр участка | Тип почвы по классификации: | | |
|---|---|---|---|
| | 1997 год | 2004 год | WRB |
| НКУ 1 | Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке | Haplic Chernozem |
| НКУ 2 | Аллювиально-луговая карбонатная слабогумусированная песчаная на аллювиальных отложениях | Аллювиальные темногумусовые квазиглеевые на аллювиальных отложениях | Haplic Chernozems (Stagnic) |
| НКУ 3 | Лугово-черноземная пойменная малогумусная легкоглинистая на аллювиальных отложениях | Аллювиальные темногумусовые квазиглеевые на аллювиальных отложениях | Fluvisols |
| НКУ 4 | Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке | Haplic Chernozem |

| Шифр участка | Тип почвы по классификации: | | |
|---|---|---|---|
| | 1997 год | 2004 год | WRB |
| НКУ 5 | Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке | Haplic Chernozem |
| НКУ 6 | Лугово-черноземная среднемощная малогумусная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках | Чернозем квазиглееватый тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке | Fluvisols |
| НКУ 7 | Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке | Haplic Chernozem |
| НКУ 8 | Лугово-черноземная среднемощная малогумусная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках | Чернозем квазиглееватый тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке | Fluvisols |
| НКУ 9 | Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке | Haplic Chernozem |
| НКУ 10 | Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | Чернозем миграционно-сегрегационный тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке | Haplic Chernozem |

Как показано в ряде работ «…природно-техногенная территория Новочеркасской ГРЭС характеризуется в основном черноземами обыкновенными и лугово-черноземными почвами. На отдельных участках распространены аллювиально-луговые почвы…» (Минкина и др., 2011). Физико-химические и агрохимические свойства почв контрольных участков НчГРЭС детально представлены в работах сотрудников Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета (Минкина и др., 2011).

Таблица 2.11 – Характеристика КУ природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС

| Шифр участка | Содержание гумуса, % | Уровень pH | Ссылки |
|---|---|---|---|
| НКУ 1 | 4,2 | 7,6 | Минкина и др., 2011 |
| НКУ 2 | 3,1 | 7,5 | |
| НКУ 3 | 4,6 | 7,1 | |
| НКУ 4 | 4,5 | 7,4 | |
| НКУ 5 | 4,2 | 7,4 | |
| НКУ 6 | 4,0 | 7,6 | |
| НКУ 7 | 4,2 | 7,5 | |
| НКУ 8 | 4,8 | 7,2 | |

| Шифр участка | Содержание гумуса, % | Уровень pH | Ссылки |
|---|---|---|---|
| НКУ 9 | 4,2 | 7,6 | |
| НКУ 10 | 4,5 | 7,7 | |

В исследованиях, посвященных территории расположения НчГРЭС показано, что «…растительный покров на контрольных участках природно-техногенной зоны Новочеркасской ГРЭС представляет собой в большей степени луговое разнотравье. На отдельных участках встречаются представители синантропной растительности. Растения, преобладающие на мониторинговых площадках природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС относятся к семействам мятликовые *(Poaceae*) и астровые (*Asteraceae)…»* (Федченко и др., 2013а; Федченко и др, 2013б; Федченко и др., 2013в; Федченко и др., 2013г; Данилова и др., 2014; Данилова и др., 2015; Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Дергачева и др., 2019; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Бураева и др., 2022а).

### 2.1.4. Территории городских и сельских поселений Ростовской области

На урбанизированных территориях Ростовской области исследования проводились в крупных и малых городах и ряде сельских поселений (включая дачные поселки). Особое внимание уделялось городам Ростову-на-Дону (Каменев и др., 2021а; Каменев и др., 2021б; Шадин и др., 2020; Шадин и др., 2021), Волгодонску (Ревнивцев, Бураева, 2020; Ревнивцев, Бураева, 2021а; Ревнивцев, Бураева, 2021б; Ревнивцев, Бураева, 2021в), Новочеркасску (Дергачева и др., 2019; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Бураева и др., 2022а) и Таганрогу. В населенных пунктах измерения гамма-фона проводились по улицам, в парковых зонах и за пределами населенных пунктов (для определения фоновых значений МАЭД).

Ниже представлены карты-схемы контрольных участков (мониторинговых площадок) в промышленных центрах Ростовской области (в городах Ростове-на-Дону, Новочеркасске, Волгодонске и Таганроге), а также в малых/средних городах и сельских населенных пунктах Ростовской области. В таблицах приведены данные по количеству измерений МАЭД гамма-излучения, отобранных почвенных проб и годах исследования.

***Ростов-на-Дону.*** Климат – умеренно-континентальный с мягкой зимой и жарким засушливым летом. (Кобышева, 2001; Разуваев и др., 2018; Михеев, 2009).

Рисунок 2.6 – Карта-схема расположения пунктов мониторинга МАЭД в г. Ростове-на-Дону

Таблица 2.12 – Количество измерений МАЭД в г. Ростове-на-Дону

| Годы исследования | Количество измерений МАЭД, шт |
|---|---|
| 2012–2021 | 22389 |

Для оценки распределения МАЭД в городе Ростове-на-Дону использовали деление территории следующие районы: Западный жилой массив (ЗЖМ – 1),

Левенцовка (ЛЕВ – 2), Болгарстрой (БСТР – 3), Стройгородок (СГ – 4), Военвед (ВВ – 5), Северный жилой массив (Вавилова – 6, СЖМ – 7), Чкаловский (ПЕРВ – 8), Сельмаш (СМ – 9), Александровка (АЛЕ – 10), Суворовский (СУВ – 11), Ботанический сад Южного федерального университета (БС) (Каменев и др., 2021а; Каменев и др., 2021б; Шадин и др., 2020; Шадин и др., 2021). Измерения МАЭД проводились в разные сезоны (летний, зимний, осенний и весенний), уделяя особое внимание спальным районам города (Каменев и др., 2021а; Каменев и др., 2021б; Шадин и др., 2020; Шадин и др., 2021). Образцы почвы отбирали за пределами г. Ростова-на-Дону.

***Новочеркасск***. Данный населенный входит число самых загрязненных городов России (Государственный доклад, 2018). При этом исследования, посвященные оценке экологического состояния г. Новочеркасска, крайне малочисленны (Милешко и Милашич, 2018).

Преобладающий тип почв – чернозем обыкновенный. Встречаются лугово-черноземные почвы, а в поймах рек – аллювиально-луговые (Безуглова и Хырхырова, 2008; Вальков и др., 2008).

Растительный покров – преимущественно полынно-злаковая степь, местами луговое разнотравье. На пустырях преобладают различные представители синантропной растительности (амброзия полыннолистная, марь обыкновенная, щирица, спорыш и др.) (Дергачева и др., 2019; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Бураева и др., 2022а). Климат – умеренно-континентальный, с мягкой зимой и засушливой погодой в летний период (Архив погоды в г. Новочеркасске, 2022; Разуваев и др., 2018; Михеев, 2009).

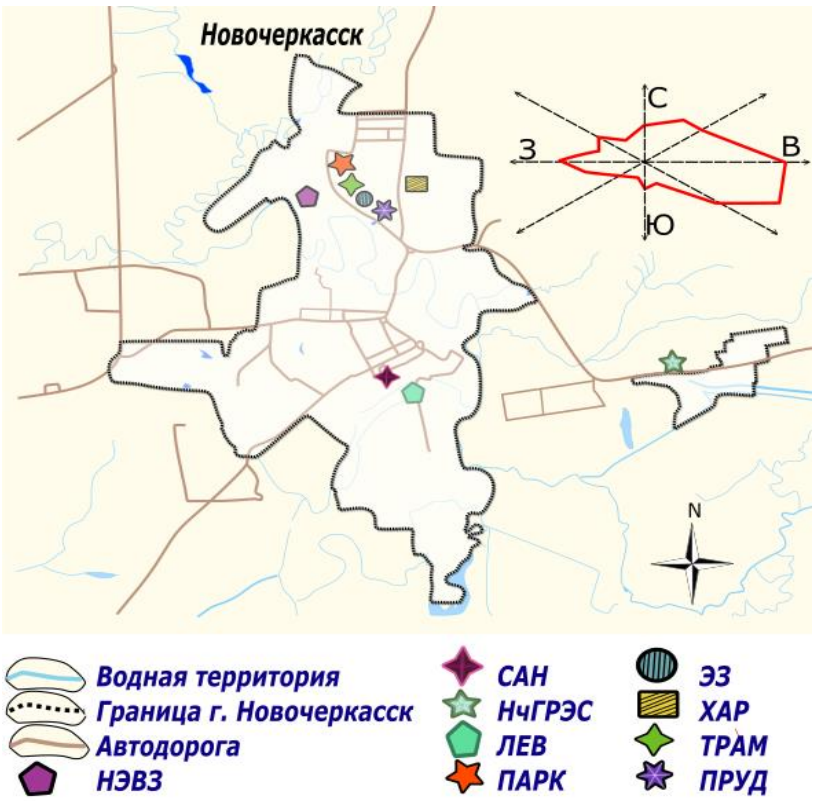



Рисунок 2.7 – Карта-схема расположения пунктов мониторинга МАЭД в г. Новочеркасске Ростовской области

Таблица 2.13 – Количество отобранных проб и выполненных измерений МАЭД в г. Новочеркасске

| Годы исследования | Количество измерений МАЭД, шт | Количество отобранных проб почвы |
|---|---|---|
| 2018–2020 | 1500 | 40 |

Контрольные участки для отбора почвенных проб (рис. 2.6) закладывались вокруг предприятий на пустырях и в спальных районах города, в том числе и в парковых зонах. Выбирались, по возможности, наиболее ненарушенные участки (Дергачева и др., 2019; Бураева и др., 2019г; Дергачева и др., 2020; Бураева и др., 2020б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а, Дергачева и др., 2021б).

***Волгодонск***. Волгодонск является городом-спутником Ростовской АЭС. Расположен на востоке Ростовской области рядом с Цимлянским водохранилищем (приплотинный участок) (Сайт администрации г. Волгодонска, 2022).

Волгодонск расположен на границе черноземной и каштановой почвенных зон – на границе степных и сухостепных территорий. На территории города развиты аллювиальные почвы с высоким содержанием песка (Безуглова и Хырхырова, 2008; Вальков и др., 2008). Город находится в зоне с континентальным климатом (сухим) с умеренно холодной, малоснежной зимой и очень теплым и солнечным летом (Разуваев и др., 2018; Михеев, 2009).

Таблица 2.14 – Количество отобранных проб и выполненных измерений МАЭД в г. Волгодонске

| Годы исследования | Количество измерений МАЭД, шт | Количество отобранных проб почвы, шт |
|---|---|---|
| 2018–2021 | 5993 | 109 |

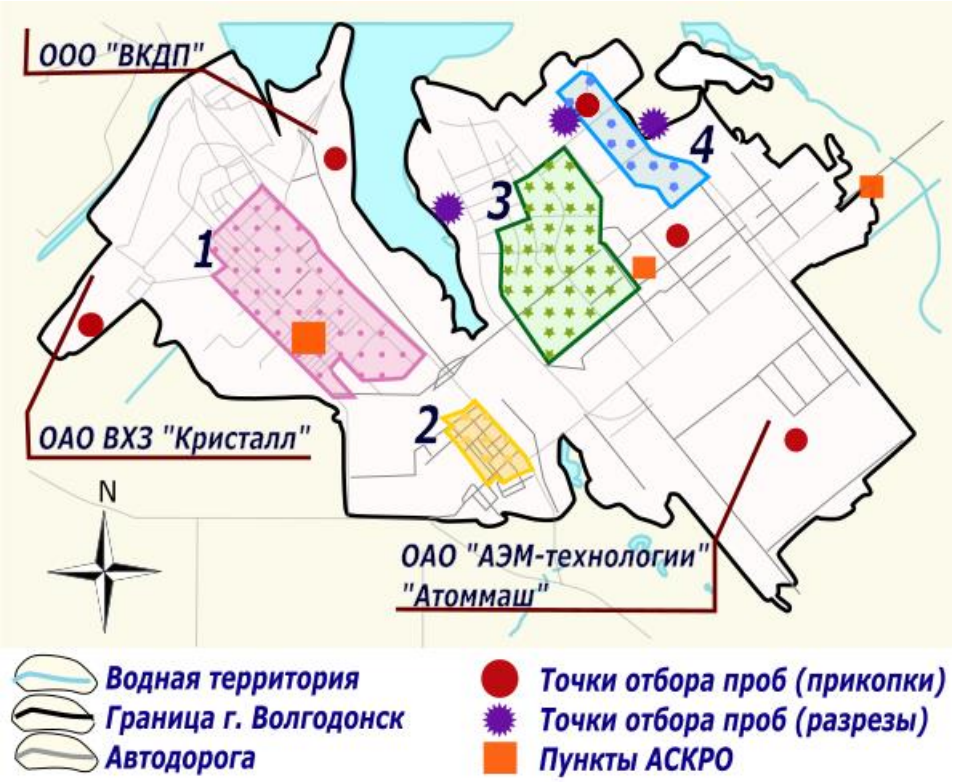



Рисунок 2.8 – Карта–схема выбранных зон мониторинга (розовая зона – Старый город, желтая зона – Красный Яр, голубая зона – частный сектор Нового города, зеленая зона – Новый город)

Контрольные участки для отбора почвенных проб (рис. 2.8) закладывались вокруг предприятий на пустырях и в жилых районах города. Выбирались, по

возможности, наиболее ненарушенные участки (Ревнивцев, Бураева, 2020; Ревнивцев, Бураева, 2021а; Ревнивцев, Бураева, 2021б; Ревнивцев, Бураева, 2021в).

***Таганрог.*** Город Таганрог расположен на берегу Таганрогского залива Азовского моря, в 70 километрах от города Ростова-на-Дону. Климат относительно сухой, переходный от мягко континентального к субтропическому климату средиземноморского типа (Разуваев и др., 2018; Михеев, 2009).

Рисунок 2.9 – Карта-схема расположения пунктов мониторинга МАЭД в г. Таганроге

В данном исследовании в г. Таганроге оценивалась МАЭД гамма-излучения в 2020–2022 годах вдоль наиболее оживленных городских улиц и в спальных жилых районах. Всего на территории г. Таганрога сделано 1583 измерения гамма-фона.

***Малые, средние города и сельские поселения Ростовской области.*** По разным оценкам, к малым городам Российской Федерации относятся «…городские населенные пункты с численностью населения менее 50000 человек, к средним городам – 50000–100000 человек и т. д.…» (Градостроительный кодекс Российской

Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ). Необходимо отметить, что «…численность населения Российской Федерации, проживающего в малых и средних городах, составляет примерно ¼ от населения нашей страны…» (Артамонова, 2009; Секушина, 2019). При этом «…по разным оценкам, в сельских населенных пунктах Российской Федерации проживает порядка 30% населения…» (Артамонова, 2009; Секушина, 2019).

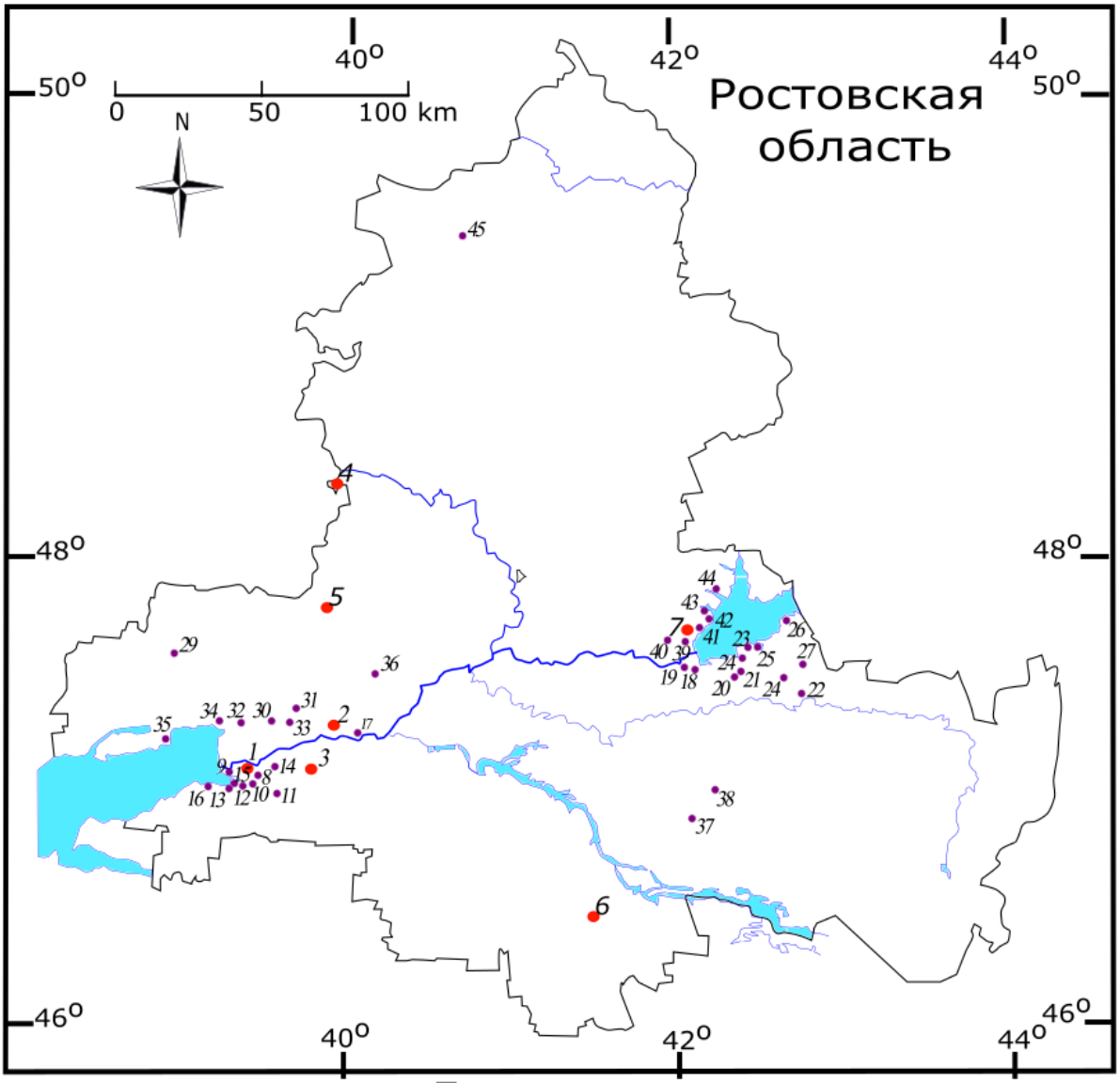
В Ростовской области некоторые сельские населенные расположены в непосредственной близости от предприятий ядерной топливной энергетики (с. Большие Салы и населенные пункты Волгодонского, Цимлянского и Дубовского районов Ростовской области) и в пределах восточного Донбасса (Родионово-Несветайский район) (Антонова и др., 2020; Антонова и др., 2021а; Антонова и др., 2021б; Бураева, 2022).

Также измерения гамма-фона проводились и в дачных поселках (например, хутор Морской Чулек и другие поселения на побережье Таганрогского залива Азовского моря в настоящее время используются в качестве дачных садоводческих территорий). Подобные населенные пункты, расположенные вдали от крупных автомобильных трасс и в отсутствие развитой промышленности и масштабных сельскохозяйственных работ, также могут дополнять фоновые значения МАЭД гамма-излучения для аналогичных территорий (Антонова и др., 2020; Антонова и др., 2021а; Антонова и др., 2021б; Бураева, 2022).

Ниже, на рис. 2.10 представлены карта-схема расположения исследуемых городских и сельских населенных пунктов на территории Ростовской области и, в таблице 2.15 – годы исследований.

Таблица 2.15 – Перечень городских населенных пунктов Ростовской области

| Наименование населенного пункта | Годы исследований | Население, чел. |
|---|---|---|
| Азов | 2019–2021 | 79 857 |
| Аксай | 2019–2021 | 46 631 |
| Батайск | 2019–2021 | 127 444 |
| Донецк | 2019–2021 | 46 741 |
| Новошахтинск | 2019–2021 | 105 038 |
| Сальск | 2019–2021 | 56 247 |
| Цимлянск | 2012–2016 | 14 406 |




**Легенда**

- Границы Ростовской области
- Водная территория
- Сельские поселения
- Малые и средние города

1 - Азов
2 - Аксай
3 - Батайск
4 - Донецк
5 - Новошахтинск
6 - Сальск
7 - Цимлянск
8 - с. Кулешовка
9 - с. Кагальник
10 - с. Пешково
11 - пос. Овощной
12 - с. Головатовка
13 - с. Круглое
14 - х. Новоалександровка
15 - с. Займо-Обрыв
16 - с. Стефанидинодар
17 - с. Старочеркасская
18 - х. Лагутники
19 - ст. Романовская
20 - х. Мокро-Соленый
21 - пос. Солнечный
22 - с. Дубовское
23 - х. Харсеев
24 - х. Верхний Лог
25 - ст. Жуковская
26 - х. Малая лучка
27 - х. Минаев
28 - ст. Подгоренская
29 - пос. Матвеев-Курган
30 - с. Чалтырь
31 - с. Большие Салы
32 - х. Недвиговка
33 - х. Ленинован
34 - х. Морской Чулек
35 - с. Петрушино
36 - пос. Персиановский
37 - пос. Орловский
38 - пос. Красноармейский
39 - ст. Красноярская
40 - пос. Дубравный
41 - х. Крутой
42 - ст. Хорошевская
43 - ст. Терновская
44 - ст. Калининская
45 - пос. Алексеево-Лозовское

Рисунок 2.10 – Карта-схема расположения городских и сельских поселений Ростовской области, анализируемых в данной работе

Численность населения части населенных пунктов Ростовской области оценивалась по результатам Всероссийской переписи населения 2010 года (Итоги Всероссийской переписи населения, 2010).

Все населенные пункты Ростовской области расположены в черноземной и каштановой почвенных зонах (Безуглова и Хырхырова, 2008). Основными задачами данного исследования являлось изучение распределения гамма-фона на урбанизированных территориях региона с различной степенью антропогенной нагрузки (Антонова и др., 2020; Антонова и др., 2021а; Антонова и др., 2021б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2022г; Горбов и др., 2016; Давыденко и др., 2015; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Деревяга и др., 2021; Дубров и др., 2021; Каменев и др., 2021а; Каменев и др., 2021б; Шадин и др., 2020; Шадин и др., 2021; Ревнивцев, Бураева, 2020; Ревнивцев, Бураева, 2021а; Ревнивцев, Бураева, 2021б; Ревнивцев, Бураева, 2021в; Ляхова и др., 2021а; Михайлова и др., 2017; Огиенко и др., 2021; Попов и др., 2015а; Слита и др., 2020; Шаповалов и др., 2021; Шаповалов и др., 2022; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Шаповалова и др., 2016в).

## *2.2. Контрольные участки и модельные площадки на территории Краснодарского края*

### 2.2.1. Контрольные участки на территориях городских и сельских поселений Краснодарского края

На территории Краснодарского края исследовались сельские и городские населенные пункты, расположенные в степной зоне, в предгорьях и на побережье Черного моря. На рисунке 2.11 и в таблице 2.16 представлен список населенных пунктов Краснодарского края, оцененных в данной работе (Плахотняя и др., 2020; Плахотняя, Бураева, 2021; Плахотняя и др., 2021а; Плахотняя и др., 2021б; Шульга, Бураева, 2021; Костырев и др., 2021).

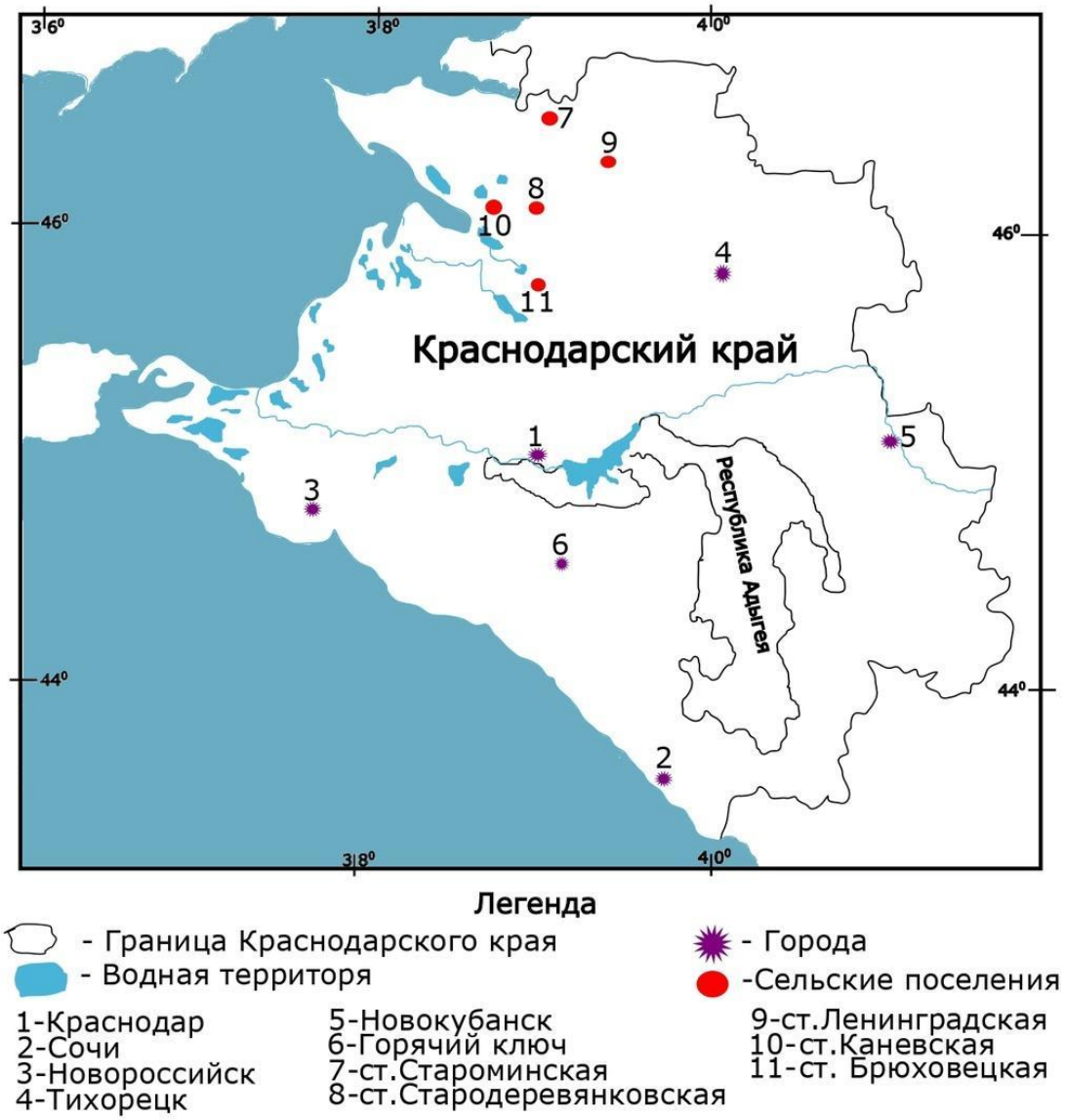



Рисунок 2.11 – Карта-схема расположения городских и сельских поселений Краснодарского края, анализируемых в данной работе

Таблица 2.16 – Перечень населенных пунктов Краснодарского края, в которых проводились исследования МАЭД гамма-излучения

| Наименование населенного пункта | Годы исследований | Население, чел. |
|---|---|---|
| ***Города*** | | |
| Краснодар | 2019–2021 | 948 827 |
| Сочи | 2019–2021 | 432 322 |
| Новороссийск | 2019–2021 | 275 795 |
| Тихорецк | 2019–2021 | 56 262 |
| Новокубанск | 2019–2021 | 34 925 |
| Горячий Ключ | 2019–2021 | 41 604 |
| ***Сельские поселения*** | | |
| ст. Староминская (Староминской район) | 2018–2021 | 29 809 |
| ст. Стародеревянковская (Каневской район) | 2019–2021 | 12 998 |

| Наименование населенного пункта | Годы исследований | Население, чел. |
|---|---|---|
| ст. Ленинградская (Ленинградский район) | 2019–2021 | 36 940 |
| ст. Каневская (Каневской район) | 2019–2021 | 44 386 |
| ст. Брюховецкая (Брюховецкий район) | 2019–2021 | 22 139 |

Необходимо отметить, что все исследуемые сельские поселения (станицы) Краснодарского края расположены на равнинной части региона, преимущественно с умеренным континентальным климатом и в черноземной зоне. Основной вид деятельности – сельское хозяйство.

### 2.1.2. Площадка в урочище Малый Лиман

Урочище Малый Лиман расположено на берегу Черного моря в Новороссийской районе Краснодарского края, в 9 километрах от поселка Абрау-Дюрсо. На территории урочища находится база практики и спортивно-оздоровительного туризма «Лиманчик» Южного федерального университета.

Урочище представляет собой амфитеатр из невысоких гор, сложенных осадочными породами (песчаники, мергель и т.д.), на дне которого рядом с береговой морской линией расположено озеро Лиманчик, являющееся природоохранной территорией регионального значения (памятник природы).

Ниже на рисунке 2.12 и в таблице 2.17 представлены карта-схема расположения КУ в урочище Малый Лиман и перечень собранного материала.

Таблица 2.17 – Количество отобранных проб и выполненных измерений в урочище Малый Лиман

| КУ | Годы исследований | Количество проб/измерений/разрезов, шт | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | МАЭД | Почвенные разрезы | Поверхностные пробы | Растения | Подстилка |
| Л-К1 | 2020–2021 | 2100 | 2 | 15 | – | 6 |
| Л-С | | | 2 | 15 | – | 6 |
| Л-ДУЗ | | | 2 | 15 | – | 6 |

Рисунок 2.12 – Карта-схема расположения контрольных участков в урочище Малый Лиман

Таблица 2.18 – Почвы в урочище Малый Лиман

| Шифр участка | Тип почвы по классификации: | | |
|---|---|---|---|
| | 1977 год | 2004 год | WRB |
| Л-К1 | Перегнойно-карбонатные на элювии известняка | Карболитозем темногумусовый | Haplic Calcisol |
| Л-С | | | |
| Л-ДУЗ | | | |

Территория урочища – лесистая, грабово-буковый лес. Встречается множество краснокнижных растений: фисташка тополистная (*Pistacia atlantica* subsp. *mutica*), астрагал шерстистоцветковый (*Astragalus dasyanthus* ) и др. Горы вокруг озера Малый Лиман сложены разновозрастными породами преимущественно осадочного происхождения (мергели, известняки, алевролиты и глины) (Федоров и др., 2022).

Климат в урочище Малый Лиман субтропический сухой (Разуваев и др., 2018; McKnight and Hess, 2000; Михеев, 2009). Данную территорию можно считать фоновой (эталонной) для г. Новороссийска и прибрежных территорий Новороссийского района.

### *2.3. Контрольные участки и модельные площадки на территории Ставропольского края (Кавказские Минеральные Воды)*

Кавказские Минеральные Воды (КМВ) – это группа городов-курортов на Юге России (Ставропольский край): Пятигорск, Кисловодск, Ессентуки, Железноводск, Георгиевск, Лермонтов и Минеральные Воды. Города известны природой и лечебными свойствами горных источников (Тихонова и др., 2019; Есин и Бураева, 2020; Есин и Бураева, 2021а; Есин и Бураева, 2021б; Есин и Бураева, 2021в).

На территории КМВ присутствуют потенциально радиационно опасные объекты: «бывшие рудники № 1 и № 2 по добыче урановых руд и хвостохранилище после разработок урановой руды бывшего НПО "Алмаз" в г. Лермонтов» (Тихонова и др., 2019; Есин и Бураева, 2020; Есин и Бураева, 2021а; Есин и Бураева, 2021б; Есин и Бураева, 2021в).

«Климат на территории городов КМВ в основном умеренно континентальный, без резких колебаний годовых и суточных температур, выражается мягкой зимой и жарким летом, с оптимальным количеством осадков…» (Разуваев и др., 2018; McKnight and Hess, 2000; Михеев, 2009).

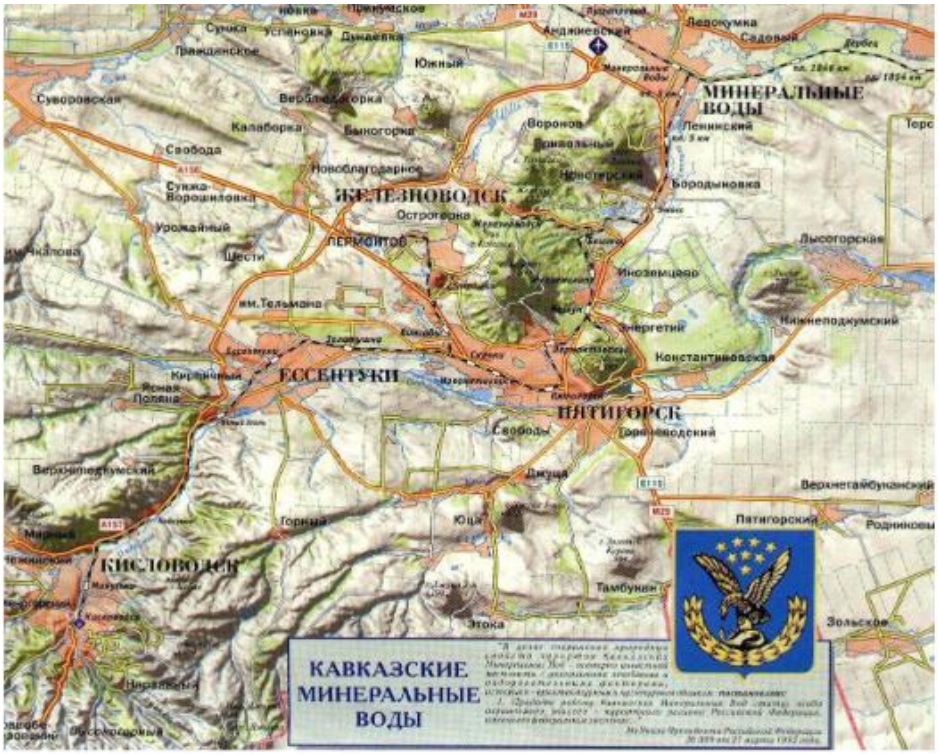



Рисунок 2.13 – Карта-схема расположения исследуемых городов (Тихонова и др., 2019)

Рисунок 2.14 – Расположение контрольных участков отбора проб в г. Пятигорске и в пос. Санамер (Есин и Бураева, 2020; Есин и Бураева, 2021а; Есин и Бураева, 2021б; Есин и Бураева, 2021в)

Точки отбора проб почвы выбирались с учетом географических особенностей и погодных условий на территории г. Пятигорска и в окрестностях поселка Санамер (дорога на Ессентуки) (Есин и Бураева, 2020; Есин и Бураева, 2021а; Есин и Бураева, 2021б; Есин и Бураева, 2021в). Контрольные участки, на которых проводился отбор поверхностных проб почвы, отмечены на карте (рис. 2.14).

Таблица 2.19 – Количество отобранных проб и выполненных измерений на территории Кавказских Минеральных Вод

| КУ | Годы исследований | Количество проб/измерений/разрезов, шт | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | МАЭД | Почвенные разрезы | Поверхностные пробы | Растения | Подстилка |
| Пятигорск | 2020–2021 | 2115 | – | 75 | – | – |
| Кисловодск | | 2026 | | – | | |
| Ессентуки | | 1681 | | – | | |
| Железноводск | | 1925 | | – | | |
| Лермонтов | | 518 | | – | | |

Почвы Ставропольского края – каштановые, черноземные, горнолесные и горно-луговые (Казеев и др., 2006). Стоит отметить, что «…распределение почв по территории Ставропольского края зависит от рельефа, климата, материнских пород и растительности…» (Тихонова и др., 2019; Есин и Бураева, 2020; Есин и Бураева, 2021а; Есин и Бураева, 2021б; Есин и Бураева, 2021в).

В работах отмечается, что в регионе «…преобладают разнотравно-злаковые и злаковые степи, на востоке и северо-востоке – полынно-злаковая растительность с солонцами и солончаками. Ведется активная сельскохозяйственная деятельность в степной части края…» (Ставропольский край, 2022).

Показано, что «…все исследуемые города КМВ находятся в гористой местности на высоте примерно 500 метров над уровнем моря. Местность покрыта преимущественно дубово-грабовыми лесами, чередующимися с луговыми степями, сменяясь на большой высоте широколиственными лесами…» (Ставропольский край, 2022; Тихонова и др., 2019; Есин и Бураева, 2020; Есин и Бураева, 2021а; Есин и Бураева, 2021б; Есин и Бураева, 2021в).

## *2.4. Контрольные участки и модельные площадки на территории Республики Адыгея*

### 2.4.1. Площадки в Майкопском районе

Республика Адыгея расположена в центральной части Северного Кавказа. Как показано в ряде работ «…история геологического строения территории Адыгеи сложна. Равнинная и предгорная части представлены молодой эпигерцинской Скифской плитой. В пределах Скифской плиты на территории республики выделяется Кубанский прогиб, отделенный от других прогибов валообразными поднятиями, переходящими в Адыгейский выступ. Кубанский прогиб сложен неогеновыми отложениями и покрыт аллювиальными и вводно-ледниковыми галечниками и суглинками…» (Республика Адыгея, 2022; Волкодав, 2007).

Авторы отмечают, что «…несмотря на небольшую площадь Адыгеи, климат ее разнообразен. Определяется это быстрым ростом с севера на юг отметок высот, близостью незамерзающих морей, наличием системы высоких хребтов Большого

Кавказа, вносящих изменение в общий перенос воздушных масс» (Разуваев и др., 2018; McKnight and Hess, 2000; Михеев, 2009). При этом, «…в северной, равнинной части Адыгеи, климат умеренно континентальный, в предгорьях – умеренно теплый, влажный, в южной, горной части – холодный климат высокогорий» (Разуваев и др., 2018; McKnight and Hess, 2000; Михеев, 2009).

В Майкопском районе Республики Адыгея, в районе Даховского кристаллического массива, были заложены 9 площадок для отбора проб пород, воздуха, воды, почвенных и растительных проб и решения различных задач в области радиационной экологии, радиационной безопасности человека и окружающей среды (Аветисян и др., 2017; Антонова, 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011д; Бураева и др., 2013д; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019д; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева, 2022б; Бураева, Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022д; Горбунов и др., 2019; Давыденко и др., 2014; Давыденко и др., 2015; Дергачева и др., 2018; Дергачева и др., 2017а; Дергачева и др., 2017б; Дергачева и др., 2017в; Дергачева и др., 2017г; Дергачева и др., 2017д; Дергачева и др., 2017б; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016б; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2016г; Дергачева и др., 2015; Джура и др., 2021; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2015а; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Куликов и др., 2015; Михайлова и др., 2018а; Москалев и др., 2017; Москадев и др, 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Павленко и др., 2021; Попов и др, 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015а; Попов и др., 2015б; Саевский и др., 2016; Сенин и др., 2022; Сидорина, Бураева, 2021; Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020; Смирнов и др., 2006; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Триболина и др., 2016;

Уткин и др., 2010; Шиманская и др., 2014а; Шиманская и др., 2014б; Шиманская и др., 2014в; Ширяева и Бураева, 2019; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б, Ширяева и Бураева, 2021в).

Высота над уровнем моря на КУ и МП составляет 500–600 м. Исследования проводили в период с 2009 по 2021 год. Карта-схема участков отбора проб почвы представлена на рис. 2.16. Характеристики участков отбора почвы, мхов, грибов, подстилки и полевые названия почв представлены ниже.

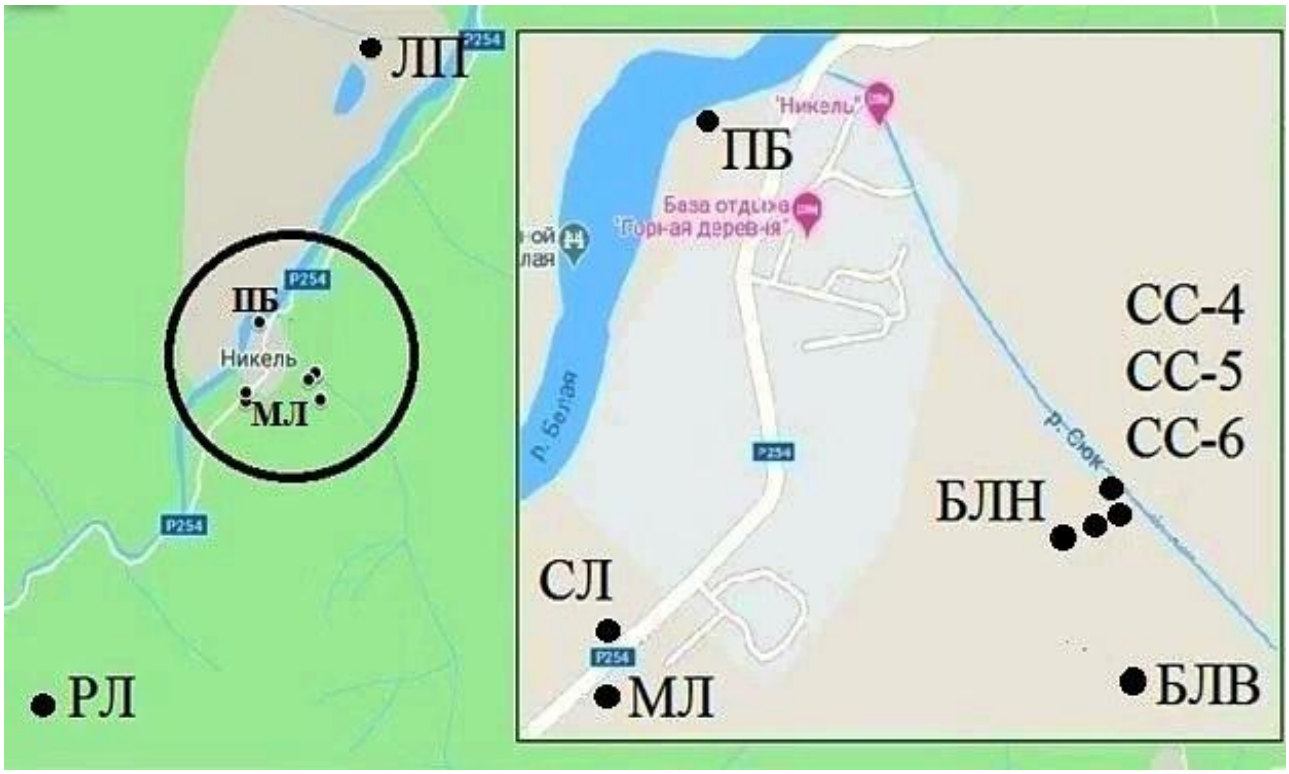



Рис. 2.15 – Карта-схема отбора проб почвы в Республике Адыгея

Таблица 2.20 – Количество отобранных проб и выполненных измерений МАЭД на территории Майкопского района Республики Адыгея

| Шифр участка | Годы исследований | Количество проб/измерений, шт | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | МАЭД | Почвенные разрезы | Поверхностные пробы | Растения | Мох | Грибы | Листовая подстилка |
| РЛ | 2009-2021 | 10096 | 15 | 15 | 3 | 5 | 10 | 8 |
| МЛ | | | 6 | 15 | | – | – | – |
| СЛ | | | 6 | 15 | | – | 1 | – |
| СС5 | | | 10 | – | | 5 | – | 5 |
| СС4 | | | 10 | – | | 5 | – | 5 |
| БЛН | | | 7 | 15 | | 5 | 10 | 5 |
| БЛВ | | | 7 | 15 | | 5 | 10 | 5 |

| Шифр участка | Годы исследований | Количество проб/измерений, шт | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | МАЭД | Почвенные разрезы | Поверхностные пробы | Растения | Мох | Грибы | Листовая подстилка |
| СС6 | | | 10 | 15 | | 5 | 10 | 5 |
| ПБ | | | 10 | 15 | | 5 | 10 | 5 |

Таблица 2.21 – Почвы Майкопского района Республики Адыгея

| Шифр участка | Тип почвы по классификации: | | |
|---|---|---|---|
| | 1997 год | 2004 год | WRB |
| РЛ | Дерново-силикатная лесная (ранкер) среднесуглинистая ненасыщенная на делювии гранитов | Литозем серогумусовый среднесуглинистый ненасыщенная на делювии гранитов | Umbric Leptosol Siltic |
| МЛ | Луговая ненасыщенная глееватая мощная тяжелосуглинистая на валунно-галечниковых отложениях[2] | Гумусово-квазиглеевая мощная тяжелосуглинистая на валунно-галечниковых отложениях | Gleyic Phaeozem Loamic |
| СЛ | Луговая ненасыщенная маломощная среднесуглинистая на валунно-галечниковых отложениях | Гумусово-квазиглеевая маломощная среднесуглинистая на валунно-галечниковых отложениях | Skeletic Phaeozem Siltic |
| СС-5<br>СС-1<br>ШТ | Бурая лесная неполноразвитая ненасыщенная тяжелосуглинистая на элювии аргиллитов | Бурозем грубогумусовый тяжелосуглинистый на элювии аргиллитов | Dystric Cambisol Loamic |
| СС-4 | Бурая лесная примитивная легкосуглинистая на элювии аргиллитов | Бурозем грубогумусовый тяжелосуглинистый на элювии аргиллитов | Dystric Cambisol Siltic |
| БЛН | Бурая лесная малогумусная ненасыщенная глинистая на желто-бурой глине | Бурозем типичный глинистый на желто-бурой глине | Haplic Cambisol Clayic |
| БЛВ | Бурая лесная многогумусная ненасыщенная глинистая на желто-бурой глине | Бурозем темногумусовый глинистый на желто-бурой глине | Haplic Cambisol Humic Clayic |
| СС-6 | Аллювиально-дерновая ненасыщенная тяжелосуглинистая на аллювиально-делювиальных отложениях | Аллювиальная гумусовая (дерновая) тяжелосуглинистая на аллювиально-делювиальных отложениях | Dystric Fluvisol Loamic |

[2] На ряде контрольных участков (преимущественно в горных условиях) почвообразующими породами являются либо валунно-галечниковые отложения, либо аллювиально-делювиальные отложения различного генезиса, который определить сложно (это обломочный материал осадочных, магматических, метаморфических, метасоматических пород, привнесенных в поймы рек и на надпойменные террасы).

| Шифр участка | Тип почвы по классификации: | | |
|---|---|---|---|
| | 1997 год | 2004 год | WRB |
| ПБ | Аллювиально-дерновая ненасыщенная супесчаная на аллювиально-делювиальных отложениях | Аллювиальная гумусовая (дерновая) супесчаная на аллювиально-делювиальных отложениях | Dystric Fluvisol Arenic |

Таблица 2.22 – Свойства почв Майкопского района Республики Адыгея (Нестерук и др., 2022)

| Шифр точки | Уровень pH | Содержание гумуса, % |
|---|---|---|
| РЛ | 6,2 | 13,3 |
| МЛ | 3,7 | 22,6 |
| СЛ | 5,4 | 8,7 |
| БЛН | 6,6 | 4,1 |
| БЛВ | 6,2 | 14,6 |
| СС-4 | ≈ 6,0 | ≈ 3-5 |
| СС-5 | ≈ 6,0 | ≈ 3-5 |
| СС-6 | 6,2 | 7,7 |
| ПБ | 6,9 | 7,9 |

Бурые лесные почвы

Рисунок 2.16 – Вид почвенных профилей

Почвы в районе исследования кислые (ненасыщенные), на плотных породах с различным гранулометрическим составом (Нестерук и др., 2022) Дополнительно на контрольных участках в местах выхода пород были отобраны образцы наиболее распространенных горных пород, представленных в таблице 2.23.

Таблица 2.23 – Характеристика пород Майкопского района Республики Адыгея

| Порода | Характеристика | Использование |
|---|---|---|
| Гранит | Кислая магматическая плутоническая порода (Раген, 1972) | Строительство, например щебень, облицовочный материал |
| Родингит | Метасоматическая горная порода | |
| Гранодиорит | Магматическая плутоническая горная порода кислого состава (Раген, 1972) | |
| Амфиболит | Метаморфическая горная порода | |
| Серпентинит | Плотная горная порода, образовавшаяся при метаморфизме некоторых магматических пород | Поделочный камень |
| Конгломерат | Осадочная горная порода, состоящая из сцементированных обломков пород, гальки, окатышей | Строительство |
| Аргиллит | Плотная осадочная порода | Строительство |

На участках контроля преимущественно грабово-буковый лес с мощной листовой подстилкой. На контрольных участках МЛ и СЛ – луговое разнотравье (злаки, ежевика, тысячелистник, кипрей, мелисса, зверобой, душица, безвременники и др.). (Сидорина, Бураева, 2021; Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020;)

В горных лесах Майкопского района широко распространены различные виды грибов, активно собираемые населением для употребления в пищу. Ввиду того, что грибы зарекомендовали себя как хорошие накопители различных поллютантов, в данной работе был оценен радионуклидный состав наиболее распространенных съедобных и условно-съедобных грибов. Разделение грибов по степени съедобности основывалось на необходимости предварительной обработки грибов перед употреблением в пищу – вымачивание, отваривание и др. (Антонова и др, 2021)

Перечень съедобных и условно съедобных грибов, анализируемых в данной работе, представлен ниже (табл. 2.24). Стоит отметить, что экспедиции в Майкопский район Республики Адыгея проходили ежегодно, преимущественно в

августе и сентябре. Но, в зависимости от погодных условий (дождливых и засушливых периодов), периодически не удавалось отобрать на контрольном участке разные виды грибов. В такие периоды собирались сводные пробы из смеси грибов.

Валуй

Груздь перечный

Лисичка обыкновенная

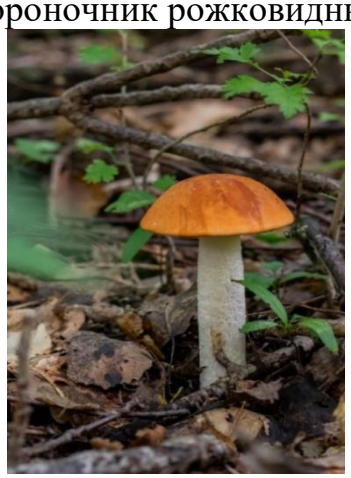
Ежовик желтый

Подберезовик обыкновенный

Сыроежка

Вороночник рожковидный

Рамария желтая



Подосиновик

Дубовик оливково-бурый

Рисунок 2.17 – Фотографии съедобных и условно-съедобных грибов на контрольных площадках[3]

Таблица 2.24 – Реестр грибов, отобранных в Майкопском районе Республики

| Шифр контрольного участка | Название гриба (рус.) | Название гриба (лат.) | Съедобность |
|---|---|---|---|
| РЛ, БЛВ, БЛН, СС-6, ПБ | Лисичка обыкновенная | *Cantharellus cibarius* Fr., 1821 | *С* |
| | Вороночник рожковидный | *Craterellus cornucopioides* (L.) Pers., 1825 | *С* |
| | Сыроежка* | *Russula* Pers., 1796 | С |
| | Валуй | *Russula foetens* Pers., 1796 | УС |
| | Подберезовик обыкновенный | *Leccinum scabrum* (Bull.) Gray, 1821 | С |
| | Подосиновик** | *Leccinum* | С |
| | Рамария желтая | *Ramaria flava* (Schaeff.) Quél., 1888 | С |
| | Груздь перечный | *Lactarius piperatus* (L.) Pers. 1797<br>*Lactarius vellereus* (Fr.) Fr., 1838 | УС |
| | Ежовик желтый | *Hydnum repandum* L., 1753 | С |
| | Дубовик оливково-бурый | *Boletus luridus* Schaeff., 1774 | УС |

[3] Фотографии мхов, грибов, подстилки и др. были сделаны студентом 4 курса физического факультета Павленко Алексеем в рамках учебной практики «Радиоэкологический мониторинг. Дозиметрический контроль объектов и территорий» на базе практики и спортивно-оздоровительного туризма «Белая речка» Южного федерального университета, руководитель практики – Бураева Е.А.

* В Майкопском районе встречается множество видов грибов семейства сыроежковые. В данной работе из-за ограниченного размера контрольных участков (модельных площадок) в образец грибов «сыроежка» включали сыроежку зеленую (*Russula aeruginea*), сыроежку сереющую (*Russula decolorans*) и сыроежку охристую (*Rússula ochroléuca*).

**Среди подосиновиков на модельных площадках распространены грибы подосиновики из рода Обабок с красными и желтовато-зелеными шляпками. Все подосиновики были объединены в образец «подосиновик».

Среди грибов в отдельные годы встречались белый гриб (*Boletus edulis* BULL., 1782), макролепиота или гриб-зонтик (*Macrolepiota* (SCOP.:FR.) SINGER, 1948), дождевик (*Lycoperdon* P. MICHELI, 1729) и различные виды рядовок.

Мохообразные (объекты бриофлоры) повсеместно используются в качестве биоиндикаторов загрязненности окружающей среды. Ввиду наличия в регионе огромного разнообразия мхов, сложности их определения и необходимости на один образец (пробу) отбирать достаточно большое количества мха, в работе не проводили разделение мхов по видам. Отбирали сводные пробы, которые могут содержать два-три вида мхов (Москалев и др., 2017; Москадев и др, 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014).

Ниже представлены фотографии мхов и опада, которые отбирали на модельных площадках Майкопского района Республики Адыгея.

Рисунок 2.18 – Фотография мха

Рисунок 2.19 – Фотографии лесной подстилки

Лесная подстилка (опад) в лесах горной Адыгеи достаточно мощная (местами до 10 см) и представляет собой преимущественно грабовые и буковые листья в разной степени разложения. Подстилка является буфером на пути поступления различных поллютантов из атмосферы в почвы (Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020).

В целом за 13 лет полевых исследований в Майкопском районе Республики Адыгея был накоплен значительный объем фактического материала, достаточный для оценки особенностей распределения радионуклидов в компонентах экосистем (породы – почвы – подстилка – грибы/мхи) с учетом особенностей рельефа и типа почвы (Аветисян и др., 2017; Антонова, 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011д; Бураева и др., 2013д; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019д; Бураева

и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева, 2022б; Бураева, Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022д; Горбунов и др., 2019; Давыденко и др., 2014; Давыденко и др., 2015; Дергачева и др., 2018; Дергачева и др., 2017а; Дергачева и др., 2017б; Дергачева и др., 2017в; Дергачева и др., 2017г; Дергачева и др., 2017д; Дергачева и др., 2017б; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016б; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2016г; Дергачева и др., 2015; Джура и др., 2021; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2015а; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Куликов и др., 2015; Михайлова и др., 2018а; Москалев и др., 2017; Москадев и др, 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Павленко и др., 2021; Попов и др, 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015а; Попов и др., 2015б; Саевский и др., 2016; Сенин и др., 2022; Сидорина, Бураева, 2021; Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020; Смирнов и др., 2006; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Триболина и др., 2016; Уткин и др., 2010; Шиманская и др., 2014а; Шиманская и др., 2014б; Шиманская и др., 2014в; Ширяева и Бураева, 2019; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б, Ширяева и Бураева, 2021в).

### 2.4.2. Площадка на плато Лагонаки (Кавказский биосферный заповедник)

На территории Кавказского биосферного заповедника (расположен в Краснодарском крае и в Республике Адыгея) исследования радиоактивности наземных экосистем проводили на плато Лагонаки (рис. 2.20 и табл. 2.25).

Контрольный участок и модельная площадка ЛН расположены на высоте 1700–1800 м над уровнем моря на краю куэсты.

Рисунок 2.20 – Карта-схема расположения модельной площадки ЛН на плато Лагонаки

Таблица 2.25 – Фактический материал, отобранный на плато Лагонаки

| | |
|---|---|
| Годы исследований | 2009-2021 |
| Количество измерений МАЭД, шт | 200 |
| Количество почвенных разрезов, шт | 3 |
| Количество поверхностных проб 0-10 см, шт | 15 |
| Шифр КУ | ЛН |
| Почвы (классификация 1977 года) | Горно-луговые альпийские ненасыщенные на элювии древних известняков |
| Почвы (классификация 2004 года) | Литозем перегнойно-темногумусовый |
| Почвы (классификация WRB) | Mollic Leptosol |

На плато Лагонаки не отбирались растительные образцы. Растительный покров сомкнутый, представляет собой луговое разнотравье: рододендроны, крокусы, тимьян и т.д. Также на плато растет можжевельник. В понижениях рельефа – березы, сосны, буки. На территории плато множество карстовых воронок, провалов и «каменных морей». В целом плато (территория КУ) представляет собой выровненную площадку на скалистом обрыве.

### *2.5. Контрольные участки на территории Республики Северная Осетия – Алания*

Исследования радиоактивности наземных экосистем проводили в Ирафском районе Республики Северная Осетия – Алания на северном склоне Главного Кавказского хребта (левый берег р. Танадон) на территории Национального парка «Алания» (НПА). Работы велись в рамках комплексных исследований «…влияния тектонической нарушенности районов на фенотипические изменения растений…» (Вьюхина и др., 2013; Вьюхина и др., 2014).

Авторами показано, что «…район полевых исследований отличается сложным геологическим строением и высокой интенсивностью эндогенных геологических процессов, обследуемая территория пересечена тремя активными сейсмогенерирующими разломами…» (Вьюхина и др., 2013; Вьюхина и др., 2014).

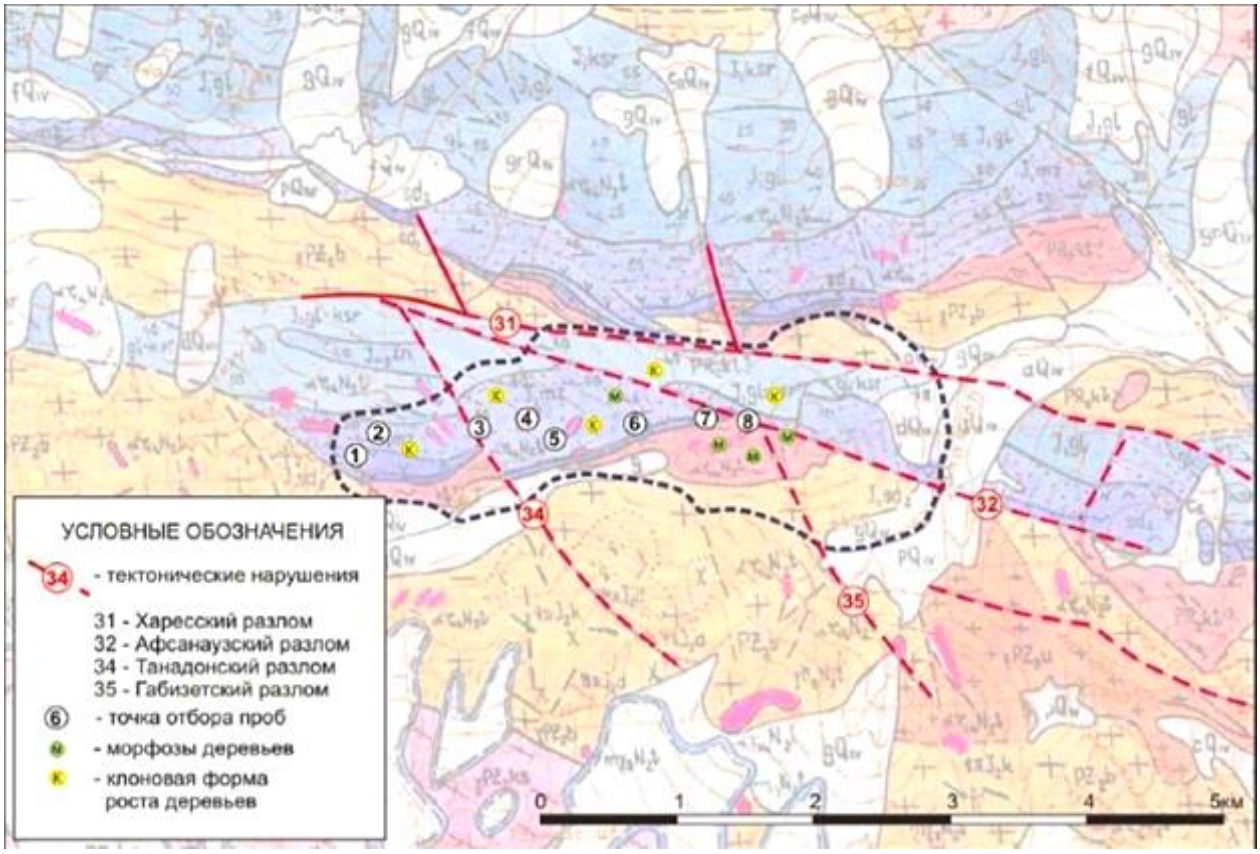



Рисунок 2.21 – Карта-схема расположения мониторинговой площадки в Ирафском районе (Вьюхина и др., 2013; Вьюхина и др., 2014)

Таблица 2.26 – Количество отобранных проб и выполненных измерений МАЭД на мониторинговой площадке в Ирафском районе

| Шифр участка | Годы исследований | Количество проб/измерений, шт | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | МАЭД | Почвенные разрезы | Поверхностные пробы | Растения | Мох | Грибы | Подстилка |
| ДГ | 2013–2014 | 3722 | 1 | 21 | – | 6 | 6 | – |

Почвы на территории мониторинговой площадки преимущественно бурые горнолесные на плотных кристаллических породах. Доминирующие виды древесных растений – «…береза повислая (*Betula pendula* ROTH), береза Литвинова (*Betula litwinowii*), береза Радде (*Betula raddeana*), бук восточный (*Fagus orientalis*), клен Траутфеттера (*Acer trautvetteriu*) и сосна Коха (*Pinus kochiana*)…» (Вьюхина и др., 2013; Вьюхина и др., 2014).

Из образцов грибов отобраны: волнушка розовая (*Lactarius torminosus*), подгруздок черно-белый (*Russula albonigra*), подосиновик (*Leccinum)*, рядовка обыкновенная (*Tricholoma*) и белый гриб (*Boletus edulis*) (Вьюхина и др., 2013; Вьюхина и др., 2014).

### *2.6. Контрольные участки на территории Республики Карачаево-Черкесия*

На территории Республики Карачаево-Черкесия исследования радиоактивности приземного слоя воздуха и наземных экосистем проводились в урочище Шаджатмаз в непосредственной близости от Кисловодской высокогорной научной станции Института физики атмосферы им. А. М. Обухова Российской академии наук в период с 2018 по 2021 год (Бураева, 2022б).

Это плато является частью Скалистого хребта Большого Кавказа. Контрольные участки (мониторинговые площадки) расположены на высоте 2100 м над уровнем моря. Ниже представлены карта-схема и фактический материал, отобранный на плато Шаджатмаз (Бураева, 2022б).

Рисунок 2.22 – Карта-схема расположения контрольных участков на плато Шаджатмаз

Таблица 2.27 – Количество отобранных проб и выполненных измерений МАЭД на контрольных участках на плато Шаджатмаз

| Шифр участка | Годы исследований | Количество проб/измерений, шт | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | МАЭД | Почвенные разрезы | Поверхностные пробы | Растения | Подстилка |
| КБ | 2018–2021 | 3037 | 1 | 21 | 4 | 2 |
| КБ1 | | | – | 30 | 4 | 2 |
| КБ2 | | | – | 30 | 4 | 2 |
| КБ3 | | | 1 | 30 | 4 | 2 |
| КБ-ВКС1-2 | | | – | 30 | 4 | 2 |
| КБ-ВКС3 | | | – | 30 | 4 | 2 |
| ПГ | | | – | 20 | – | – |

Почвы на территории исследования горно-луговые субальпийские кислые на плотных осадочных породах (преимущественно на известняках и песчаниках) – по классификации 2004 года, литоземы перегнойно-темногумусовые. Территория характеризуется сомкнутым растительным покровом и луговым разнотравьем. Исследования проводились в июле и в это время в стадии цветения находились

«…тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L., 1753), *кульбаба щетинистая* (*Leontodon hispidus* L., 1753), девясил крупноцветковый (*Inula grandiflora* Willd.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L., 1753), кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis* L.), различные виды колокольчиков, злаков и др.» (Бураева, 2022б).

Климат на плато Шаджатмаз в период исследований характеризуется высоким количеством осадков, температура воздуха от +25°С днем и до 0°С ночью (Разуваев и др., 2018; McKnight and Hess, 2000; Михеев, 2009). Регулярные туманные явления и высокая облачность могут оказать влияние на вариации гамма-фона (Бураева, 2022б).

### *2.7. Контрольные участки на территории Республики Кабардино-Балкария*

На территории Республики Кабардино-Балкария исследования проводились на контрольных участках, расположенных на пике Чегет и пике Терскол. Пик Чегет — это неофициальное название одной из гор Кавказа с двумя вершинами – Донгуз-Орунбаши (высота 3769 м) и Азау-Гитче-Чегет-Карабаши (высота 3461 м). Высота КУ на пике Чегет – 3050 м над уровнем моря, расположен на площадке размещения Противолавинной службы) (Бураева, 2022б). На пике Терскол КУ располагался на территории международной астрономической обсерватории «Обсерватория пик Терскол» на высоте 3150 м над уровнем моря (Бураева, 2022б).

Рисунок 2.23 – Карта-схема расположения контрольных участков на пиках Чегет и Терскол (Бураева, 2022б)

Таблица 2.28 – Количество отобранных проб и выполненных измерений МАЭД на пиках Чегет и Терскол (Бураева, 2022б)

| Шифр участка | Годы исследований | Количество проб/измерений, шт | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | МАЭД | Почвенные разрезы | Поверхностные пробы | Растения | Подстилка |
| Чегет | 2014–2015 | 367 | – | 10 | – | – |
| Терскол | | 931 | – | 10 | – | – |

Почвы на КУ – горно-луговые альпийские, сильно каменистые на плотных породах. Растительный покров представляет собой луговое разнотравье: колокольчики, злаки, нивяники и др. Отличительной особенностью растений является их высота – не более 10–15 см при достаточно нормальных размерах соцветий (Бураева, 2022б).

Почвенные разрезы не отбирали, так как почвенный слой представляет собой сильно каменистый грунт с дерниной, глубиной не более 10 см. Мощный сухоторфяный горизонт (5–7 см) (Бураева, 2022б).

**В целом, можно сделать следующие выводы:**

Мониторинговые площадки выбраны на территориях (в регионах) с различной высотой над уровнем моря, разными почвенными, геологическими, климатическими характеристиками. Площадки (контрольные участки) расположены на различных элементах рельефа с различным растительным покровом (степной, луговой, горно-луговой и древесной растительностью).

Количество измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в приземном слое воздуха, отобранных проб почвы из поверхностных проб, полуям и разрезов, травянистых растений, подстилки (опада), мхов и грибов позволит достоверно и корректно провести статистический анализ и обработку полученных результатов по радиоэкологическому состоянию наземных экосистем и выявить закономерности распределения как гамма-фона, так и радионуклидов в объектах экосистем с учетом различных факторов.

# ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

## *3.1. Дозиметрия территорий и объектов*

Методы исследования, представленные в данном разделе также отражены в коллективной монографии автора (Бураева и др, 2022д).

В радиационных исследованиях территорий и объектов одним из оцениваемых параметров является мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МВИ 1.2.3(76)-11, 2011; МВК 2.2.3(50)-11, 2011; МВК 5.6(38)-11, 2011; Соболева, 2002; РД 03-26-2007, 2008; МУ 2.6.2398-08, 2009). МЭД (или МАЭД – мощность амбиентного эквивалента дозы) измеряли поисковыми геологоразведочными дозиметрами-радиометрами типа ДРБП-03 (ДРБП-03, 2004), СРП-88н (СРП-88н, 1991) и ДКС-96 с блоком БДКС-96с (ДКС-96, 2010). Данные дозиметры-радиометры предназначены для полевых исследований МЭД (МАЭД), в том числе и для «…косвенных измерений радиоактивности горных пород и руд по гамма-излучению при радиометрической съемке местности и каротаже скважин и шпуров…» (СРП-88н, 1991).

Измерения МЭД в точках заложения почвенных разрезов проводили на высоте 2–3 см и 100 см от поверхности почвы (грунта). На каждой высоте измерения МЭД проводили в 5–7-кратной повторности (МВИ 1.2.3(76)-11, 2011; МВК 2.2.3(50)-11, 2011; МВК 5.6(38)-11, 2011; Соболева, 2002; РД 03-26-2007, 2008; МУ 2.6.2398-08, 2009).

Также на контрольных участках методами пешеходной гамма-съемки на высоте 100 см от поверхности почвы оценивали распределение гамма-фона, в том числе и для выявления радиационных аномалий (МВИ 1.2.3(76)-11, 2011; МВК 2.2.3(50)-11, 2011; МВК 5.6(38)-11, 2011; Соболева, 2002; РД 03-26-2007, 2008; МУ 2.6.2398-08, 2009). На каждом КУ выполнялось не менее 50–100 измерений МЭД.

В пределах городских и сельских населенных пунктов Ростовской области, Краснодарского и Ставропольского краев МЭД измеряли вдоль оживленных улиц, в спальных и парковых районах, в районе размещения различных промышленных предприятий (МВИ 1.2.3(76)-11, 2011; МВК 2.2.3(50)-11, 2011; МВК 5.6(38)-11, 2011; Соболева, 2002; РД 03-26-2007, 2008; МУ 2.6.2398-08, 2009).

В каждом населенном пункте было сделано от 150 измерений МЭД (в малых селах и хуторах – например, ст. Подгоренская Ростовской области) до 12000–13000 измерений МЭД (г. Ростов-на-Дону). Также методика дозиметрического контроля различных объектов представлена в учебно-методическом пособии[4] подготовленном в соавторстве со студентами Южного федерального университета (Приложение 2, П.2).

### *3.1. Методики отбора и подготовки проб почвы и растений*

#### 3.1.1. Отбор почвенных и растительных проб

Отбор почвенных и растительных проб выполнялся по стандартным методикам (МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; РД 03-26-2007, 2008; Соболева, 2002; ГОСТ 28168-89, ГОСТ 17.4.3.01-83). Детально методики отбора почвы и растений также представлены в учебно-методическом пособии, подготовленном автором[5] в соавторстве со студентами Южного федерального университета (Приложение 2, П.2).

Пробоотбор объектов экосферы проводился в летний сухой период (с июня по сентябрь) (МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; РД 03-26-2007, 2008; Соболева, 2002; ГОСТ 28168-89, ГОСТ 17.4.3.01-83) в радиоэкологических экспедициях по Ростовской области, Краснодарскому и Ставропольскому краям, в Республики Адыгея, Карачаево-Черкесия, Кабардино-Балкария и Северная Осетия – Алания.

Контрольные участки и модельные площадки за пределами населенных пунктов закладывались целинных или залежных почвах (МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; РД 03-26-2007, 2008; Соболева, 2002; ГОСТ 28168-89, ГОСТ 17.4.3.01-83), на урбанизированных территориях – в парковых зонах и на пустырях.

---

[4] Бураева Е.А., Нефедов В.С. Учебно-методическое пособие к курсу «Дозиметрия ионизирующих излучений» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Основы дозиметрии ионизирующих излучений). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 44 с.

[5] Бураева Е.А., Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика отбора проб почвы и растительности для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 36 с.

Для оценки горизонтального распределения радионуклидов в почвах – отбирались поверхностные пробы (слой 0-10 см), по сетке, с шагом 2 м на выровненной территории, с шагом 1 м (и менее) на территориях со сложным рельефом (МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; РД 03-26-2007, 2008; Соболева, 2002; ГОСТ 28168-89, ГОСТ 17.4.3.01-83).

Для оценки влияния микрорельефа на распределение радионуклидов проводились измерения высоты (глубины) всех особенностей микрорельефа (ямки, кочки…) на выбранной модельной площадке (МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; РД 03-26-2007, 2008; Соболева, 2002; ГОСТ 28168-89, ГОСТ 17.4.3.01-83). Поверхностные пробы, по возможности отбирались монолитами с известными сторонами куба (или параллелепипеда) – высота (глубина) 10 см, длина и ширина, как правило 15х15 см или 10х10 см (МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; РД 03-26-2007, 2008; Соболева, 2002; ГОСТ 28168-89, ГОСТ 17.4.3.01-83).

При изучении распределения радионуклидов в почвенных профилях и учете влияния особенностей микрорельефа на распределение радионуклидов, пробы почв на некоторых участках отбирались «методом конверта» (со стороной квадрата 10 м) из разрезов, полуям и прикопок глубиной от 30 см до 150 см, в зависимости от мощности почвы (МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; РД 03-26-2007, 2008; Соболева, 2002; ГОСТ 28168-89, ГОСТ 17.4.3.01-83).

«Метод конверта» заключается в следующем: на участке отбора выбирается выровненная квадратная площадка. По углам квадрата и в центре, на пересечении диагоналей закладывались почвенные разрезы. Для детальной оценки вертикального распределения $^{137}Cs$ и ЕРН образцы отбирали послойно: 0–1, 1–3, 3–5, 5–10, 10–15, 15–25, 25–35 см и далее, слоями по 10 см до дна почвенного разреза (МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; РД 03-26-2007, 2008; Соболева, 2002; ГОСТ 28168-89, ГОСТ 17.4.3.01-83).

На ряде участков отбирали пробы почвы по почвенным генетическим горизонтам (выделяя дерновый Ad, гумусовый А, переходной В горизонты, а также подстилающие породы — горизонт С). В целом, было отобрано более 2000 проб

почвы из 350 разрезов (МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; РД 03-26-2007, 2008; Соболева, 2002; ГОСТ 28168-89, ГОСТ 17.4.3.01-83).

Растения на степных и луговых участках срезались с площади от 0,5 до 1,0 м$^2$, в зависимости от мощности растительного покрова. Для оценки накопления радионуклидов растительной массой с этой же площади снималась подстилка (травяной войлок) и срезался почвенный слой 0–5 см. Разделение растительной массы по видам растений, а подстилки по степени разложения не проводилось. В лесных районах отбирали листовую подстилку с разделением ее по степени разложения (РД 03-26-2007, 2008; Соболева, 2002).

### 3.1.2. Подготовка почвенных и растительных проб

Подготовка почвенных и растительных проб для гамма-спектрометрического метода анализа выполнялась как по стандартным методикам (Инструкция, 1998; Соболева, 2002; РД 03-26-2007, 2008; МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009), так и по разработанным нами методикам (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева, 2005в; Buraeva et al., 2007c).

Все почвенные пробы высушивали[6] при температуре t = 100 ºС, измельчали до размера частиц не более 1,0 мм и герметично упаковывали в счетные геометрии Маринелли 1 л, Маринелли 0,5 л, Чашка Петри, Дента 0,02 л (диск высотой 7 мм и диаметром 70 мм) (Инструкция, 1998; Соболева, 2002; РД 03-26-2007, 2008; МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева, 2005в; Buraeva et al., 2007c).

Растительные образцы отбирались параллельно с отбором почвенных проб на исследуемых контрольных участках. Растения высушивались, при необходимости разделились на корневую часть, стебли и соцветия. Корневая часть предварительно промывалась от частиц почвы. После измельчения герметично упаковывали в различные счетные геометрии (Инструкция, 1998; Соболева, 2002; РД 03-26-2007,

[6] Бураева Е.А., Попова М.Д., Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика подготовки проб почвы и растительности для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 25 с.

2008; МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева, 2005в; Buraeva et al., 2007c).

Образцы пород измельчались до размера частиц не более 1 мм, при необходимости высушивались, просеивались через сито с диаметром ячейки 1 мм и также герметично упаковывали в 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 исходной навески и решаемых задач (Инструкция, 1998; Соболева, 2002; РД 03-26-2007, 2008; МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009; Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева, 2005в; Buraeva et al., 2007c).

Необходимо отметить, что для стандартных скрининговых определений удельной активности радионуклидов в образцах окружающей среды (почвы, породы, донные отложения, атмосферные аэрозоли) выбирались счетные геометрии Маринелли 1 л, Маринелли 0,5 л, Чашка Петри (Инструкция, 1998; Соболева, 2002; РД 03-26-2007, 2008; МВК №1.5.2(45)-11, 2011; МУ 2.6.2398-08, 2009).

При определении радионуклидов по низкоэнергетическим гамма-квантам (энергия менее 150 кэВ) для минимизации эффектов самопоглощения гамма-излучения в счетных образцах выбирались разработанные нами геометрии типа Дента (диски высотой 6 мм и диаметром 60мм) (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева, 2005в; Buraeva et al., 2007c).

Детально методики подготовки почвы и растений также представлены в учебно-методическом пособии, подготовленном автором в соавторстве со студентами Южного федерального университета (Приложение 2, П.2)

### *3.3. Спектрометрия гамма-излучения на основе сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов*

Гамма-спектрометрическое определение удельной активности радионуклидов в объектах окружающей среды широко используется в радиоэкологических исследованиях (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева и др., 2003; Бураева и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Buraeva et al, 2007c; Нефедов и др., 2014а; Нефедов и др., 2016а; Нефедов и др., 2016б), являясь при этом достаточно

экспрессным и неразрушающим методом контроля. В данном методе радионуклидного анализа объектов окружающей среды предъявляются определенные требования к характеристикам детекторов – необходимы детекторы с низким собственным аппаратурным фоном, большой эффективностью регистрации аналитической линии и высоким энергетическим разрешением (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева и др., 2003; Бураева и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Buraeva et al, 2007с Нефедов и др., 2014а; Нефедов и др., 2016а; Нефедов и др., 2016б).

Также, для оценки возможностей конкретных детекторов гамма-излучения принято использовать нижний предел определения активности (МДА – минимальная детектируемая активность) (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева и др., 2003; Бураева и др., 2004; Бураева, 2005; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2005в; Бураева и др., 2006б; Buraeva et al, 2007с).

Из всех радионуклидов, представляющих интерес для радиоэкологии (ЕРН – преимущественно радионуклиды семейств урана и тория; ИРН – продукты активации и продукты деления) около 100 излучают при распаде мягкое гамма- (МГИ) и характеристическое рентгеновское излучение (ХРИ) (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева, 2005в; Buraeva et al, 2007с). Из них более половины имеет квантовые выходы МГИ и ХРИ существенно большие, чем квантовые выходы жесткого гамма-излучения и в принципе могут быть перспективными для гамма-спектрометрического определения по их МГИ и ХРИ (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева и др., 2003; Бураева и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева, 2005в; Buraeva et al, 2007с Нефедов и др., 2014а; Нефедов и др., 2016а; Нефедов и др., 2016б).

Скрининговые массовые определения удельной активности радионуклидов измеряли на сцинтилляционных спектрометрах «Прогресс-гамма» (Прогресс, 2003; Прогресс, 2010).

Методики калибровки сцинтилляционных спектрометров использовали стандартные с использованием как калибровочных источников, входящих в комплектацию спектрометров, так и наработанных на ускорителе электронов

(Прогресс, 2003; Прогресс, 2010; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2005а; Buraeva et al, 2007с Колесников и др., 2015б; Нефедов и др., 2016б; ).

Время набора гамма-спектров составляло от 1 часа (для счетных геометрий Маринелли 1л) до 24 часов (для счетных геометрий Чашка Петри) (Прогресс, 2003; Прогресс, 2010).

Прецизионные определения удельной активности радионуклидов в объектах окружающей проводили на низкофоновых гамма-спектрометрических установках с полупроводниковыми детекторами, в том числе на рабочей эталонной установке РЭУС-II-15 (РЭУС-II-15, 1996) на основе полупроводникового коаксиального детектора из особо чистого германия (GeHP) с эффективностью 25% в диапазоне 13ч1500кэВ, отношением пик/комптон 51.7:1 (модель 7229N-7500sl-2520, Canberra Corporate Headquarters, Франция)…» (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева и др., 2003; Бураева и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др, 2006б; Buraeva et al., 2007с).

В ряде коллективных работ с участием автора показано, что «…искусственный радионуклид $^{137}$Cs определяли по фотопику 661,7 кэВ (89,9%)». При этом, «…минимальная детектируемая активность $^{137}$Cs составляет 1 Бк/кг, а погрешность определения удельной активности $^{137}$Cs не превышала 15%...» (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева и др., 2003; Бураева и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др, 2006б; Buraeva et al., 2007с).

Для естественных радионуклидов ряда $^{238}$U в коллективных работах автора отмечено, что в почвах и растительности «…$^{226}$Ra определяли по продуктам распада $^{222}$Rn: $^{214}$Pb (по фотопикам 295,2 кэВ (18,9%) и 352,6 кэВ (36,3%)) и $^{214}$Bi (по фотопику 609,3 кэВ (45,5%)) в условиях их радиоактивного равновесия с $^{222}$Rn; для определения $^{226}$Ra результаты по трем фотопикам усредняли…»(Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева и др., 2003; Бураева и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др, 2006б; Buraeva et al., 2007с).

Естественные радионуклиды из радиоактивного семейства тория определяли следующим образом: «…$^{232}$Th, в основном, в природных объектах находится в радиоактивном равновесии с радионуклидами его семейства $^{228}$Ac, $^{211}$Pb и $^{208}$Tl. $^{228}$Ac

определяется по трем его фотопикам 338,3 кэВ (11,4%), 911,2 кэВ (27,7%) и 969,6 кэВ (17,3%). $^{211}$Pb определяется по фотопику 238,6 кэВ (44,6%). $^{208}$Tl определяется по фотопику 583,2 кэВ (84,6%)…» (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева и др., 2003; Бураева и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др, 2006б; Buraeva et al., 2007c).

Для радиоактивного калия показано: «…$^{40}$K определяли по фотопику 1460,8 кэВ (10,4%)…» (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева и др., 2003; Бураева и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др, 2006б; Buraeva et al., 2007c).

Во многих коллективных публикациях автора отмечалось, что «…для определения удельной активности $^{226}$Ra по продуктам распада радона все пробы после герметичной упаковки в счетные геометрии до измерений на гамма-спектрометре выдерживались не менее 15 суток…» (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева и др., 2003; Бураева и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др, 2006б; Buraeva et al., 2007c).

Каждую растительную пробу измеряли не менее 24 часов (Бодров и др., 2003; Бодров и др., 2004; Бураева и др., 2003; Бураева и др., 2004; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др, 2006б; Buraeva et al., 2007c). Минимальная детектируемая активность исследуемых радионуклидов приведена в таблице 3.1 (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б).

Таблица 3.1 – Минимальная детектируемая активность

| Радионуклид | Минимальная детектируемая активность, Бк/кг | |
|---|---|---|
| | Почвы | Растительность |
| $^{226}$Ra | 0,5 | 1,0 |
| $^{232}$Th | 0,5 | 1,0 |
| $^{40}$K | 2,0 | 2,5 |
| $^{137}$Cs | 0,5 | 1,0 |

Низкие минимальные детектируемые активности радионуклидов в гамма-спектрометрии достигались, в том числе и использованием пассивной низкофоновой защиты спректрометрических установок (Buraeva et al, 2007c).

Пассивная защита гамма-спектрометрических установок состоит из двух частей: внешней и внутренней для уменьшения фона от космических лучей, фона от конструкционных материалов, излучения от радионуклидов, содержащихся в воздухе помещения, а также от радионуклидов в конструкциях, окружающих детектор, и самих материалов детектора соответственно (Buraeva et al, 2007c).

Внешнее экранирование состоит из двух слоев — свинцового и железного толщиной 15 и 2,5 см соответственно (эквивалент железа толщиной 34 см), а внутренняя защита состоит из вольфрама и железа толщиной 2,5 см каждый (что эквивалентно толщине железа 8,7 см) (Buraeva et al, 2007c). Последний слой низкофоновой защиты представляет собой цилиндрическую конструкцию, состоящую из порошка вольфрама ПВХ-1, в которую вставлены стальные кольца для подавления фона от примесей в вольфраме (Buraeva et al, 2007c).

Воздушную полость внутри спектрометров можно очищать, пропуская через данную полость жидкий азот (в сутки образуется менее 1 $м^3$ газообразного азота) (Buraeva et al, 2007c).

### *3.4. Определение физико-химических свойств почвы*

Для определения содержания гумуса в почвах использовали метод Тюрина; pH водной вытяжки – ГОСТ 2423-85; гранулометрический состав – ГОСТ 12536-2014 (метод пипетки с пирофосфатным способом подготовки почвы к анализу). Для определения химического (элементного) состав почвы использовали рентгенофлуоресцентную спектрометрию (Рентгенофлуоресцентные спектрометры РФС-001 и МАКС-GVM).

### *3.5. Статистический анализ и обработка данных*

Для статистической обработки результатов измерений и анализа полученных данных использовалось программное обеспечение Exel MsOffice, Origin, Statistica.

В первичную описательную статистику входили расчеты минимального, максимального, среднего арифметического, среднего геометрического, модального, медианного значений исследуемого параметра. Также проводили оценки коэффициентов ассиметричности, эксцеса и вариации. Для визуализации больших объемов данных использовали гистограмму (диаграмму распределения численности) и диаграмму «ящик с усами» (Крамер, 1975; Степанов и Шаврин, 2005; Владимирский и др., 2008).

Для проверки массива данных на нормальное распределение применяли методы Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова (Крамер, 1975; Степанов и Шаврин, 2005).

Сравнительный анализ данных проводили при помощи критерия согласия Пирсона $\chi 2$ (хи квадрат), t-критерия Стьюдента (Крамер, 1975; Степанов и Шаврин, 2005).

Критерий Фишера применяли для определения однородности дисперсии в выборках (Крамер, 1975; Степанов и Шаврин, 2005). Если рассчитанный критерий Фишера (F) при уровне значимости (p=0,05) превышает $F_{табл}$, то гипотеза о равенстве дисперсий отвергается (Кобзарь, 2006).

Для оценки взаимосвязей между выборками использовали корреляционный анализ Пирсона (Крамер, 1975; Степанов и Шаврин, 2005).

## *3.6. Методы расчетов дозовых нагрузок, индексов опасности и степени накопления радионуклидов объектами флоры*

### 3.6.1. Оценка накопления и переноса радионуклидов

Для оценки накопления (переноса, перехода) радионуклидов из почвы в растения используют различные показатели, демонстрирующие (Парамонова и Мамихин, 2017; Парамонова и др., 2017; Щеглов, 2000; Алексахин и др., 1990; Алексахин, 1963; Алексахин и др., 1992; Переволоцкий и Переволоцкая, 2013 и др).

Чаще всего используется коэффициент накопления, который определяется как «…отношение удельной активности радионуклида в сухом растении (Бк/кг всм) к удельной активности 20-см пахотного сухого слоя почвы Бк/кг, на которой выращено растение…» (Парамонова и Мамихин, 2017; Щеглов, Парамонова и др., 2017; Щеглов, 2000; Алексахин и др., 1990; Алексахин, 1963; Алексахин и др., 1992;

Переволоцкий и Переволоцкая, 2013 и др). Где «Бк/кг всм» – это удельная активность радионуклида в высушенной массе растения (всм).

Коэффициент переноса (Парамонова и Мамихин, 2017; Щеглов, 2000; Парамонова и др., 2017) представляет собой «…отношение удельной активности радионуклида в сухом растении (Бк/кг всм) к поверхностному содержанию радионуклида в почве (Бк/м$^2$)…».

### 3.6.2. Оценка дозовых нагрузок

**Эффективная активность естественных радионуклидов** (UNSCEAR, 2000; СанПиН 2.6.1.2523–09; СП 2.6.1.2612–10)**.** Данный критерий используется в Российской Федерации для оценки радиоактивности строительных материалов.

**Годовая эффективная доза облучения.** (UNSCEAR 1982):

$$E = Q * T * O * D * 10^{-3}$$

Где Q – отношение эффективной МЭД 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).

## *3.7. Дополнительные радиоэкологические исследования объектов окружающей среды для оценки дозовых нагрузок от природных источников ионизирующих излучений*

Значимый вклад в дозовые нагрузки на население от природных источников ионизирующих излучений дает радиоактивные газы радон ($^{222}$Rn) и торон ($^{220}$Rn). Объемную активность радона и торона в приземном слое воздуха на открытых территориях и в помещениях, удельную активность радона в воде и плотность потока радона с поверхности почвы измеряли радиометрами радона типа РРА-1м-03, Альфарад и Камера-01. Использовали как интегральные методы радиометрии радона, так и методы сорбции на угле (Сердюкова, Капитанов, 1975). Дополнительно привлекались методы оценки радоноопасности территорий по $^{210}$Pb в почвах и породах (Гончаренко и др., 2009; Гончаренко и др., 2010; Зорина и др., 2008г; Орлова и др., 2006; Орлова и др., 2007; Панчишкина и др., 2016; Петрова и др., 2016; Бураева и др., 2016; Петрова и др., 2019).

При анализе данных по радионуклидному составу мхов Северного Кавказа привлекались данные по загрязненности приземного слоя атмосферы радионуклидами и тяжелыми металлами. Детально объемная активность радионуклидов в атмосферных аэрозолях и аэрозольной пыли, поведение радионуклидов в приземном слое воздуха представлено в диссертации Стасова В.В. (Стасов, 2013а; Стасов, 2013б) и в коллективных работах автора (Авдиенко и др., 2006а; Авдиенко и др., 2006б; Бураева и др., 2006г; Бураева и др., 2006д; Бураева и др., 2007а; Бураева и др., 2011а; Бураева и др., 2012а; Бураева и др., 2012б; Бураева и др., 2013а; Бураева и др., 2013в; Бураева и др., 2013г; Бураева и др., 2020д; и др.). Детально отбор и подготовка атмосферных аэрозолей, описание аспирационной станции приведены в коллективных учебных пособиях[7] и представлены в Приложении 2 (п. П2.2).

Атмосферные аэрозоли отбирали на аспирационной станции НИИ физики Южного федерального университета на базе электровентилятора канального. Осаждение аэрозольной пыли осуществлялось на аэрозольный фильтр из ткани Петрянова. Время экспозиции аэрозольного фильтра – не более 7 суток. Фильтры после экспозиции просушивались, отделялись от марлевой подложки и запрессовывались в счетные геометрии «Фильтр» (цилиндр высотой 5-7 мм и диаметром 50 мм).

**Анализируя используемую аппаратуру и методы исследований можно сделать следующие выводы:**

– Все используемые в данном исследовании приборы (дозиметры, радиометры радона, спектрометры) являются средствами измерений и подлежат ежегодной поверке. Все оборудование широко используется на территории Российской

[7] **Бураева Е.А.**, Попова М.Д., Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика подготовки проб атмосферных аэрозолей для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 40 с.

**Бураева Е.А.**, Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика отбора проб атмосферных аэрозолей и осадков для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 40 с.

Федерации, как различными надзорными органами, так и в научных и образовательных организациях.

– Методики отбора, подготовки проб к измерениям и измерений различных показателей в пробах (образцах) использовались стандартные, принятые в Российской Федерации. Усовершенствования методического обеспечения гамма-спектрометрии детально представлены в диссертации (и автореферате) на соискание ученой степени кандидата наук (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б), дополняют и не противоречат общепринятым методикам контроля и измерений.

– Для статистической обработки, анализа и визуализации больших данных по распределению мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и удельной активности радионуклидов в окружающей среде использовали классические методы математической статистики.

– Для расчетов дозовых нагрузок, различных индексов радиационной опасности, особенности накопления (переноса) радионуклидов в системе почва-объект флоры (растение, мох, грибы) использовали методики как рекомендованные Международными и Российскими нормативно-техническими документами, так и достаточно широко представленными в отечественной и зарубежной научной литературе.

– Для обеспечения учебного процесса автором в соавторстве разработаны и опубликованы учебные и учебно-методические пособия для студентов естественнонаучных направлений подготовки. Перечень учебных и учебно-методических пособий представлен в Приложении 2.

# ГЛАВА 4. РАДИОАКТИВНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

**Распределение мощности амбиентного эквивалента дозы на природных, природно-техногенных и урбанизированных территориях Ростовской области**. Определение фоновых (эталонных значений МАЭД) для степных регионов проводили на ООПТ Ростовской области: на территории с распространенными черноземными почвами – Персиановская заповедная степь, Черная балка, Каменная балка, Приазовская заповедная степь; на территории каштановой почвенной зоны – Заповедник Ростовский. Многолетние исследования МАЭД гамма-излучения на ООПТ Ростовской области опубликованы в коллективных работах автора: (Бураева и др., 2013д; Давыденко и др., 2015; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021б; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Ляхова и др., 2020; Маломыжева и др., 2021; Бураева и др., 2022д). Фактический материал по распределению МАЭД оформлен в виде баз данных[8], представленных в Приложении 1., п. П1.1.

Ниже, на рис. 4.1 и в таблице 4.1 представлены результаты статистической обработки данных по распределению гамма-фона (МАЭД, мкЗв/ч) для всех анализируемых ООПТ Ростовской области.

[8] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных и урбанизированных территорий Ростовской области**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620291 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Тимченко А.А., Шиманская Е.И., Семин Л.В., Горлачев И.А., Вардуни Т.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621830; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 17.02.15.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных и урбанизированных территорий Ростовской области в 2013-2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621420 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Долгополов А.В., Заруднев А.А., Иванов Е.С., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621151; заявл.23.08.2016; дата гос. рег. 21.10.2016.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на особо охраняемых природных территориях Ростовской области в 2012-2019 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020622342 РФ / Бураева Е.А., Джура К.О., Ляхова Н.В., Михайлова Т.А., Швецова Д.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020622223; заявл. 12.11.2020 г.; дата гос. рег. 19.11.2020 г.

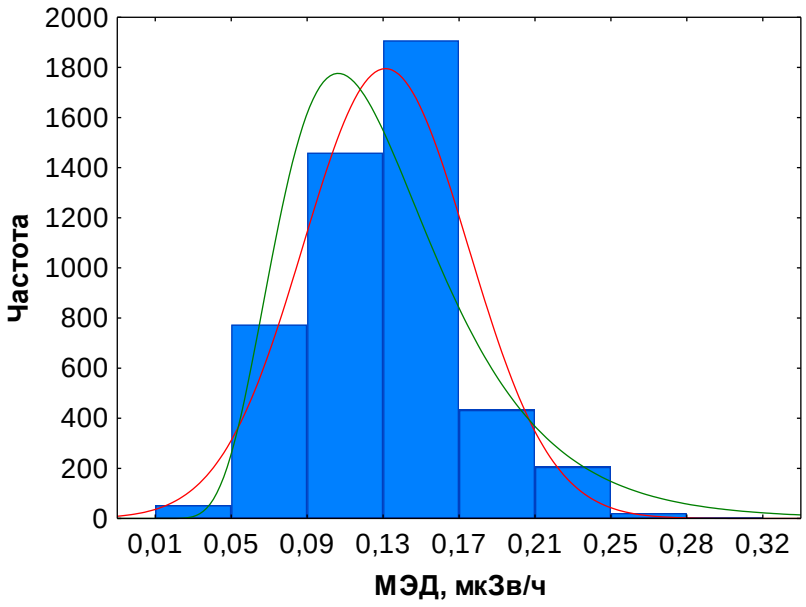



Рисунок 4.1 – МАЭД гамма-излучения на ООПТ Ростовской области (Бураева и др., 2022д)

Таблица 4.1 – МАЭД гамма-излучения по всем ООПТ Ростовской области (Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,010 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,324 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,128 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,120 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,135 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,135 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,042 |
| Коэффициент вариации, % | 33 |
| Количество измерений, шт | 4861 |

Как видно из таблицы 4.1, среднее арифметическое, среднее геометрическое значения, мода и медиана МАЭД на территориях ООПТ Ростовской области совпадают в пределах стандартного отклонения.

В данном случае при установлении фонового (эталонного) значения МАЭД можно оперировать как модальным или медианным значениями МАЭД гамма-излучения (и мода, и медиана на ООПТ составляют 0,135 мкЗв/ч), так и средним

арифметическим и средним геометрическим значениями МАЭД. В целом, МАЭД гамма-излучения для ООПТ Ростовской области не превышает Норм радиационной безопасности Российской Федерации (НРБ-99/2009– 0,30 мкЗв/ч), согласуется с данными, полученными различными надзорными службами ((0,10-0,15 мкЗв/ч) – Роспотребнадзор по РО, 2022; НПО Тайфун, 2022 и др.) и с данными, представленными в наших исследованиях (Бураева и др., 2013д; Давыденко и др., 2015; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021б; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Ляхова и др., 2020; Маломыжева и др., 2021; Бураева и др., 2022д). Особенности вариаций гамма-фона на отдельных ООПТ Ростовской области представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Распределение МАЭД гамма-излучения на различных ООПТ (ЧБ – Черная Балка, ЗР – заповедник Ростовский, БС – Ботанический сад, АС – Приазовская степь, ПСС – Персиановская степь, КБ – Каменная Балка) (Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Шифр ООПТ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ЧБ | ЗР | БС | АС | ПСС | КБ |
| Минимум, мкЗв/ч | 0,050 | 0,020 | 0,010 | 0,020 | 0,108 | 0,081 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,280 | 0,324 | 0,320 | 0,300 | 0,270 | 0,189 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,146 | 0,118 | 0,126 | 0,122 | 0,159 | 0,139 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,139 | 0,111 | 0,117 | 0,115 | 0,157 | 0,136 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,140 | 0,108 | 0,120 | 0,120 | 0,162 | 0,135 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,162 | 0,135 | 0,120 | 0,108 | 0,162 | 0,162 |
| Количество измерений, шт | 648 | 1003 | 1509 | 1302 | 339 | 60 |

Широкие вариации гамма-фона на ООПТ Ростовской области могут быть обусловлены как неоднородностью территорий исследования – в основном различием в почвенном покрове, а также размерами участков исследования (контрольных участков и/или мониторинговых площадок). Если в Ботаническом саде Южного федерального университета измерения МАЭД проводились практически по всей территории, в Ростовском заповеднике гамма-фон измеряли на двух площадках размерами по 1,0 га, то на территориях остальных ООПТ размеры

площадок составляли менее 0,5 га (Бураева и др., 2013д; Давыденко и др., 2015; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021б; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Ляхова и др., 2020; Маломыжева и др., 2021; Бураева и др., 2022д).

Такой разброс в размерах мониторинговых площадок (контрольных участков) обусловлен как размерами самих заповедников, так и особенностями режимов охраны и использования данных ООПТ. Не стоит исключать и вклад вероятностной природы испускания гамма-квантов, например, при альфа- и бета-распадах природных радионуклидов и искусственного радиоцезия, содержащихся в наземных экосистемах (Бураева и др., 2013д; Давыденко и др., 2015; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021б; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Ляхова и др., 2020; Маломыжева и др., 2021).

В целом, различия в МАЭД гамма-излучения могут быть обусловлены в большей степени неопределенностью измерений (стандартным отклонением), а также, в меньшей степени, особенностями рельефа, содержанием радионуклидов в почве данных территорий.

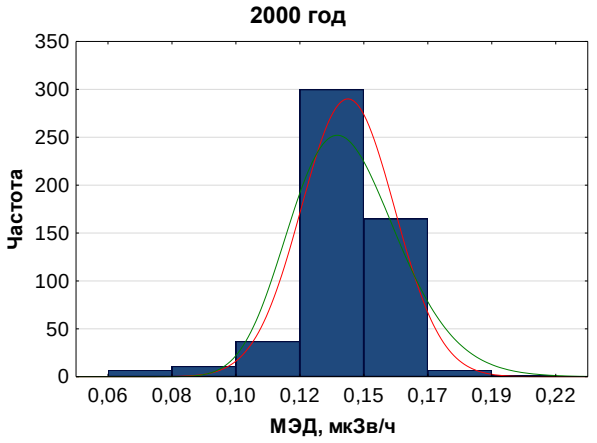
По результатам исследования распределения гамма-фона на ООПТ Ростовской области **фоновым** (эталонным) значением МАЭД можно считать значение **0,128±0,042 мкЗв/ч** (среднее арифметическое МАЭД гамма-излучения, полученное при усреднении результатов измерений на всех ООПТ) для природных и урбанизированных территорий степных регионов с умеренным континентальным климатом, слаборасчлененным равнинным рельефом и каштановыми и черноземными почвами на глинах и лессовидных суглинках.

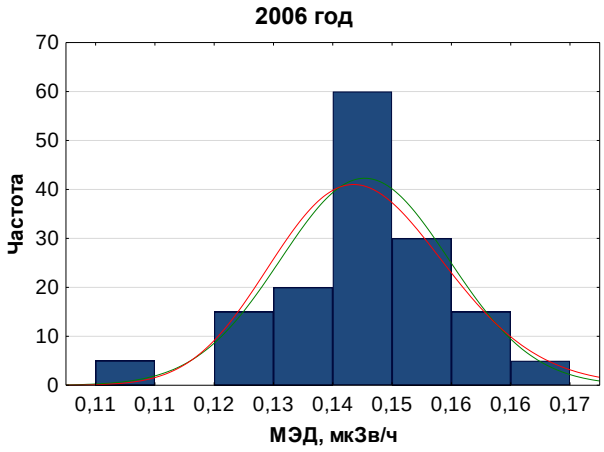
***При расширении географии исследования ООПТ Ростовской области ожидается незначительная корректировка (не выходящая за границы доверительного интервала, определенного стандартным отклонением) эталонной МАЭД для данного региона***.

**Гамма-фон в зоне наблюдения Ростовской АЭС.** В рамках данного диссертационного исследования представлены результаты многолетнего (начиная с 1999–2000 годов) радиоэкологического мониторинга наземных экосистем 30-километровой зоны наблюдения РоАЭС. Часть исследований гамма-фона в зоне

наблюдения Ростовской АЭС представлены в коллективных работах автора: (Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013д; Аветисян и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в; Бураева и др., 2022д; Buraeva et. al, 2023). Фактический материал по распределению МАЭД в зоне наблюдения Ростовской АЭС оформлен в виде баз данных[9], приведенных в Приложении 1, п. 1.1.

Ниже на рис. 4.2 и в таблице 4.3 приведены результаты оценки мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в приземном слое воздуха на высоте 100 см от поверхности почвы (грунта) на контрольных участках, заложенных в рамках предпускового мониторинга (оценки, так называемого, «нулевого фона») данной территории (Отчет, 2000) и примеры распределения гамма-фона в отдельные годы на данной территории.




[9] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2000-2004 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621706 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621274; заявл. 15.10.15; дата гос. рег. 26.11.15.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2010-2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621422 РФ / Бураева Е. А., Дергачева Е. В., Долгополов А.В.,Заруднев А.А., Иванов Е.С., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621153; заявл.23.08.2016.; дата гос. рег. 21.10.2016.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2016-2019 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621985 РФ / Андрюшина И.Н., Бураева Е.А., Антонова Ек.Ю., Антонова Ел.Ю., Иванков Д.В., Исаева Е.В., Машаров К.С., Михайлова Т.А., Плахотняя Д.П., Сидорина У.А., Ширяева А.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621769; заявл. 08.10.2020 г.; дата гос. рег. 21.10.2020 г.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории ПХРО ФГУП РосРАО в 2016-2017 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020622746 РФ / Андрюшина И.Н., Бураева Е.А., Антонова Ел.Ю., Антонова Ек.Ю., Иванков Д.В., Исаева Е.В., Машаров К.С., Плахотняя Д.П., Сидорина У.А., Ширяева А.А., Михайлова Т.А.; заявка № 2020622746; заявл. 15.12.2020 г.; дата гос. рег. 22.12.2020 г.

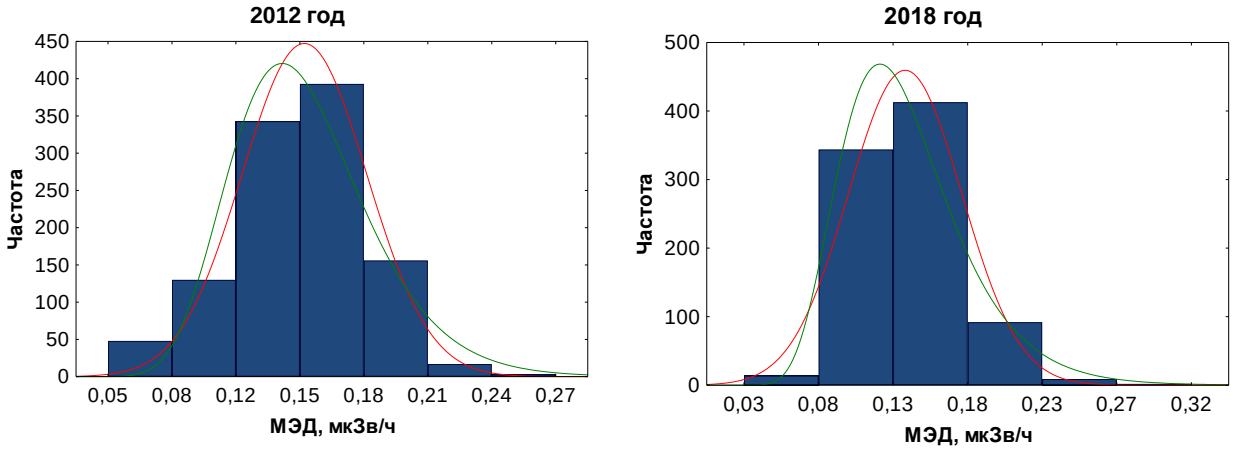



Рисунок 4.2 – Частотные гистограммы распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в зоне наблюдения Ростовской АЭС (Бураева и др., 2022д)

Таблица 4.3 – Результаты статистической обработки данных по распределению мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в зоне наблюдения Ростовской АЭС (Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Год | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2000 | 2006 | 2010 | 2015 | 2021 |
| Минимум, мкЗв/ч | 0,057 | 0,106 | 0,020 | 0,054 | 0,010 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,215 | 0,173 | 0,200 | 0,324 | 0,240 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,141 | 0,144 | 0,116 | 0,147 | 0,128 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,140 | 0,143 | 0,107 | 0,144 | 0,122 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,145 | 0,146 | 0,115 | 0,135 | 0,130 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,150 | 0,146 | 0,080 | 0,162 | 0,110 |
| Стандартное отклонение | 0,016 | 0,012 | 0,043 | 0,029 | 0,037 |
| Количество измерений, мкЗв/ч | 528 | 150 | 32 | 592 | 821 |

Как правило, распределение гамма-фона на КУ зоны наблюдения Ростовской АЭС достаточно равномерное, при этом строго не подчиняется ни нормальному, ни логарифмически нормальному законам распределения. Также средние арифметические, средние геометрические, модальные и медианные значения МАЭД в районе исследования варьируют в пределах неопределенности измерения (стандартного отклонения). Поэтому, в данной работе для оценки изменения гамма-

фона в зоне наблюдения будет использоваться средние арифметические значения МАЭД (Бураева и др., 2007д; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013д; Аветисян и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в; Бураева и др., 2022д; Buraeva et. al, 2023). Ниже, на рис. 4.3, представлены результаты длительных (20 лет) измерений МАЭД на различной высоте от поверхности почвы в 30-километровой зоне наблюдения Ростовской АЭС.

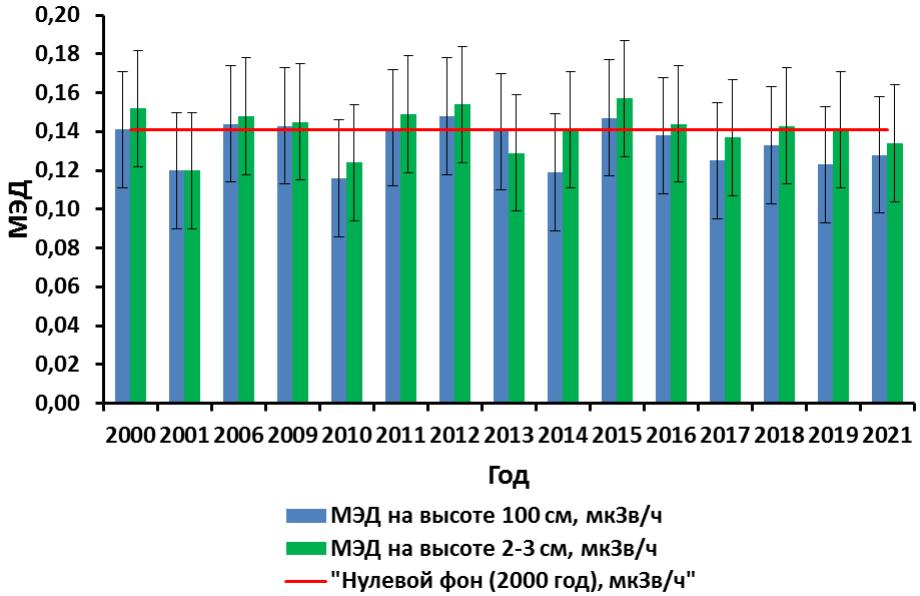



Рисунок 4.3 – Изменение средней арифметической мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в зоне наблюдения Ростовской АЭС

МАЭД, измеренная в период мониторинговых исследований зоны наблюдения Ростовской АЭС, не превышает «нулевой фон» (рис. 4.3). При этом гамма-фон у поверхности почвы несколько выше, чем на высоте 100 см. Это обусловлено, как правило, тем, что поглощение (рассеяние) низкоэнергетического (с энергиями менее 100–150 кэВ) гамма-излучения от природных радионуклидов (например, от $^{234}$Th, $^{210}$Pb) на расстоянии 100 см от почвы выше (Бураева и др., 2007д; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013д; Аветисян и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в). Дополнительным фактором может быть несколько большая запыленность надпочвенного слоя воздуха. Также не стоит исключать и влияние гамма-

излучающих продуктов распада радона и торона на гамма-фон в надпочвенном слое воздуха, особенно в засушливые периоды.

Ежегодные вариации МАЭД связаны с тем, что гамма-фон природных территорий, в основном, обусловлен излучением от радионуклидов, содержащихся в почве (таких как, естественные радионуклиды рядов $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K, искусственный $^{137}$Cs) плотностью потока радона с поверхности почвы и от космического излучения (в том числе и от солнечной радиации) (Бураева и др., 2007д; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013д; Аветисян и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в; Buraeva et. al, 2023).

При этом, доля космического излучения и солнечной радиации достаточно сильно зависит от высоты над уровнем моря и широты расположения мониторинговых площадок. В нашем случае, в отсутствии значимых высотных и широтных вариаций на разных контрольных участках (мониторинговых площадках) зоны наблюдения РоАЭС, вклад космического излучения и солнечной радиации в гамма-фон на всех КУ будем считать одинаковым (Бураева и др., 2007д; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013д; Аветисян и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в; Buraeva et. al, 2023).

Следовательно, в вариациях гамма-фона в пределах мониторингового года на различных площадках и изменений МАЭД по годам в зоне наблюдения РоАЭС особую роль будут играть удельные активности естественных и искусственных радионуклидов, содержащихся в почвах, подстилающих породах и растениях (в том числе и эманация радона с поверхности почвы) и, возможно, климатические условия в период экспедиций (Бураева и др., 2007д; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013д; Аветисян и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в; Buraeva et. al, 2023).

Основным результатов длительного мониторинга зоны наблюдения Ростовской АЭС является подтверждение отсутствия влияния работы АЭС на окружающую среду. Это установлено не только нашими исследованиями (Бураева и др., 2007д;

Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013д; 2013; Аветисян и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в; Бураева и др., 2022д; Buraeva et. al, 2023), но и измерениями на пунктах АСКРО, данными НПП Тайфун и сторонними публикациями (Коновалов и др., 2018).

**Гамма-фон на природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС.** Для предприятий топливной энергетики Ростовской области данные по радиоактивности объектов экосферы малочисленны, либо отсутствуют. Среди подобных предприятий наиболее значима ОАО Новочеркасская ГРЭС (НчГРЭС) – одна из крупнейших тепловых электростанций России, является основным источником выбросов загрязняющих веществ не только в городе Новочеркасске, но и во всей Ростовской области.

Предварительные результаты такого рода получены сотрудниками НИИ физики Южного федерального университета в совместных экспедициях с сотрудниками Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета (Бураева и др., 2013д; Федченко и др., 2013а; Федченко и др., 2013б; Федченко и др., 2013в; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Данилова и др., 2015; Данилова и др., 2014; Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Дергачевав и др., 2019; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Бураева и др., 2022д). Для природно-техногенной территории НчГРЭС наиболее детально изучено содержание и распределение тяжелых металлов в почвах и растительности сотрудниками кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского (Минкина и др., 2011; Минкина и др., 2013; Минкина и др., 2017; Минкина и др., 2018). Фактический материал, по измеренной в зоне Новочеркасской ГРЭС МАЭД оформлен в виде баз данных[10] и

[10] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС в 2012-2013 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621660 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621208; заявл. 01.10.15; дата гос. рег. 18.11.15.

представлен в Приложении 1, п. П1.1. На рис. 4.4 и в таблице 4.4 представлены результаты шестилетних исследований природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС.

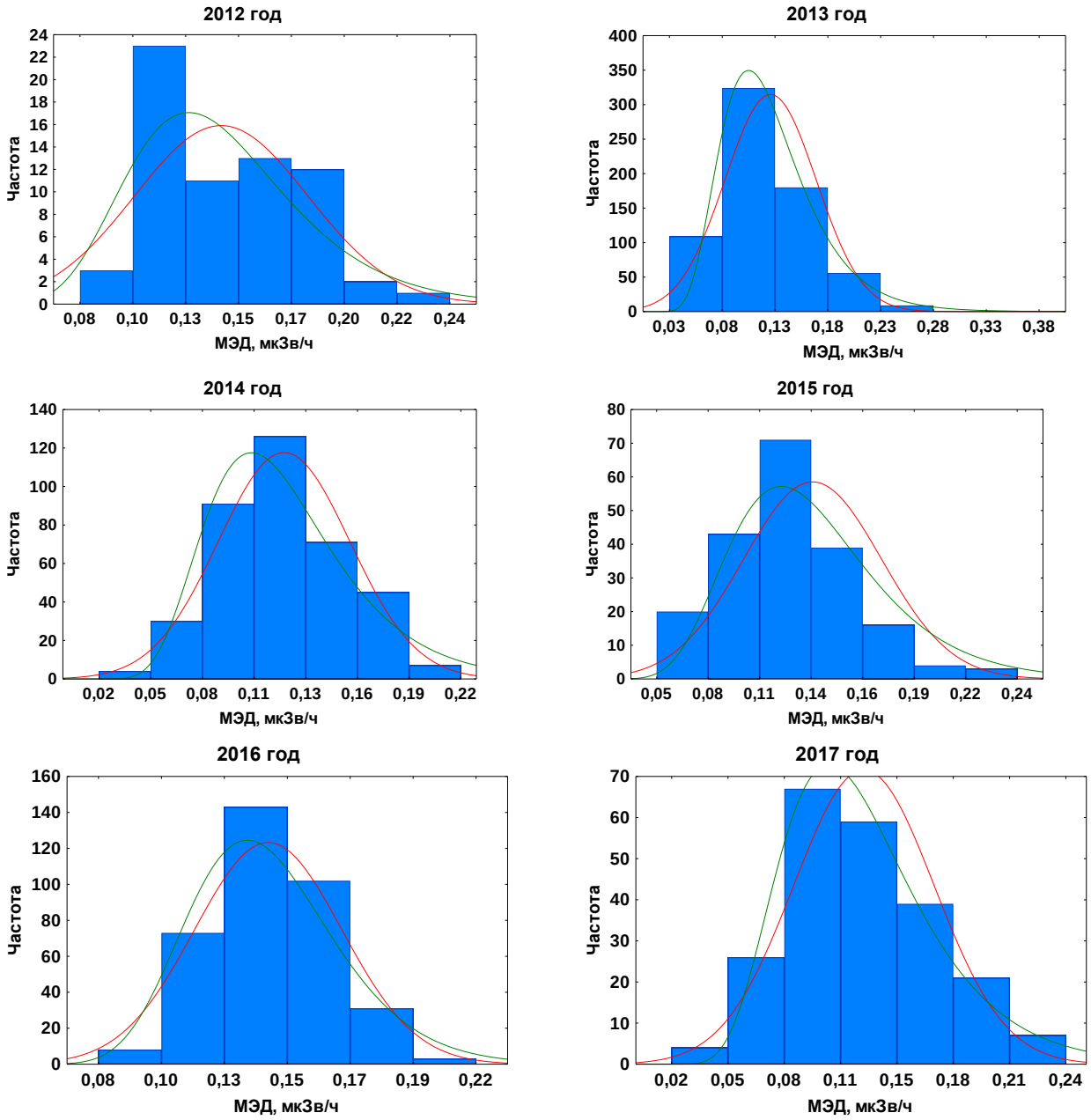



Рисунок 4.4 – Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС

Таблица 4.4 – Данные по распределению мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС

---

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на природно-техногенных территориях Новочеркасской ГРЭС в 2014-2017 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621794 РФ / Бураева Е.А., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621637; заявл. 24.09.2020 г.; дата гос. рег. 05.10.2020 г.

| Параметр | Год | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| Минимум, мкЗв/ч | 0,081 | 0,030 | 0,020 | 0,054 | 0,081 | 0,020 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,243 | 0,380 | 0,220 | 0,243 | 0,216 | 0,240 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,142 | 0,125 | 0,122 | 0,135 | 0,141 | 0,127 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,138 | 0,118 | 0,116 | 0,130 | 0,139 | 0,120 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,135 | 0,120 | 0,120 | 0,135 | 0,135 | 0,120 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,108 | 0,100 | 0,120 | 0,135 | 0,135 | 0,110 |
| Стандартное отклонение | 0,038 | 0,043 | 0,036 | 0,036 | 0,026 | 0,039 |
| Количество измерений, шт | 65 | 679 | 374 | 196 | 360 | 223 |

Гамма-фон на природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС достаточно однороден, распределен равномерно и не подчиняется (строго) ни нормальному ни логарифмически нормальным законам распределения (таблица 4.4) (Бураева и др., 2013д; Федченко и др., 2013а; Федченко и др., 2013б; Федченко и др., 2013в; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Данилова и др., 2015; Данилова и др., 2014; Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Дергачевав и др., 2019; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Бураева и др., 2022д). При этом средние, модальные и медианные значения МАЭД гамма-излучения совпадают в пределах стандартного отклонения (0,03–0,04 мкЗв/ч). Полученные результаты по распределению гамма-фона не превышают фоновых значений МАЭД для Ростовской области и не противоречат нормативным значениям гамма-фона, определенных в НРБ-99/2009. Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что деятельность Новочеркасской ГРЭС не сказывается значимым образом на распределении МАЭД гамма-излучения в данном регионе (Бураева и др., 2013д; Федченко и др., 2013а; Федченко и др., 2013б; Федченко и др., 2013в; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Данилова и др., 2015; Данилова и др., 2014; Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Дергачевав и др., 2019;

Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Бураева и др., 2022д).

**Гамма-фон на территориях городских и сельских поселений Ростовской области.** На территории Ростовской области оценка распределения гамма-фона проводилась как в крупных промышленных центрах, так и на территориях преимущественно сельскохозяйственных населенных пунктов, в том числе и дачных поселках. Основной задачей данного исследования было установление характерных уровней МАЭД гамма-излучения городских и сельских поселений с учетом наличия/отсутствия крупных промышленных предприятий, степени антропогенной нагрузки на спальные районы и парковые зоны населенных пунктов.

***Распределение гамма-фона в г. Ростов-на-Дону.***

Результаты по распределению гамма-фона в г. Ростове-на-Дону представлены в коллективных работах автора: (Шадин и др., 2020; Каменев и др., 2021а; Каменев и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Шадин и др., 2021; Бураева и др., 2022д). Фактический материал по распределению гамма-фона в г. Ростове-на-Дону представлен в виде базы[11] данных (Приложение 1, п. П1.1). На рис. 4.5 и в таблице 4.5 представлены результаты статистической обработки данных по распределению МАЭД гамма-излучения вдоль центральных улиц, в парковых зонах, в спальных районах г. Ростов-на-Дону.

[11] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городе Ростове-на-Дону в 2019 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2019622465 РФ / Бураева Е.А., Глазунова Е.В., Горбунов А.С., Дергачева А.В., Ерчихин А.Д., Зайвый В.С., Кащаева Е.А., Ляхова Н.В., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019622421; заявл. 11.12.2019 г.; дата гос. рег. 23.12.2019 г.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории г. Ростова-на-Дону в 2020-2021 годах**: № 2022621210: заявл. 31.05.2022: опубл. 22.06.2022: Бюл. №7 / Е.А. Бураева, А.Е. Шадин, О.В. Каменев, Н.В. Маломыжева; правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет**).**

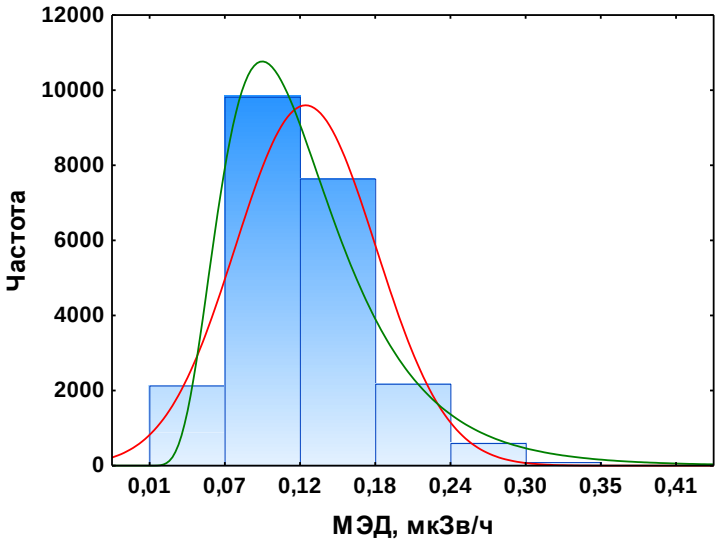



Рисунок 4.5 – Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в г. Ростов-на-Дону (Бураева и др., 2022д)

Таблица 4.5 – Результаты статистической обработки данных по распределению МАЭД гамма-излучения в г. Ростов-на-Дону (Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,010 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,410 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,128 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,116 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,120 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,090 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,053 |
| Количество измерений, шт | 22389 |

Распределение МАЭД гамма-излучения на территории близко к логарифмически нормальному распределению. При этом, среднее арифметическое, среднее геометрическое, модальное и медианное значения МАЭД совпадают в пределах стандартного отклонения (таблица 4.5) (Шадин и др., 2020; Каменев и др., 2021а; Каменев и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Шадин и др., 2021; Бураева и др., 2022д).

Достаточно широкие вариации МАЭД обусловлены неоднородной городской застройкой, использования различных строительных материалов, разной степенью загруженности автотранспортом. Не стоит исключать тот факт, что измерения

МАЭД проводились как в летние периоды, так и осенью, зимой и весной (Шадин и др., 2020; Каменев и др., 2021а; Каменев и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Шадин и др., 2021; Бураева и др., 2022д).

В целом гамма-фон в Ростове-на-Дону соответствует Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010) и согласуется с фоновыми значениями МАЭД, оценёнными для ООПТ Ростовской области (Шадин и др., 2020; Каменев и др., 2021а; Каменев и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Шадин и др., 2021).

***Распределение гамма-фона в г. Новочеркасск.*** Данные по распределению МАЭД гамма-излучения в г. Новочеркасске представлены в коллективных работах автора: (Бураева и др., 2013д; Дергачева и др., 2019; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Бураева и др., 2022д; Buraeva et. al, 2022) и в виде базы[12] данных (Приложение 1, п. П1.1). На рис. 4.6 и в табл. 4.6 представлены результаты статистической обработки данных измеренных значений МАЭД гамма-излучения в г. Новочеркасске Ростовской области.

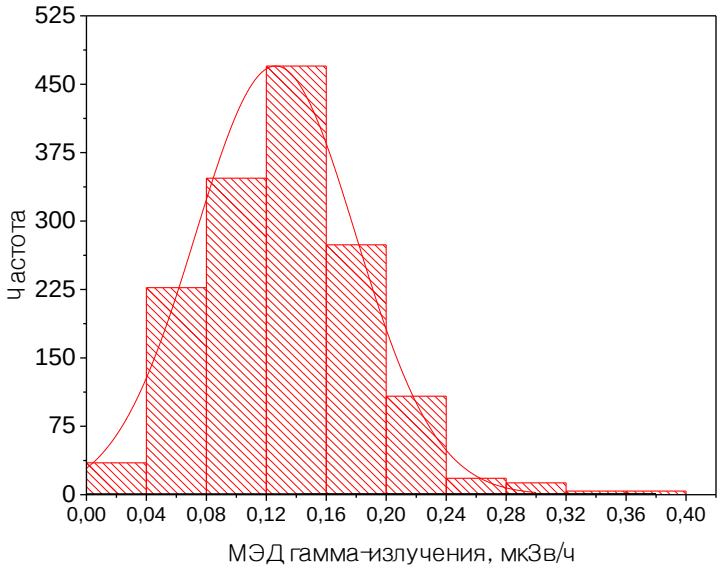



Рисунок 4.6 – Распределение МАЭД гамма-излучения в г. Новочеркасске (Бураева и др., 2022д)

[12] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городе Новочеркасске в 2019 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020620083 РФ / Бураева Е.А., Глазунова Е.В., Горбунов А.С., Дергачева А.В., Ерчихин А.Д., Зайвый В.С., Кащаева Е.А., Ляхова Н.В., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019622548; заявл. 25.12.2019 г.; дата гос. рег. 17.01.2020 г.

Таблица 4.6 – Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в г. Новочеркасске (Бураева и др., 2022д)

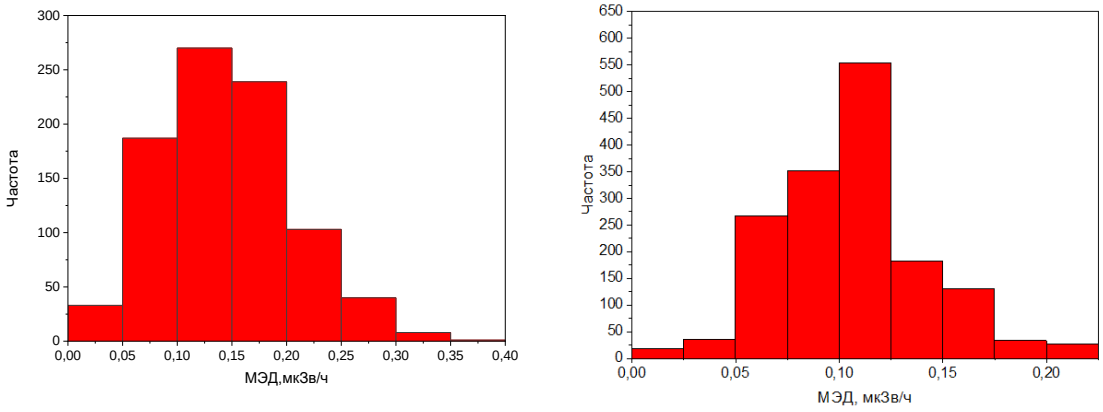
| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,020 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,370 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,130 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,120 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,090 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,120 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,050 |
| Количество измерений, шт | 1500 |

Среднее арифметические и среднее геометрическое значения МАЭД гамма-излучения в пределах промышленных предприятий г. Новочеркасск составили 0,130 и 0,120 мкЗв/ч, соответственно. Полученные данные характерны как для Ростовской области (Бураева и др., 2013д; Дергачева и др., 2019; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Buraeva et. al, 2022), так и для мировых значений МАЭД (0,1 мкЗв/ч), а также не превышают гамма-фон, установленный нормативным документом «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)» (0,3 мкЗв/ч) для территорий под застройку (Бураева и др., 2013д; Дергачева и др., 2019; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Buraeva et. al, 2022).

***Распределение гамма-фона в г. Волгодонск.*** Ниже на рис. 4.7 представлено распределение МАЭД гамма-излучения в жилой части города Волгодонска и на территориях различных предприятий (Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в; Бураева и др., 2022д). Результаты измерений гамма-фона в г. Волгодонске представлены в виде базы[13] данных (Приложение 1, п. П1.1). В таблице 4.7 представлены результаты статистической обработки полученных измерений и сравнение с официальными

[13] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в малых городах Ростовской области в 2019-2021 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021622601 РФ / Бураева Е.А., Ляхова Н.В., Калашникова К.А., Антонова Е.Ю., Антонова Е.Ю., Сидорина У.А., Ревнивцев И.С., Сивцов А.В., Михайлова Т.А.; заявка № 2021622511; заявл. 17.11.2021 г.; дата гос. рег. 23.11.2021 г.

данными (Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН радиационная обстановка на предприятиях Росатома, 2020.)




а) б)

Рисунок 4.7 – а) Распределение МАЭД на территории предприятий б) Распределение МАЭД в жилых зонах г. Волгодонска (Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в)

Распределение МАЭД гамма-излучения в г. Волгодонске и прилегающих предприятиях не превышает МАЭД гамма-излучения, установленной НРБ-99/2009 Российской Федерации (0.30 мкЗв/ч) (Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в). Среднее значение МАЭД гамма-излучения на жилых территориях совпадает с показаниями пунктов АСКРО. Также среднее значение МАЭД в жилых зонах г. Волгодонска меньше, чем, например в г. Ростов-на-Дону (0,130[14] мкЗв/ч) Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в). Это можно объяснить тем, что загруженность автотранспортом в г. Ростов-на-Дону гораздо выше, чем в г. Волгодонске. Также не стоит исключать и различия в качестве (радионуклидном составе) строительных материалов, использующихся в г. Ростове-на-Дону и в г. Волгодонске (Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в).

[14] Бюллетень о радиационной обстановке на территории России в ноябре 2020 г.

Таблица 4.7 – Средние и модальные значения МАЭД на территории г. Волгодонск (Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в)

| Параметр | МАЭД на предприятиях, мкЗв/ч | МАЭД на жилых территориях, мкЗв/ч | МАЭД на АСКРО, мкЗв/ч |
|---|---|---|---|
| Среднее арифметическое | 0,15 | 0,10 | 0,10 |
| Минимальное | 0,02 | 0,01 | – |
| Максимальное | 0,32 | 0,40 | |
| Мода | 0,14 | 0,09 | |
| Медиана | 0,14 | 0,10 | |

***Распределение гамма-фона в г. Таганроге.*** Измерения гамма-фона в г. Таганроге проводились в 2020–2022 годах также вдоль оживленных улиц, в спальных районах и парковых зонах данного города. На рис. 4.8 и в таблице 4.8 представлены результаты статистической обработки МАЭД гамма-излучения для г. Таганрога. Данные по измеренной МАЭД в г. Таганроге оформлены в виде баз[15] данных и приведены в Приложении 1, п. П1.1.

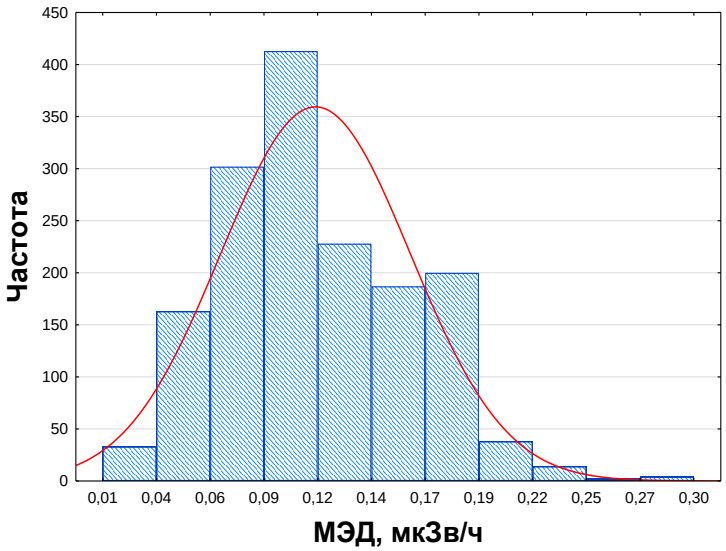



Рисунок 4.8 – Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в г. Таганроге (Бураева и др., 2022д)

[15] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городе Таганроге в 2022 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2022621340 РФ / Бураева Е.А., Козенко О.А., Маломыжева Н.В.; заявка № 2022621238; заявл. 31.05.2022 г.; дата гос. рег. 08.06.2022 г.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городе Таганроге в 2021 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021622576 РФ / Бураева Е.А., Костырев Б.П., Плахотняя Д.П., Сидорина У.А., Сивцов А.В., Бобылев В.А., Михайлова Т.А.; заявка № 2021622533; заявл. 17.11.2021 г.; дата гос. рег. 19.11.2021 г.

Таблица 4.8 – Распределение МАЭД гамма-излучения в г. Таганроге (Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,010 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,300 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,114 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,104 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,100 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,100 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,046 |
| Количество измерений, шт | 1583 |

Распределение МАЭД гамма-излучения в г. Таганрог в целом достаточно равномерное, не превышает Норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009) и согласуется с данными для Ростовской области (Бураева и др, 2013д; Бураева и др., 2022г).

***Распределение гамма-фона в малых и средних городах Ростовской области***[16]. Исследованию радиационной обстановки малых и средних городов уделяется крайне недостаточное внимание (Антонова Ек. и др., 2020; Антонова Ек. и др., 2021а; Антонова Ек. и др., 2021б). Исключения составляют города-спутники предприятий ядерной топливной энергетики (НПО Тайфун, 2022), либо некоторые города-курорты (Тихонова и др., 2019; Есин и Бураева, 2020; Есин и Бураева, 2021а; Есин и Бураева, 2021б; Есин и Бураева, 2021в).

В данном разделе представлены результаты радиоэкологических исследований некоторых малых и средних городов Ростовской области (Бат – г. Батайск, Сал – г. Сальск, Нвш – г. Новошахтинск, Азв – г. Азов, Дон – Донецк, Цим – г. Цимлянск, Акс – г. Аксай. Для сравнения в Таблице 4.22 представлены также Нвч – г. Новочеркасск и Влд – г. Волгодонск, детально проанализированные ранее). На рис. 4.9 и в таблице 4.9 приведены результаты статистической обработке данных по распределению МАЭД гамма-излучения на территориях некоторых малых и

[16] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в малых городах Ростовской области в 2019-2021 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021622601 РФ / Бураева Е.А., Ляхова Н.В., Калашникова К.А., Антонова Е.Ю., Антонова Е.Ю., Сидорина У.А., Ревнивцев И.С., Сивцов А.В., Михайлова Т.А.; заявка № 2021622511; заявл. 17.11.2021 г.; дата гос. рег. 23.11.2021 г.

средних городов Ростовской области (Антонова Ек. и др., 2020; Бураева и др, 2022д).

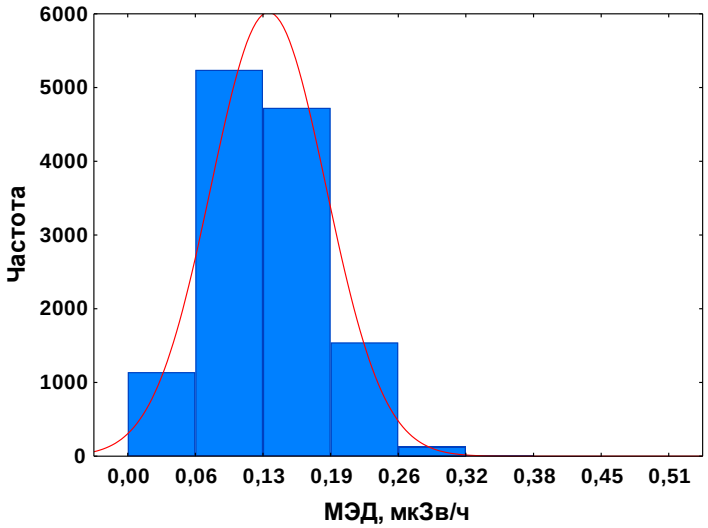



Рисунок 4.9 – Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в малых и средних городах Ростовской области

Таблица 4.9 Распределение МАЭД гамма-излучения в малых и средних городах Ростовской области (Антонова Ек. и др., 2020; Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,010 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,510 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,132 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,119 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,130 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,120 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,054 |
| Количество измерений, шт | 12796 |

Как показано в коллективных работах автора «…МАЭД гамма-излучения на территориях малых и средних городов Ростовской области варьирует в достаточно широких пределах, при этом среднее арифметическое, среднее геометрическое, модальное и медианное значения гамма-фона совпадают в пределах погрешности. Стоит отметить, что эпизодически встречаются в значения МАЭД, превышающие 0,3 мкЗв/ч. Подобные выбросы, вероятно, определяются стохастическим характером гамма-квантов от природных источников ионизирующих излучений. Не стоит исключать и влияние строительных материалов, выбросы автотранспорта на МАЭД

гамма-излучения…» (Антонова Ек. и др., 2020; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Бураева и др., 2022д).

При этом измеренные значения МАЭД гамма-излучения в исследуемых малых и средних городах Ростовской области согласуются с Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010), данными Управления Роспотребнадзора по Ростовской области (Роспотребнадзор по РО, 2022) и для г. Волгодонска данными НПО Тайфун (Ежегодник, 2022) и служб Ростовской АЭС (Отчет РоАЭС, 2022).

**Распределение гамма-фона на территориях сельских поселений Ростовской области.** Результаты оценки радиационной обстановки в сельских населенных пунктах данного региона представлены в коллективных работах автора: (Бураева и др., 2021б; Деревяга и др., 2021; Дубров и др., 2021; Антонова Ек. и др., 2021а; Антонова Ек. и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Огиенко и др., 2021; Шаповалов и Бураева, 2021; Антонова Ек. и др., 2020; Слита и др., 2020; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Бураева и др., 2022д). Также фактический материал по распределению МАЭД в сельских поселениях представлен в виде базы[17] данных (Приложение 1, п. П1.1). В селах, поселках, деревнях и иных сельских поселениях по разным оценкам проживает порядка 30% населения. При этом, как правило, на территориях сельских населенных пунктах отсутствуют крупные промышленные предприятия, в то же время некоторые села могут располагаться в зонах наблюдения (или на природно-техногенных территориях) предприятий ядерной топливной энергетики, тепловой энергетики или угольной промышленности. В Ростовской области к таким предприятиям относятся Ростовская АЭС, Новочеркасская ГРЭС, населенные пункты сельского типа, расположенные в районе Донецкого угольного бассейна (в непосредственной близости от действующих и закрытых угольных шахт) и др.

[17] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территориях сельский поселений Ростовской области в 2019-2020 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021620540 РФ / Бураева Е.А., Огиенко А.В., Ляхова Н.В., Антонова Ел.Ю., Антонова Ек.Ю., Калашникова К.А., Сидорина У.А., Деревяга Д.Е., Шаповалов Е.С., Михайлова Т.А.; заявка № 2021620412; заявл. 18.03.2021 г.; дата гос. рег. 22.03.2021 г.

Ниже представлено распределение МАЭД гамма-излучения на территориях сельских поселений Ростовской области (Бураева и др., 2021б; Деревяга и др., 2021; Дубров и др., 2021; Антонова Ек. и др., 2021а; Антонова Ек. и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Огиенко и др., 2021; Шаповалов и Бураева, 2021; Антонова Ек. и др., 2020; Слита и др., 2020; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Бураева и др., 2022д).

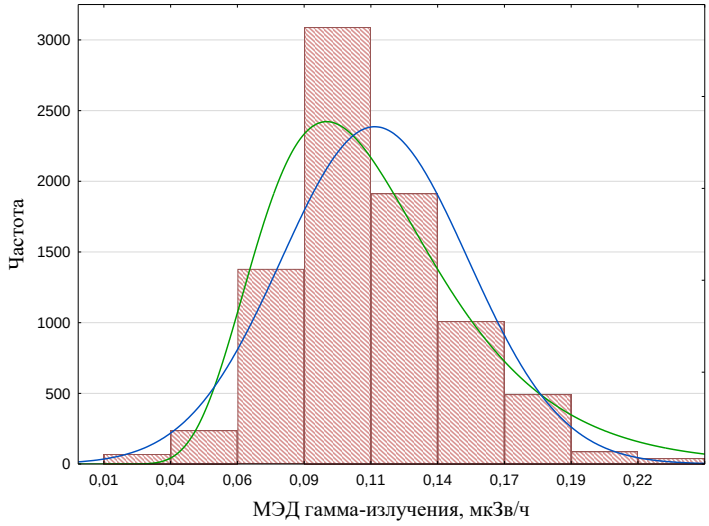



Рисунок 4.10 – Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на территориях сельских поселений Ростовской области

Таблица 4.10 – Результаты статистической обработки данных по распределению МАЭД гамма-излучения на территории сельских поселений Ростовской области

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,010 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,400 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,115 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,109 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,110 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,100 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,036 |
| Количество измерений, шт | 8348 |

Как представлено в ряде коллективных работ автора «…МАЭД гамма-излучения на территориях сельских населенных пунктов Ростовской области близко к логарифмически нормальному. При этом среднее арифметическое, среднее геометрические, модальное и медианное значения гамма-фона совпадают в пределах

стандартного отклонения (неопределенности измерений)» (Бураева и др., 2021б; Деревяга и др., 2021; Дубров и др., 2021; Антонова Ек. и др., 2021а; Антонова Ек. и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Огиенко и др., 2021; Шаповалов и Бураева, 2021; Антонова Ек. и др., 2020; Слита и др., 2020; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б).

Стоит отметить, что «…полученные значения МАЭД гамма-излучения соответствуют Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010) и согласуются с данными, полученными управлением Роспотребнадзора по Ростовской области» (Роспотребнадзор по РО, 2022; Бураева и др., 2021б; Деревяга и др., 2021; Дубров и др., 2021; Антонова Ек. и др., 2021а; Антонова Ек. и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Огиенко и др., 2021; Шаповалов и Бураева, 2021; Антонова Ек. и др., 2020; Слита и др., 2020; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б).

Авторы также отмечают, что «…на территориях сельских поселений, расположенных в 30-километровой зоне наблюдения Ростовской АЭС (Волгодонский, Цимлянский и Дубовский районы) гамма-фон, оцененный в данной работе, согласуется с результатами ежегодного мониторинга радиационной обстановки (Отчет РоАЭС, 2022) и данными НПП Тайфун» (Ежегодник, 2022; Бураева и др., 2021б; Деревяга и др., 2021; Дубров и др., 2021; Антонова Ек. и др., 2021а; Антонова Ек. и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Огиенко и др., 2021; Шаповалов и Бураева, 2021; Антонова Ек. и др., 2020; Слита и др., 2020; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б).

**Гамма-фон на территории Краснодарского края.**

***Радиоактивность на территории сельских поселений Краснодарского края.*** Радиоэкологическое обследование малых населенных пунктов позволяет снижать социальную напряженность, связанную с радиофобией, среди населения. Сельские населенные пункты северной равнинной части Краснодарского края, как правило, расположены в черноземной зоне. Основная деятельность – сельское хозяйство. Результаты оценки гамма-фона на урбанизированных территориях Краснодарского края представлены в коллективных работах автора (Костырев и др., 2021; Плахотняя

и Бураева, 2021; Плахотняя и др., 2020; Плахотняя и др., 2021а; Плахотняя и др., 2021б; Шульга и Бураева, 2021) и оформлены в виде базы[18] данных, представленной в Приложении 1, п. П1.1.

При выращивании сельскохозяйственных культур в почвы вносятся различные минеральные удобрения, причем некоторые из них могут содержать значительные количества естественных радионуклидов (Давыдов и др., 2013). В целом, практически любая человеческая деятельность чаще всего негативно влияет на состояние природных объектов и территорий, в том числе и на радиоэкологическую обстановку.

Также стоит отметить, что использование населением (это особо развито в сельских поселениях) в качестве строительных материалов различные горные породы (Уткин и др., 2010; Гончаренко и др., 2010; Дергачева и др., 2016в; Павленко и др., 2021) и золошлаковые отходы предприятий угольной промышленности (шлакоблоки) (Савин и др., 2017) могут повышать радиационный фон от естественных радионуклидов в жилых зданиях.

Строительство на радоноопасных территориях без специализированной противорадоновой защиты может приводить к повышенному содержанию радиоактивного газа радона в домах (Сердюкова и Капитанов, 1975; Орлова и др., 2006; Гончаренко и др., 2009; Дергачева и Бураева, 2014в; Куликов и др., 2015; Бураева и др., 2016; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2016г; Дергачева и др., 2017б; Горбунов и др., 2019; Джура и др., 2021).

В данном разделе представлены результаты радиоэкологических обследований некоторых сельских населенных пунктов Краснодарского края (Костырев и др., 2021; Плахотняя и Бураева, 2021; Плахотняя и др., 2020; Плахотняя и др., 2021а; Плахотняя и др., 2021б; Шульга и Бураева, 2021).

---

[18] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных и урбанизированных территорий Краснодарского края**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620224 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Тимченко А.А., Шиманская Е.И., Семин Л.В., Горлачев И.А., Вардуни Т.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621820; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 09.02.15.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в станицах Краснодарского края в 2020-2021 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2022620258 РФ / Бураева Е.А., Костырев Б.П., Плахотняя Д.П., Сидорина У.А., Сивцов А.В., Рачейсков Н.А., Шульга В.В., Михайлова Т.А.; заявка № 2022620124; заявл. 30.01.2022 г.; дата гос. рег. 01.02.2022 г.

Ниже, на рис. 4.11 и в таблице 4.11 представлены результаты статистической обработки данных по распределению гамма-фона по всем сельским населенным пунктам Краснодарского края, проанализированных в данной работе (Костырев и др., 2021; Плахотняя и Бураева, 2021; Плахотняя и др., 2020; Плахотняя и др., 2021а; Плахотняя и др., 2021б; Шульга и Бураева, 2021), а также за пределами станиц.

Данные гамма-фона за пределами населенных пунктов степных регионов Краснодарского края можно будет использовать в качестве фоновых значений при оценке влияния степени урбанизации на население и окружающую среду.

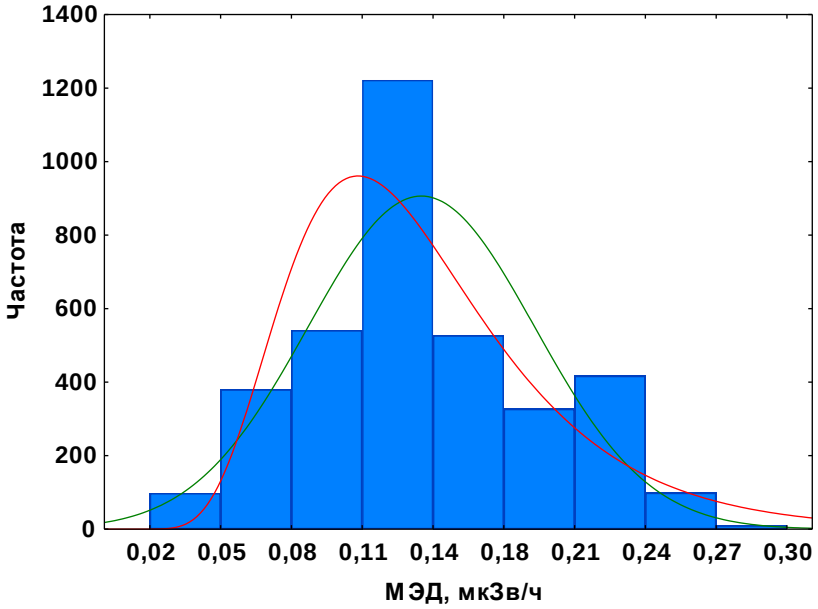



Рисунок 4.11 – Распределение МАЭД гамма-излучения на территориях сельских поселений Краснодарского края (Бураева и др., 2022д)

Таблица 4.11 – Распределение гамма-фона на территориях некоторых сельских поселений Краснодарского края (Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Значение | |
|---|---|---|
| | В станицах | За пределами станиц |
| Минимум, мкЗв/ч | 0,020 | 0,122 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,300 | 0,151 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,139 | 0,136 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,129 | 0,135 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,140 | 0,135 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,120 | 0,135 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,050 | 0,009 |

| Параметр | Значение | |
|---|---|---|
| | В станицах | За пределами станиц |
| Количество измерений, шт | 3621 | 441 |

В целом МАЭД гамма-излучения как на территориях сельских поселений Краснодарского края, так и за пределами населенных пунктов распределена равномерна, без значительных вариаций в пространстве. Стоит отметить, что данные по гамма-фону, полученные для слабоурбанизированных населенных пунктов, соответствуют результатам, полученным для территорий Ростовской области (Бураева и др., 2013д). Это может быть обусловлено схожестью климатических, почвенных и геологических факторов, высотой над уровнем моря (все населенные пункты расположены на высоте примерно 0–20 м над уровнем моря). То есть вклад в гамма-фон космической компоненты и солнечной радиации в степных районах Краснодарского края и Ростовской области сопоставим (Костырев и др., 2021; Плахотняя и Бураева, 2021; Плахотняя и др., 2020; Плахотняя и др., 2021а; Плахотняя и др., 2021б; Шульга и Бураева, 2021).

Измеренный гамма-фон в населенных пунктах Краснодарского края соответствует Нормам радиационной безопасности, данным Управления Роспотребнадзора Краснодарского края и нашим ранним исследованиям (Костырев и др., 2021; Плахотняя и Бураева, 2021; Плахотняя и др., 2020; Плахотняя и др., 2021а; Плахотняя и др., 2021б; Шульга и Бураева, 2021).

***Гамма-фон в некоторых городах Краснодарского края***[19]

В данном разделе представлены результаты радиационного обследования некоторых крупных и средних городов Краснодарского края, расположенных в различных климатических, геологических, почвенных и географических условиях. При этом все города расположены на высоте от 10 м (г. Новороссийск) до 170 м (г. Горячий ключ).

[19] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городах Краснодарского края в 2011, 2020-2021 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021622665 РФ / Бураева Е.А., Машаров К.С., Костырев Б.П., Плахотняя Д.П., Сивцов А.В., Сидорина У.А., Сенин И.Н., Спиридонов Д.Ю., Михайлова Т.А.; заявка № 2021622509; заявл. 17.11.2021 г.; дата гос. рег. 26.11.2021 г.

Ниже, на рис. 4.12 и в таблице 4.12 представлены результаты статистической обработки данных по измеренной МАЭД гамма-излучения в некоторых городах Краснодарского края (Костырев и др., 2021; Плахотняя и Бураева, 2021; Плахотняя и др., 2020; Плахотняя и др., 2021а; Плахотняя и др., 2021б; Шульга и Бураева, 2021; Бураева и др., 2022д).

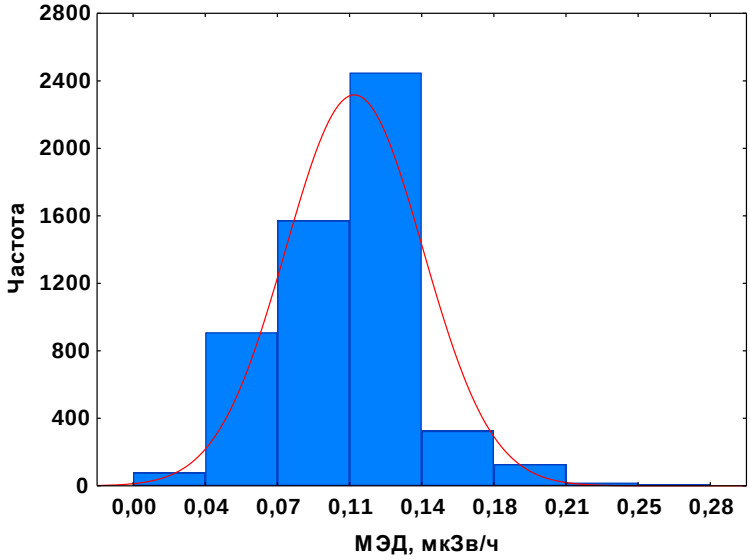



Рисунок 4.12 – Распределение МАЭД гамма-излучения на территориях городов Краснодарского края (Бураева и др., 2022д)

Таблица 4.12 – Данные по распределению гамма-фона на территориях городов Краснодарского края (Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,020 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,280 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,107 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,101 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,110 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,120 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,033 |
| Количество измерений, шт | 5487 |

Распределение МАЭД гамма-излучения в городах Краснодарского края не подчиняется строго ни нормальному, ни логарифмически нормальному законам распределения. При этом среднее арифметическое, среднее геометрическое, модальное и медианное значения гамма-фона совпадают в пределах стандартного отклонения (неопределенности измерений).

Полученные данные по распределению МАЭД гамма-излучения соответствуют результатам, полученным в наших ранних исследованиях (Костырев и др., 2021; Плахотняя и Бураева, 2021; Плахотняя и др., 2020; Плахотняя и др., 2021а; Плахотняя и др., 2021б; Шульга и Бураева, 2021), рекомендациям Норм радиационной безопасности (НРБ-99/2009), сведениям, предоставляемым Управлением Роспотребнадзора по Краснодарскому краю и немногочисленным сторонним публикациям (Орлов и др., 2015; Орлов и др., 2018).

Следует отметить, что в целом гамма-фон в городах ниже, чем в сельских поселениях (станицах) Краснодарского края, при совпадении средних арифметических значений МАЭД в пределах стандартного отклонения: 0,139±0,050 мкЗв/ч и 0,107±0,033 мкЗв/ч для сельских и городских поселений соответственно.

Это может быть обусловлено и географическим расположением населенных пунктов – анализируемые станицы Краснодарского края расположены в степной части региона, почвы – преимущественно черноземы, на которых осуществляется активная сельскохозяйственная деятельность. Города расположены как в субтропическом климате на побережье Черного моря (г. Новороссийск и г. Сочи), так и в степной зоне (Тихорецк, Новокубанск и Краснодар).

Черноземы, как правило, отличаются повышенным содержанием естественных радионуклидов, а внесение удобрений в почвы может способствовать увеличению удельной активности естественных радионуклидов в почвах (Давыдов и др., 2013).

В горных районах, особенно на территориях со сложным рельефом могут формироваться локальные участки с повышенным содержанием радионуклидов, обусловленными их латеральным и радиальным переносом с последующим накоплением в понижениях рельефа. Это может приводить к изменению (увеличению) природного радиационного фона.

**Гамма-фон на территории урочища Малый Лиман.** Среди рекреационных территорий Краснодарского края достаточно интересно Урочище Малый Лиман, расположенное в Новороссийском районе рядом с побережьем Черного моря. В урочище расположены ООПТ «Озеро Лиманчик» и База практики и спортивно-оздоровительного туризма Южного федерального университета «Лиманчик».

Урочище активно используется населением для организованного и неорганизованного туризма. В Новороссийском районе в окрестностях поселка Абрау расположено множество пансионатов, баз отдыха и иных объектов.

Гамма-фон оцененный в данной слабо урбанизированной рекреационной территории можно считать фоновым (эталонным) для урбанизированных и импактных территорий, расположенных в схожих климатических и геологических условиях (для г. Новороссийская, Геленжика и ряда других населенных пунктов Новороссийского и соседних районов Краснодарского края), так как в окрестностях урочища Малый Лиман отсутствуют крупные промышленные предприятия.

Ниже, на рис. 4.13 и в таблице 4.13 приведены результаты статистической обработки данных по измеренной МАЭД гамма-излучения на территории урочища Малый Лиман.

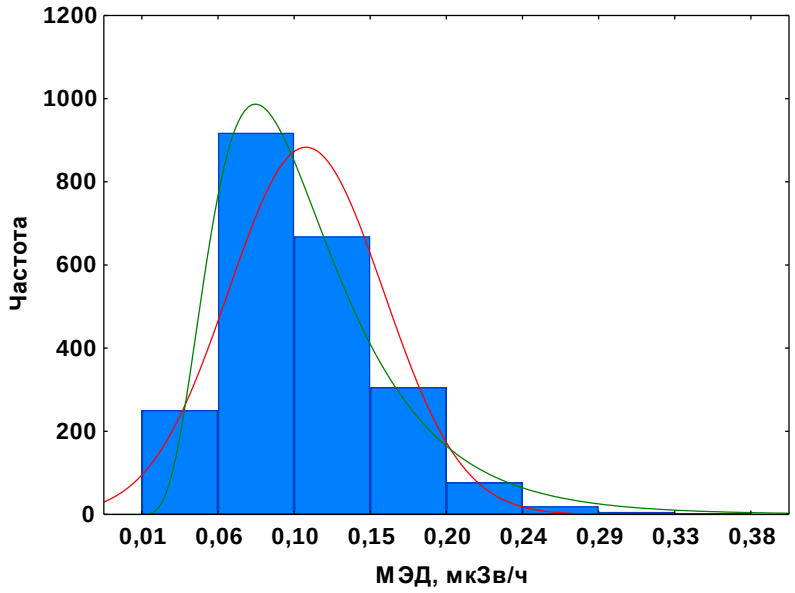



Рисунок 4.13 – Распределение МАЭД гамма-излучения в Урочище Малый Лиман (Бураева и др., 2022д)

Таблица 4.13 – Результаты статистической обработки МАЭД гамма-излучения в Урочище Малый Лиман (Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,010 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,380 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,109 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,109 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,100 |

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Мода, мкЗв/ч | 0,090 |
| Стандартная ошибка, мкЗв/ч | 0,001 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,047 |
| Дисперсия выборки | 0,002 |
| Эксцесс | 1,65 |
| Асимметричность | 0,88 |
| Количество измерений, шт | 2249 |

Несмотря на достаточно широкие вариации гамма-фона в урочище Малый Лиман в пределах Базы практики «Лиманчик», среднее арифметическое, среднее геометрическое, модальное и медианное значения МАЭД составляют 0,09–0,11 мкЗв/ч при стандартном отклонении 0,047 мкЗв/ч.

Широкие вариации гамма-фона могут быть обусловлены наличием выходов осадочных пород в урочище. Также, следует отметить, что урочище располагается в чаше на дне амфитеатра, окруженного горами. И на гамма-фон может оказывать влияние и радиоактивный газ радон и его продукты распада, в том числе гамма-излучающие $^{214}$Bi и $^{214}$Pb.

Можно сделать вывод о том, что ***для прибрежных природных и урбанизированных территорий Черного моря фоновое значение МАЭД гамма-излучения составляет 0,109±0,047 мкЗв/ч.*** Эти результаты могут быть скорректированы при масштабных радиоэкологических исследованиях природных рекреационных территорий на побережье Черного моря.

Полученные в работе результаты полностью соответствуют Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010), данным Управления Роспотребнадзора Краснодарского края и немногочисленным научным исследованиям (Орлов и др., 2015; Орлов и др., 2018).

**Гамма-фон в городах Кавказских Минеральных Вод Ставропольского края.** Кавказские Минеральные Воды (КМВ) – это группа городов-курортов на юге России, известная своей природой и, прежде всего, различными бальнеологическими процедурами. В городах-курортах проводятся многочисленные исследования в области экономики и бизнеса, связанные с производством минеральных вод (Пьянов, 2014), оценке качества природных вод (Репс и др., 2017),

а также изучения почвенно-экологической обстановки на территории городов-курортов (Безуглова и Маркова, 2017; Минеева, 2012).

Среди особенностей региона КМВ необходимо выделить расположение городов над уровнем моря (500–1070 м) и уникальную геологическую характеристику городов-курортов (Сидякин и др., 2015). Также, на данной территории присутствуют радиационные аномалии, связанные с урановыми рудопроявлениями (Государственный доклад, 2017, Государственный доклад, 2019, Khorzova et. al., 2016), участки глобальных радиационных загрязнений (Поменяйло, 2017) и территории с радиоактивным загрязнением естественными радионуклидами, образовавшиеся в результате деятельности предприятия по добыче урановых руд (Государственный доклад, 2017, Государственный доклад, 2019, Khorzova et. al., 2016).

Основной задачей данного исследования является оценка радиационного состояния на территориях городов-курортов Кавказских Минеральных Вод. И первостепенной задачей является измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на территории данных городов. Ниже, на рис. 4.14 и в таблице 4.14 представлены результаты статистической обработки результатов измерения гамма-фона в районе расположения городов-курортов Кавказских Минеральных Вод. Фактический материал по измеренной МАЭД оформлен в виде базы данных[20] и представлен в Приложении 1, п. П1.1.

Также основная часть исследований по распределению МАЭД в городах Кавказских Минеральных Вод представлена в коллективных публикациях автора (Есин и Бураева, 2021а; Есин и Бураева, 2021б; Есин и Бураева, 2021в; Есин и Бураева, 2020; Бураева и др., 2022д).

[20] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городах Кавказских минеральных вод в 2021 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021621966 РФ / Бураева Е.А., Ляхова Н.В., Швецова Д.А., Есин Е.С., Михайлова Т.А.; заявка № 2021621819; заявл. 03.09.2021 г.; дата гос. рег. 15.09.2021 г.

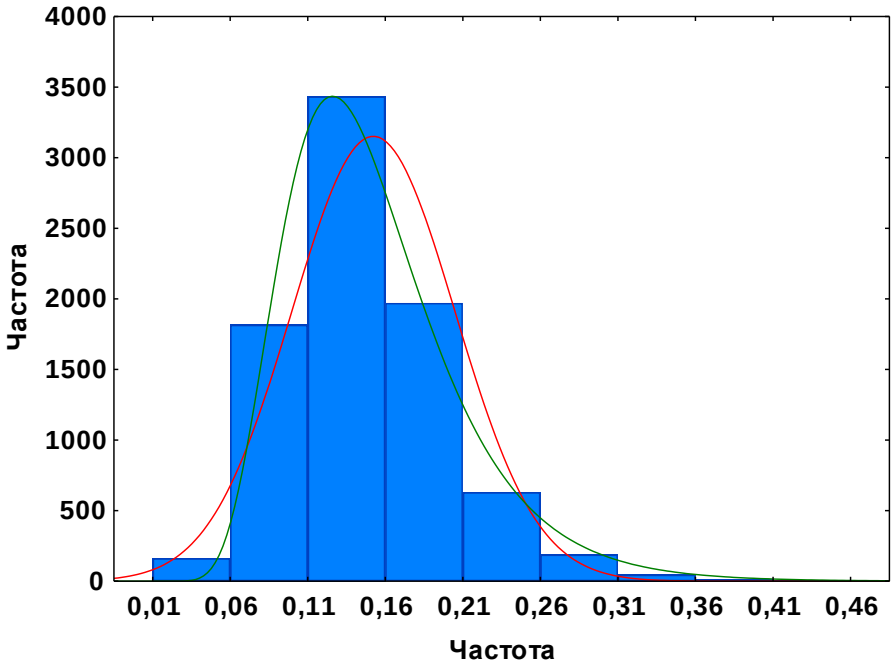



Рисунок 4.14 – Распределение МАЭД гамма-излучения в городах-курортах Кавказских Минеральных Вод (Есин и Бураева, 2021а; Есин и Бураева, 2021б; Есин и Бураева, 2021в; Есин и Бураева, 2020; Бураева и др., 2022д)

Таблица 4.14 – Результаты статистической обработки МАЭД гамма-излучения в городах-курортах Кавказских Минеральных Вод (Есин и Бураева, 2021а; Есин и Бураева, 2021б; Есин и Бураева, 2021в; Есин и Бураева, 2020; Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,010 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,460 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,151 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,143 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,140 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,140 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,052 |
| Количество измерений, шт | 8268 |

Распределение МАЭД гамма-излучения на территориях Кавказских Минеральных Вод строго не подчиняется ни нормальному, ни логарифмически нормальному законам распределения. При этом гамма-фон соответствует Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010), данным различных надзорных органов (Роспотребнадзор по СК, 2022) и результатам некоторых

сторонних исследования (Государственный доклад, 2017, Государственный доклад, 2019, Khorzova et. al., 2016; Поменяйло, 2017). Следует отметить, что среднее геометрическое, среднее арифметическое, модальное и медианное значения (таблица 4.31) совпадают в пределах стандартного отклонения (0,052 мкЗв/ч).

Необходимо отметить, что все исследуемые города расположены на различной высоте над уровнем моря и имеют различные климатические особенности: Кисловодск – высота центра 815 м над уровнем моря, климат отличается горно-долинной циркуляцией воздуха; Пятигорск – высота центра 500 м над уровнем моря, климат умеренно-континентальный, активная сейсмическая деятельность; Железноводск – высота центра 599 м над уровнем моря, климат горно-лесной, умеренно сухой; Ессентуки – высота центра 640 м над уровнем моря, климат континентальный, горно-степной; Лермонтов – высота центра 650 м над уровнем моря, климат резко континентальный (Годзевич, 2009; Памятники природы Ставропольского края, 2022).

В районе Кавказских Минеральных Вод расположена целая система магматических гор, в том числе и лакколитов (Годзевич, 2009; Памятники природы Ставропольского края, 2022). С вулканической деятельностью (интрузией бештаунитов) связано и Лермонтовское месторождение урановых руд, наличие радоновых, термальных и минеральных источников.

Вулканическая деятельность и связанные с ней урановые месторождения могут приводить (и приводят) к загрязнению окружающей среды естественными радионуклидами и, как следствие, к повышенной МАЭД гамма-излучения.

**Гамма-фон на территории горной Адыгеи (Майкопский район).**

***Распределение гамма-фона на контрольных участках Майкопского района.*** В качестве природных территорий Республики Адыгея были выбраны КУ, расположенные в горной части Майкопского района, в основном, на территории Даховского кристаллического массива. Измерения гамма-фона (с последующим отбором почвенных и растительных проб) проводились в ущельях рек Белая и Сюк,

смешанных лесах горных склонов к пойме реки Белая и реки Сюк. Измерения МАЭД оформлены в виде баз данных[21] и представлены в Приложении 1, п. П1.1

Характеристики мониторинговых площадок и контрольных участков Майкопского района Республики Адыгея детально представлены в Главе 2. (Объекты исследования). Стоит отметить, что все площадки расположены на высоте 500–600 м над уровнем моря. На рис. 4.15 и в таблице 4.15 приведены результаты статистической обработки данных по распределению МАЭД гамма-излучения на участках Майкопского района Республики Адыгея. Для проведения статистического анализа не рассматривались данные, полученные в штольнях и в непосредственно близости от штолен (Белореченского месторождения баритов).

Часть исследований, посвященных оценке МАЭД в горных районах Республики Адыгея отражены в цикле коллективных работ автора (Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2013д; Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и Бураева, 2021; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Шаповалова и др., 2016в; Бураева и др., 2022д).

---

[21] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных и урбанизированных территорий Республики Адыгея**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620308 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Тимченко А.А., Шиманская Е.И., Семин Л.В., Горлачев И.А., Вардуни Т.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621813; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 17.02.15.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных территорий Республики Адыгея в 2009-2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621425 РФ / Бураева Е. А., Дергачева Е. В., Долгополов А.В., Заруднев А.А., Иванов Е.С., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621157; заявл.23.08.2016; дата гос. рег. 21.10.2016.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных территорий Республики Адыгея в 2017 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2019620171 РФ / Бураева Е.А., Андрюшина И.Н., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А., Пронина Е.В., Проценко В.В., Саевский А.И.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019620068; заявл. 18.01.2019 г.; дата гос. рег. 25.01.2019 г.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных территорий Республики Адыгея в 2018-2019 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621774 РФ / Глазунова Е.В., Бураева Е.А., Антонова Ек.Ю., Антонова Ел.Ю., Иванков Д.В., Исаева Е.А., Кащаева Е.А., Машаров К.С., Плахотняя Д.П., Сидорина У.А., Ширяева А.А., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621638; заявл. 24.09.2020 г.; дата гос. рег. 01.10.2020 г.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в Республике Адыгея 2020-2022 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2022622804 РФ / Бураева Е. А., Бобылев В.А., Костырев Б.П., Плахотняя Д.П., Сивцов А.В., Сидорина У.А., Шаповалов Е.С., Маломыжева Н.В; заявка № 2022622743; заявл. 01.11.2022 г.; дата гос. рег. 09.11.2022 г.

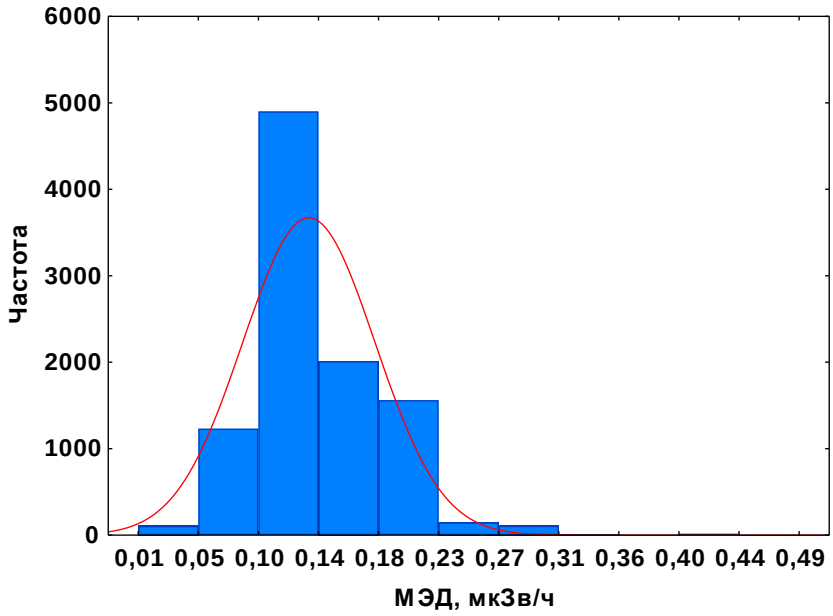



Рисунок 4.15 – Распределение МАЭД гамма-излучения на мониторинговых площадках Майкопского района Республики Адыгея (Бураева и др., 2022д)

Таблица 4.15 – Распределение МАЭД гамма-излучения на мониторинговых площадках Майкопского района Республики Адыгея (Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,010 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,486 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,132 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,124 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,120 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,100 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,047 |
| Количество измерений, шт | 10096 |

Фон на природных территориях Республики Адыгея варьирует в широких пределах. На большей площади данного региона гамма-фон находится в пределах 0,08–0,20 мкЗв/ч, что не превышает гамма-фон, установленный Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009 Российской Федерации (0,3 мкЗв/ч) и согласуется со среднемировым гамма-фоном (0,1–0,2 мкЗв/ч) (Vysokoostrovskaya et al., 1996; Wang et al., 2005; Song et al., 2012). Дополнительные дозовые нагрузки могут вносить выходы гранитов на поверхность Земли. Коренные породы залегают неглубоко – от 20 см до 1 м, и могут быть оголены вследствие оползней и селей (Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2013д; Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и

Бураева, 2021; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Шаповалова и др., 2016в; Бураева и др., 2022д).

Также на вариации МАЭД гамма-излучения может оказывать влияние радионуклидный состав почв и подстилающих пород на различных контрольных участках и мониторинговых площадках (Абдулаева и др., 2014а; Абдулаева и др., 2014б; Асварова и др., 2012; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураеа и др., 2011б; Бураева и др., 2013д; Бураева и др., 2013ж; Дергачева и др., 2016а; Бураева и др., 2016; Бураева и др., 2018д; Бураева и др, 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева, 2022б; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б и др.). Например, КУ мониторинговой площадки РГУ расположены в гранитном ущелье, почвы – дерново-силикатные (ранкеры лесные). Контрольные участки МЛ и СЛ расположены на надпойменной террасе реки Белая, почвы – луговые на валунно-галечниковых отложениях различного генезиса (Бураева и Ширяева, 2021; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019).

В поймах рек Белая (ПБ) и Сюк (СС-6) – дерново-аллювиальные почвы, в период паводков могут выноситься породы (обломки, песок, щебень) с различным радионуклидным составом. На остальных площадках распространены бурые лесные почвы (Бураева и Ширяева, 2021; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Бураева и др., 2022д).

Стоит отметить, что все КУ и мониторинговые площадки расположены на разных элементах рельефа – дно ущелья (РЛ), склоновые территории (БЛВ, БЛН, СС-4, СС-5), поймы рек (ПБ и СС-6), выровненные участки на террасах рек (МЛ и СЛ) (Бураева и Ширяева, 2021; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016б; Жучков и

др., 2012; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Бураева и др., 2022д).

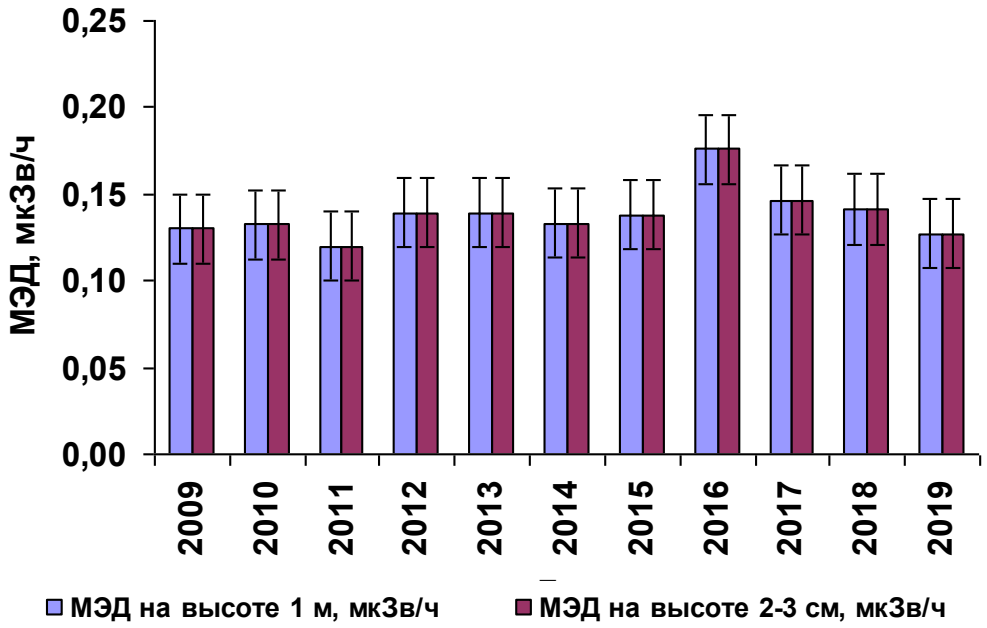



Рисунок 4.16 – Изменение МАЭД на модельных площадках Майкопского района горной Адыгеи (Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2013д; Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и Бураева, 2021; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Шаповалова и др., 2016в)

В целом МАЭД гамма-излучения за период исследования стабилен и в среднем составляет 0,130–0,140 мкЗв/ч (рис. 4.16). Это может свидетельствовать о том, что внешних источников повышенного гамма-фона на данных территориях за счет деятельности человека в данный период времени нет (Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2013д; Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и Бураева, 2021; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Шаповалова и др., 2016в).

***В качестве фоновой (эталонной) МАЭД гамма-излучения для горных районов Республики Адыгея можно считать величину 0,132±0,047 мкЗв/ч при отсутствии выходов/обнажений пород и месторождений полезных ископаемых.***

Однако из-за радиоактивных аномалий Республика Адыгея относится к территориям с повышенным гамма-фоном от естественных радионуклидов. Они могут быть как естественного происхождения, например, Майкопский ураноносный

глиняный горизонт, так и искусственного, например, штольни и отвалы, колодцы и колонки, которые ведут забор воды из водоносных слоев, сформированных на радиоактивных пластах (Бураева и др., 2013д). В табл. 4.16 приведены аномалии, которые были обнаружены как на территориях населенных пунктов, так и на природных участках в экспедициях 2003–2021 гг.

Таблица 4.16 – Гамма-фон на радиоактивных аномалиях Республики Адыгея

| Минимальное значение МАЭД, мкЗв/ч | Максимальное значение МАЭД, мкЗв/ч | Среднее значение МАЭД, мкЗв/ч | Стандартное отклонение |
|---|---|---|---|
| 1,00 | 37,72 | 3,37 | 6,45 |

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения территорий с радиоактивными аномалиями варьируется достаточно в широких пределах. Сами аномалии распределены неравномерно. Поиск, локализация и изоляция таких участков являются важными задачами в области радиационной безопасности человека и окружающей среды.

***Гамма-фон на плато Лагонаки (Кавказский биосферный заповедник).*** Исследования радиоактивности проводились на территории Кавказского биосферного заповедника – на плато Лагонаки. Мониторинговая площадка расположена на высоте 1800 м над уровнем моря и отличается горно-луговыми альпийскими почвами на элювии древних известняков. На территории заповедника запрещена любая деятельность, в том числе выгон и выпас животных.

Данная заповедная территория может служить эталонной площадкой для оценки влияния человеческой деятельности на трансформацию природных систем. При этом, на высоте от 1500 до 2000 м над уровнем моря на территории Российской Федерации расположено множество населенных пунктов (как правило, некрупных и средних сельских поселений), но и, в том числе, туристических центров – например, на Кавказе – пос. Терскол, курорт Роза Хутор и множество других.

Также, на Кавказе в зоне альпийских и субальпийских лугов на значительных территориях ведется активное животноводство. Такие луга являются прекрасными сенокосными угодьями и пастбищами. И повышенное содержание радионуклидов в

наземных экосистемах может оказать негативное влияние на население при передаче поллютантов по пищевым цепочкам.

Ниже представлены результаты статистической обработки данных по распределению гамма-фона на некоторых мониторинговых площадках на плато Лагонаки в Кавказском биосферном заповеднике. Гамма-фон, измеренный на контрольных участках плато Лагонаки оформлен в виде баз данных[22] и представлен в приложении 1, п. П1.1. Часть результатов по распределению МАЭД на КУ плато Лагонаки отражена в коллективных работах автора (Давыденко и др., 2015; Бураева и др., 2013д; Бураева и др., 2022д).

Распределение МАЭД гамма-излучения на плато Лагонаки равномерное, одномодальное и изменяется в достаточно широких пределах, при этом достаточно невысокое для высокогорий Северного Кавказа. Гамма-фон на плато Лагонаки строго не подчиняется ни нормальному, ни логарифмически нормальному законам распределения (рис. 4.17 и таблица 4.17).

---

[22] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных и урбанизированных территорий республики Адыгея**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620308 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Тимченко А.А., Шиманская Е.И., Семин Л.В., Горлачев И.А., Вардуни Т.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621813; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 17.02.15.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных территорий Республики Адыгея в 2009-2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621425 РФ / Бураева Е. А., Дергачева Е. В., Долгополов А.В., Заруднев А.А., Иванов Е.С., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621157; заявл.23.08.2016; дата гос. рег. 21.10.2016.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных территорий Республики Адыгея в 2017 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2019620171 РФ / Бураева Е.А., Андрюшина И.Н., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А., Пронина Е.В., Проценко В.В., Саевский А.И.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019620068; заявл. 18.01.2019 г.; дата гос. рег. 25.01.2019 г.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных территорий Республики Адыгея в 2018-2019 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621774 РФ / Глазунова Е.В., Бураева Е.А., Антонова Ек.Ю., Антонова Ел.Ю., Иванков Д.В., Исаева Е.А., Кащаева Е.А., Машаров К.С., Плахотняя Д.П., Сидорина У.А., Ширяева А.А., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621638; заявл. 24.09.2020 г.; дата гос. рег. 01.10.2020 г.

**Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в Республике Адыгея 2020-2022 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2022622804 РФ / Бураева Е. А., Бобылев В.А., Костырев Б.П., Плахотняя Д.П., Сивцов А.В., Сидорина У.А., Шаповалов Е.С., Маломыжева Н.В; заявка № 2022622743; заявл. 01.11.2022 г.; дата гос. рег. 09.11.2022 г.

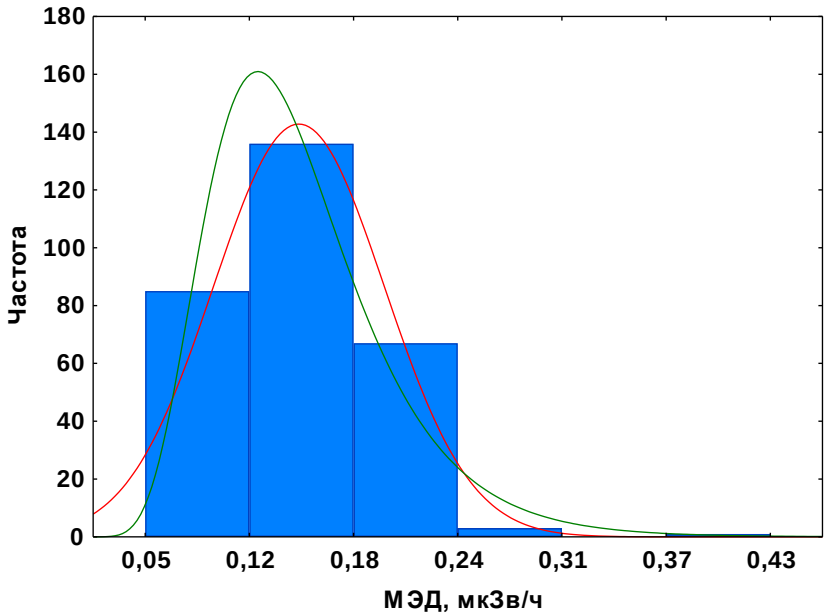



Рисунок 4.17 – Распределение МАЭД гамма-излучения на плато Лагонаки (Давыденко и др., 2015; Бураева и др., 2013д; Бураева и др., 2022д)

Таблица 4.17 – Распределение МАЭД гамма-излучения на плато Лагонаки (Давыденко и др., 2015; Бураева и др., 2013д; Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,054 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,432 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,146 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,138 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,135 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,135 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,051 |
| Количество измерений, шт | 292 |

По различным исследованиям на высокогорных территориях (более 1500 м над уровнем моря) вклад космической компоненты до двух раз выше, чем на территориях, расположенных на уровне моря (Абдулаева и Асварова, 2014; СанПиН 2.6.1.2800-10, 2010). При оценке радиоэкологической обстановки на высокогорных территориях необходимо учитывать не только МАЭД гамма-излучения, но и геологическое строение региона, так как различные горные породы и минералы могут содержать значительные количества естественных радионуклидов.

**Гамма-фон в высокогорных районах Северного Кавказа**

***Гамма-фон высокогорий Ирафского района Республики Северная Осетия – Алания.*** В данном разделе приведены результаты радиоэкологического обследования некоторых высокогорных территорий со сложным геологическим строением и наличием сейсмогенерирующих тектонических разломов (Вьюхина и др., 2013; Вьюхина и др., 2014). Измерения радиационного фона проводились «…в рамках комплексной оценки влияния тектонической нарушенности территории на фенотипических и цитогенетических изменениях древесных растений…» (Вьюхина и др., 2013; Вьюхина и др., 2014).

Следует отметить, что на территории исследования среди горных пород встречаются граниты, а наличие тектонических разломов приводит к повышенной эманации радона с поверхности почвы.

Исследования велись на северном склоне Главного хребта (левый борт р. Танадон) (Северная Осетия, Ирафский район, Национальный парк «Алания» (НПА)) (Вьюхина и др., 2013; Вьюхина и др., 2014). Высота над уровнем моря на контрольных участках составляет порядка 2000–2200 м. В районе исследования располагается База практики и спортивно-оздоровительного туризма «Таймази» Южного федерального университета. Ниже представлены результаты статистической обработки данных МАЭД гамма-излучения, измеренных на контрольных точках в Национальном парке Алания. Результаты по распределению МАЭД оформлены в виде базы[23] данных и представлены в Приложении 1, П1.1.

[23] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории Дигорского района Республики Северная Осетия – Алания в 2013 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621416 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Нефедов В.С., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621143; заявл. 17.10.2017 г.; дата гос. рег. 01.12.2017 г.

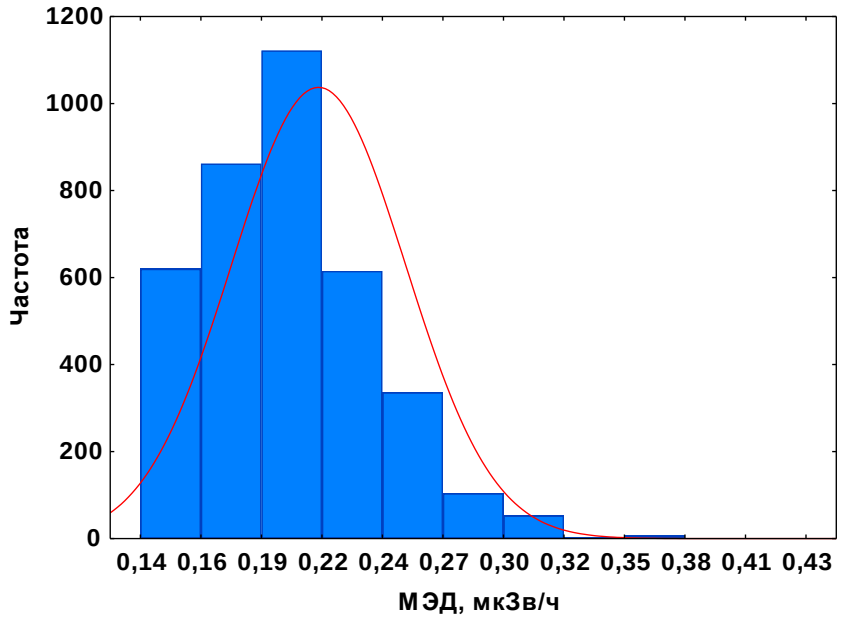



Рисунок 4.18 – Распределение МАЭД гамма-излучения на контрольных участках в Национальном парке Алания

Таблица 4.18 – Распределение МАЭД гамма-излучения на контрольных участках Национального парка Алания (Вьюхина и др., 2014)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,135 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,432 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,214 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,211 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,216 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,216 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,039 |
| Количество измерений, шт | 3722 |

МАЭД гамма-излучения на территории Национального парка Алания достаточно высокая. Наиболее часто встречающиеся значения гамма-фона более 0,21 мкЗв/ч. Это обусловлено как влиянием высотной компоненты космического излучения и солнечной радиации в распределение гамма-фона, так и сложная геологическая и тектоническая обстановки на территории. Достаточно часто встречаются значения МАЭД более 0,3 мкЗв/ч (рекомендованные Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010). Следует отметить, что подобный гамма-фон характерен для высокогорных районов в целом (Абдулаева и Асварова, 2014).

**Так как на территории Национального парка Алания нет значимого влияния урбанизации и промышленности, подобные значения МАЭД гамма-излучения можно считать фоновыми (эталонными) для территорий, расположенных на высоте порядка 2000 м над уровнем моря и схожими по геологическим и тектоническим условиям.**

***Гамма-фон высокогорий Республики Карачаево-Черкессия (плато Шадтжатмаз).*** Среди высокогорных районов Кавказа в данной работе также проводились исследования радиоактивности наземных экосистем и на плато Шадтжатмаз. Контрольные участки располагались в районе размещения Кисловодской высокогорной станции Института физики атмосферы им. А.Н. Обухова РАН. Оценка радиоактивности территорий проводилась в рамках комплексной геофизической экспедиции для изучения электропроводности приземной атмосферы. Высота над уровнем моря составляет 2100 м. Почвы – горно-луговые субальпийские кислые на плотных осадочных породах. Растительность – луговая (клевер луговой, тысячелистник обыкновенный, кульбаба щетинистая и др.).

Территория исследования по своим почвенно-климатическим и геологическим характеристикам аналогична участкам на плато Лагонаки. Ниже представлены результаты статистической обработки данных МАЭД гамма-излучения за четырехлетний период исследования. Результаты по распределению МАЭД оформлены в виде базы[24] данных и представлены в Приложении 1, П1.1.

[24] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на плато Шаджатмаз (Республика Кабардино-Балкария) в 2018-2020 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020622488 РФ / Бураева Е.А., Михайлова Т.А., Машаров К.С.; заявка № 2020622213; заявл. 12.11.2020 г.; дата гос. рег. 02.12.2020 г.

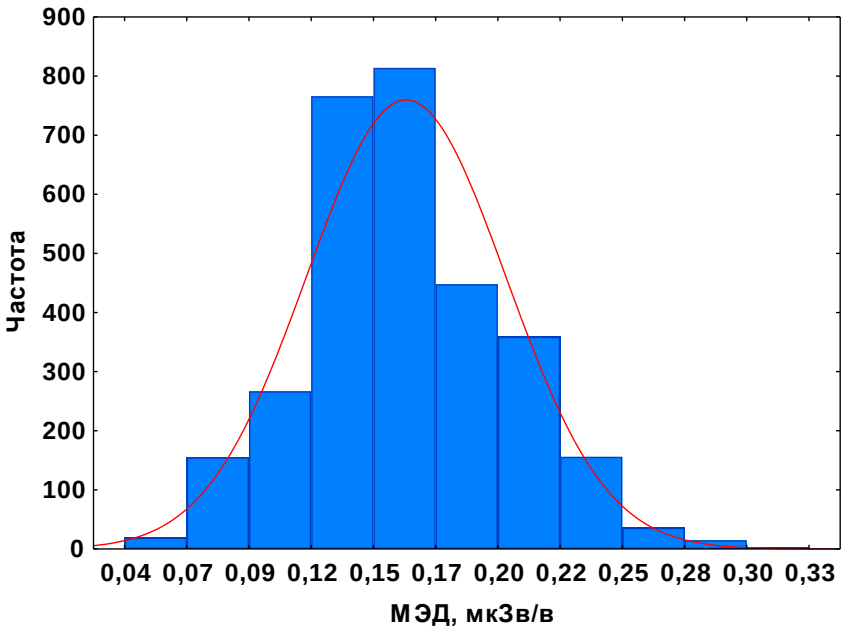



Рисунок 4.19 – Распределение МАЭД гамма-излучения на контрольных участках на плато Шадтжатмаз (Бураева и др., 2022д)

Таблица 4.19 – Распределение МАЭД гамма-излучения на контрольных участках на плато Шадтжатмаз (Бураева и др., 2022д)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,040 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,330 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,159 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,153 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,160 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,140 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,042 |
| Количество измерений, шт | 3037 |

Распределение МАЭД гамма-излучения на плато Шаджатмаз строго не подчиняется ни нормальному, ни логарифмически нормальному законам распределения (рис.4.19, табл. 4.19). При этом среднее арифметическое, среднее геометрическое, модальное и медианное значения совпадают в пределах стандартного отклонения (0,042 мкЗв/ч). Гамма-фон, измеренный на плато Шаджатмаз, несколько выше, чем на плато Лагонаки (хотя абсолютные средние значения МАЭД на плато Шаджатмаз и плато Лагонаки согласуются в пределах стандартного отклонения: среднее арифметическое значение МАЭД на плато Лагонаки составляет 0,146±0,051 мкЗв/ч; а на плато Шаджатмаз – 0,159±0,042).

Это может быть обусловлено различием в высоте над уровнем моря – 1800 и 2100 м для плато Лагонаки и плато Шаджатмаз соответственно. Подобный гамма-фон можно считать эталонным для территорий (населенных пунктов), расположенных на высотах порядка 2000 м над уровнем моря с учетом геологического строения.

Следует отметить, что и на плато Лагонаки, и на плато Шаджатмаз подстилающими породами являются известняки разного геологического возраста.

В целом, МАЭД не превышает фон, установленный Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010 – 0,3 мкЗв/ч) и характерен для высокогорных территорий. Факторы, формирующие гамма-фон – космическое излучение, солнечная радиация, излучение почвенных естественных дозообразующих радионуклидов ($^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K) и искусственного $^{137}$Cs. Не стоит исключать и влияние радиоактивного газа радона на формирование дозы ионизирующего излучения.

***Гамма-фон высокогорий Республики Кабардино-Балкария (пики Чегет и Терскол).*** Гамма-фон в высокогорных районах Республики Кабардино-Балкария измерялся на контрольных участках, расположенных на пике Чегет (высота 3050 м над уровнем моря, расположена на площадке размещения противолавинной службы). На пике Терскол контрольные участки размещались на территории международной астрономической обсерватории «Обсерватория пик Терскол» на высоте 3150 м над уровнем моря.

На рис. 4.20 и в таблице 4.20 представлены результаты статистической обработки данных по распределению МАЭД гамма-излучения на КУ пиков Чегет и Терскол. Результаты измерений МАЭД оформлены в виде базы[25] данных и представлены в Приложении 1, П1.1.

---

[25] **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на пиках Чегет и Терскол, Республика Кабардино-Балкария в 2013 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621415 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Нефедов В.С., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621142; заявл. 17.10.2017 г..; дата гос. рег. 01.12.2017 г.

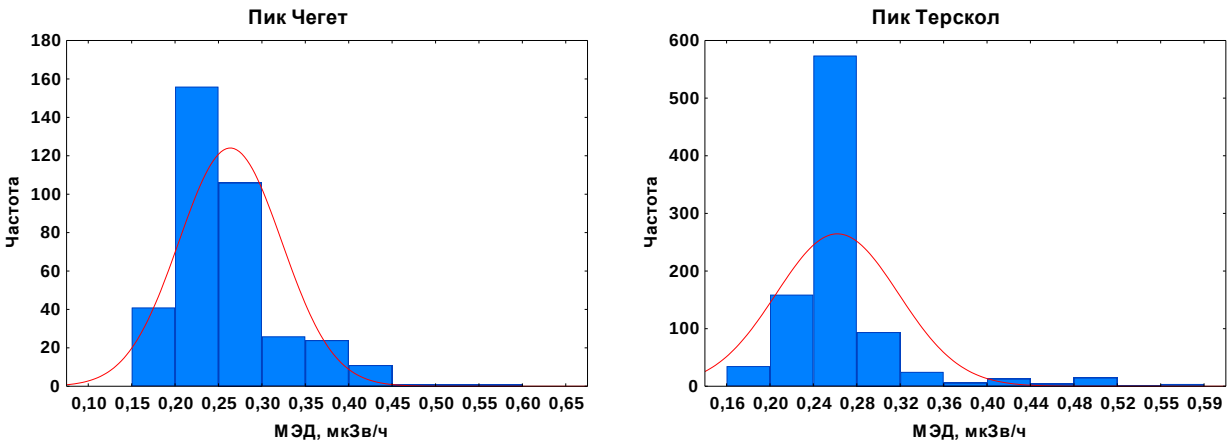



Рисунок 4.20 – Распределение МАЭД гамма-излучения на контрольных участках на пиках Чегет и Терскол

Таблица 4.20 – Распределение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на модельных площадках на пиках Чегет и Терскол

| Параметр | пик Чегет | пик Терскол |
|---|---|---|
| Минимум, мкЗв/ч | 0,162 | 0,162 |
| Максимум, мкЗв/ч | 0,567 | 0,594 |
| Среднее арифметическое, мкЗв/ч | 0,263 | 0,262 |
| Среднее геометрическое, мкЗв/ч | 0,257 | 0,257 |
| Медиана, мкЗв/ч | 0,243 | 0,243 |
| Мода, мкЗв/ч | 0,243 | 0,243 |
| Стандартное отклонение, мкЗв/ч | 0,059 | 0,055 |
| Количество измерений, шт | 367 | 931 |

Радиационный фон исследуемых природных территорий Республики Кабардино-Балкария (модельные площадки на пиках Чегет и Терскол) отличается высокими значениями (таблица 4.20), в среднем близкими к значению 0,30 мкЗв/ч (НРБ-99/2009 и ОСПОРБ-99/2010). Минимальные значения на данных КУ начинаются с 0,16 мкЗв/ч (это выше среднего гамма-фона для Ростовской области и Краснодарского края).

Контрольные участки данного региона расположены в зоне кристаллического метаморфического комплекса, прорванного разновозрастными интрузивными породами, что в сочетании с высокогорными условиями (высокий вклад космогенного излучения в формирование гамма-фона) относит данные территории к зонам с повышенным гамма-фоном.

**В целом, исследования в данной работе были проведены в соответствии с руководящими принципами Международной Комиссии по Радиологической Защите** – МКРЗ (ICRP, 2012).

В таблице 4.21 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.

– Выявлена следующая закономерность (рис. 4.21 и табл. 4.21):

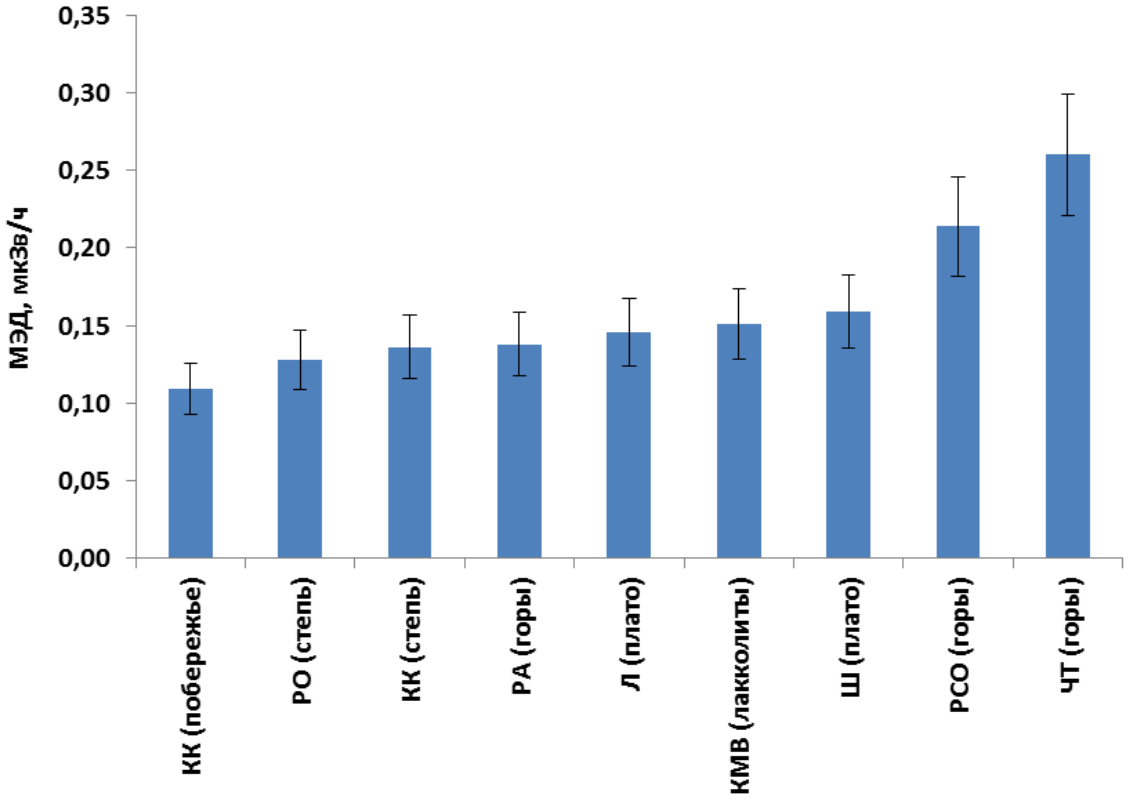



Рисунок 4.21 – Распределение МАЭД гамма-излучения в разных природных регионах Северного Кавказа. Условные обозначения: КК – Краснодарский край, РО – Ростовская область, РА – Республика Адыгея, Л – плато Лагонаки, КМВ – Кавказские Минеральные Воды, Ш – плато Шаджатмаз, РСС – Республика Северная Алания, ЧТ – пики Чегет и Терскол

Таблица 4.21 – Среднее арифметическое 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, ранкеры лесные. 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 Шадтжатмаз (**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**) |

На распределение МАЭД гамма-излучения в данный момент времени не влияет наличие городских и сельских поселений и развитая промышленность на территории исследования. Автомобильный транспорт, промышленные предприятия не оказывают значимого влияния на МАЭД, 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 оставляет 30–40%).

Значимое влияние на распределение гамма-фона оказывает высота над уровнем моря, что подтверждает литературные данные, 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).

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 радиоцезием 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*

В данном разделе оценена удельная активность естественных дозообразующих радионуклидов ($^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K) и искусственного $^{137}$Cs в зональных и интразональных почвах Ростовской области (в слое 0-10 см). Этот слой почвы представляет собой преимущественно дерновый горизонт и является наиболее подверженным антропогенному влиянию. Территории исследования разделены на три группы: **ООПТ** – контрольные участки (мониторинговые площадки) расположены на особо охраняемых природных территориях; природно-техногенные территории (**ПТТ**) – исследования в пределах зон наблюдения Ростовской АЭС и Новочеркасской ГРЭС и урбанизированные территории (**УТ**) – почвы на территории городских и сельских населенных пунктов, в том числе вокруг различных промышленных предприятий в городской (сельской) черте. Также проведен сравнительный анализ удельной активности радионуклидов в почвах каштановой и черноземной зон.

К каштановой почвенной зоне отнесены: ООПТ – Заповедник Ростовской, ПТТ – зона наблюдения Ростовской АЭС и УТ – г. Волгодонск, г. Цимлянск и территории сельских населенных пунктов Волгодонского, Дубовского и Цимлянского районов Ростовской области.

В черноземной почвенной зоне расположены: ООПТ – Персиановская и Приазовская заповедные степи, урочища Черная и Каменная балки. К природно-техногенными территориям отнесены зона расположения Новочеркасской ГРЭС и Ботанический сад Южного федерального университета, который находится в городской черте г. Ростова-на-Дону и относить его к природным территориям без влияния урбанизации было бы некорректно. УТ черноземной зоны – территории городов и сельских поселений в пределах Азовского, Аксайского, Мясниковского районов и городов: Ростов-на-Дону и Новочеркасск.

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

В данном разделе представлены результаты определения удельной активности радионуклидов в верхнем 0–10 см слое почвы на территории ООПТ Ростовской области. Верхний слой почвы наиболее подвержен влиянию как различных климатических (природных) факторов, так и антропогенному влиянию. Также, в этом почвенном слое максимально сосредоточена корневая масса растений (высота дернового горизонта в степях Ростовской области чаще всего составляет 8–12 см).

Знания об активности радионуклидов в верхнем слое почвы (в том числе о плотности выпадений радионуклидов после аварий (что особо актуально для искусственного радиоцезия), о запасах радионуклидов в дерновом горизонте, о поверхностном распределении радионуклидов в рамках как объекта в целом, так и в рамках конкретной мониторинговой площадки в частности), особенно с учетом многолетних наблюдений, позволяют не только оценивать фоновые концентрации радионуклидов в почве, но и изучать влияние человеческой деятельности на наземные экосистемы.

Также сведения о радионуклидном составе различных типов почвы особо охраняемых природных территорий региона исследования позволят определить характерные фоновые концентрации радионуклидов в таком сложном многофазном объекте как почва.

Результаты исследования распределения радионуклидов в почвах ООПТ Ростовской области представлены в коллективных работах автора (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др.,

2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

Ниже на рис. 5.1 и в таблице 5.1 представлены результаты статистической обработки удельной активности естественных радионуклидов ($^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K) а также искусственного $^{137}$Cs в верхнем слое почв ООПТ Ростовской области. Результаты по удельной активности в почвах ООПТ Ростовской области оформлены в виде баз данных[26] и представлены в Приложении 1, П1.2.

[26] **Удельная активность $^{137}$Cs в почвах на территории Ростовской области в 2012-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621437 РФ /Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621137; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 07.12.2017 г.

**Удельная активность естественных радионуклидов в почвах на территории Ростовской области в 2012-2013 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621438 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621136; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 07.12.2017 г.

**Удельная активность естественных радионуклидов в почвах на территории Ростовской области в 2014-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621453 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621144; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 11.12.2017 г.

**Удельная активность радионуклидов в почвах территории Ботанического сада Южного федерального университета в 2013-2014 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621445 РФ / Барахов А.В., Бураева Е. А., Гончарова Л.Ю., Гордиенко С.Г., Дергачева Е. В., Заруднев А.А., Кубрина В.К., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621175; заявл.31.08.2016; дата гос. рег. 26.10.2016.

**Удельная активность радионуклидов в почвах особо охраняемых природных территорий Ростовской области в 2012-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021621938 РФ / Бураева Е.А., Горбунов А.С., Дергачева А.В., Джура К.О., Ляхова Н.В., Топорков Н.В., Швецова Д.А., Михайлова Т.А.; заявка № 2021621847; заявл. 08.09.2021 г.; дата гос. рег. 10.09.2021 г.

**Активность радионуклидов в естественных почвах Ростовской агломерации с 2012 по 2016 годы** / Горбов С.Н., Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Бураева Е.А Свидетельство 2018620958 Российская Федерация. База данных; заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» - №2018620594; заявл. 17.05.18; дата регистрации в Реестре баз данных 02.07.2018.

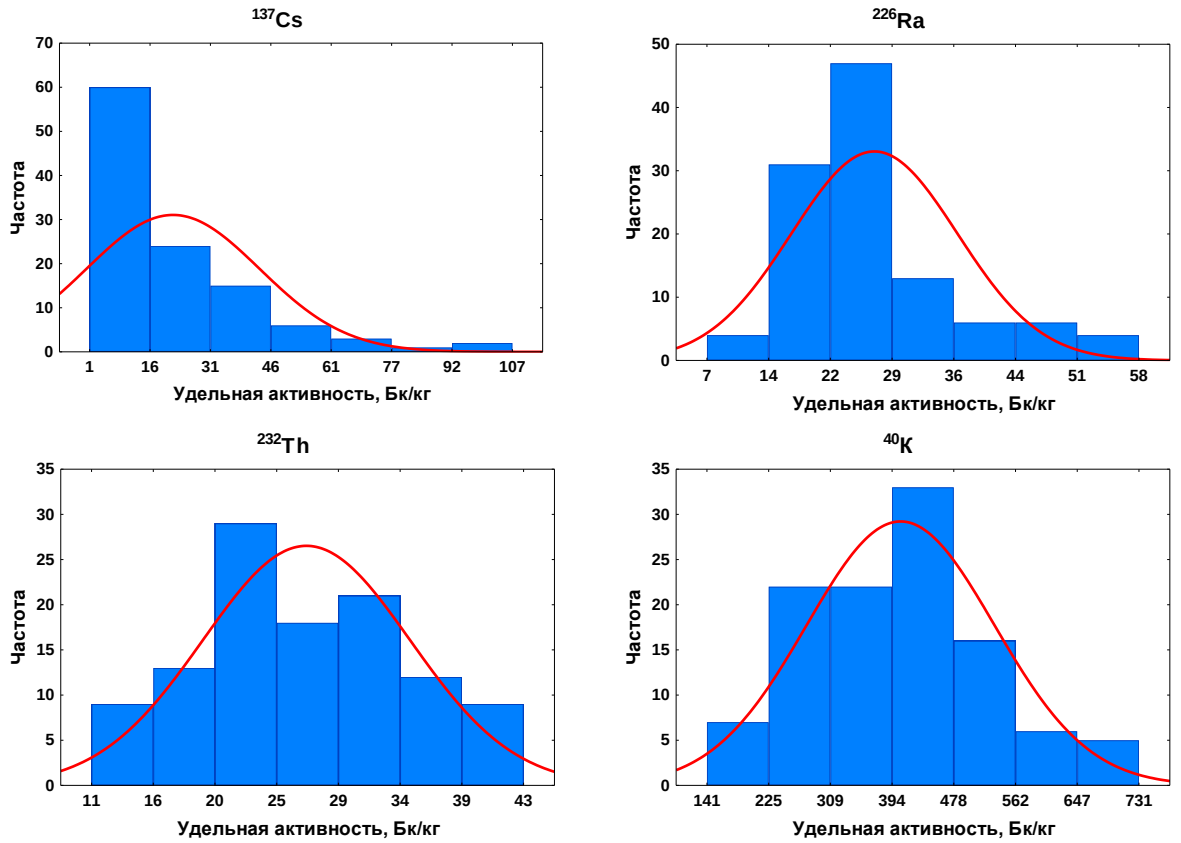



Рисунок 5.1 – Распределение удельной активности радионуклидов в почвах ООПТ Ростовской области

В целом, распределение радионуклидов в верхнем 0–10 см слое почвы ООПТ строго не подчиняется нормальному закону. При этом средние, модальные и медианные значения удельной активности естественных радионуклидов совпадают в пределах достаточно высокого стандартного отклонения (неопределенности измерений).

Для оценки распределения искусственного радиоцезия в почвах ООПТ целесообразно использовать медианное или среднее геометрическое значения. В целом данный радионуклид распределен в почвах ООПТ Ростовской области неравномерно. Это обусловлено особенностями выпадения данного радионуклида после аварии на Чернобыльской АЭС (Ежегодник, 2022). Несмотря на то, что на территории Ростовской области выпадения $^{137}$Cs, в среднем, составили 0,1–0,5 Ки/км$^2$ (1–18 кБк/м$^2$) и, в основном, не превышают 0,9 Ки/км$^2$ (менее 33 кБк/м$^2$) в шлейфах загрязнения (Атлас, 1998; Атлас, 2009), данный радионуклид выпадал пятнами и полосами.

Таблица 5.1 – Удельная активность радионуклидов в почвах ООПТ Ростовской области (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

| Параметр | Радионуклид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| Минимум, Бк/кг | 1,0 | 7,2 | 10,9 | 140,7 |
| Максимум, Бк/кг | 106,7 | 58,2 | 43,4 | 731,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 21,7 | 26,9 | 27,0 | 403,7 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 13,0 | 25,3 | 25,8 | 382,3 |
| Медиана, Бк/кг | 14,2 | 24,4 | 26,0 | 414,0 |
| Мода, Бк/кг | 7,5 | 20,9 | 33,1 | 448,0 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 2,0 | 0,9 | 0,7 | 12,1 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 21,5 | 9,8 | 7,8 | 127,8 |
| Дисперсия выборки | 463,8 | 95,3 | 60,1 | 16331,6 |
| Эксцесс | 3,47 | 2,10 | -0,74 | 0,01 |
| Асимметричность | 1,7 | 1,3 | 0,1 | 0,3 |
| Количество проб, шт | 111 | | | |

На рис. 5.2 и в таблице 5.2 приведены результаты распределения естественных радионуклидов и искусственного цезия в верхнем слое почвы исследуемых ООПТ.

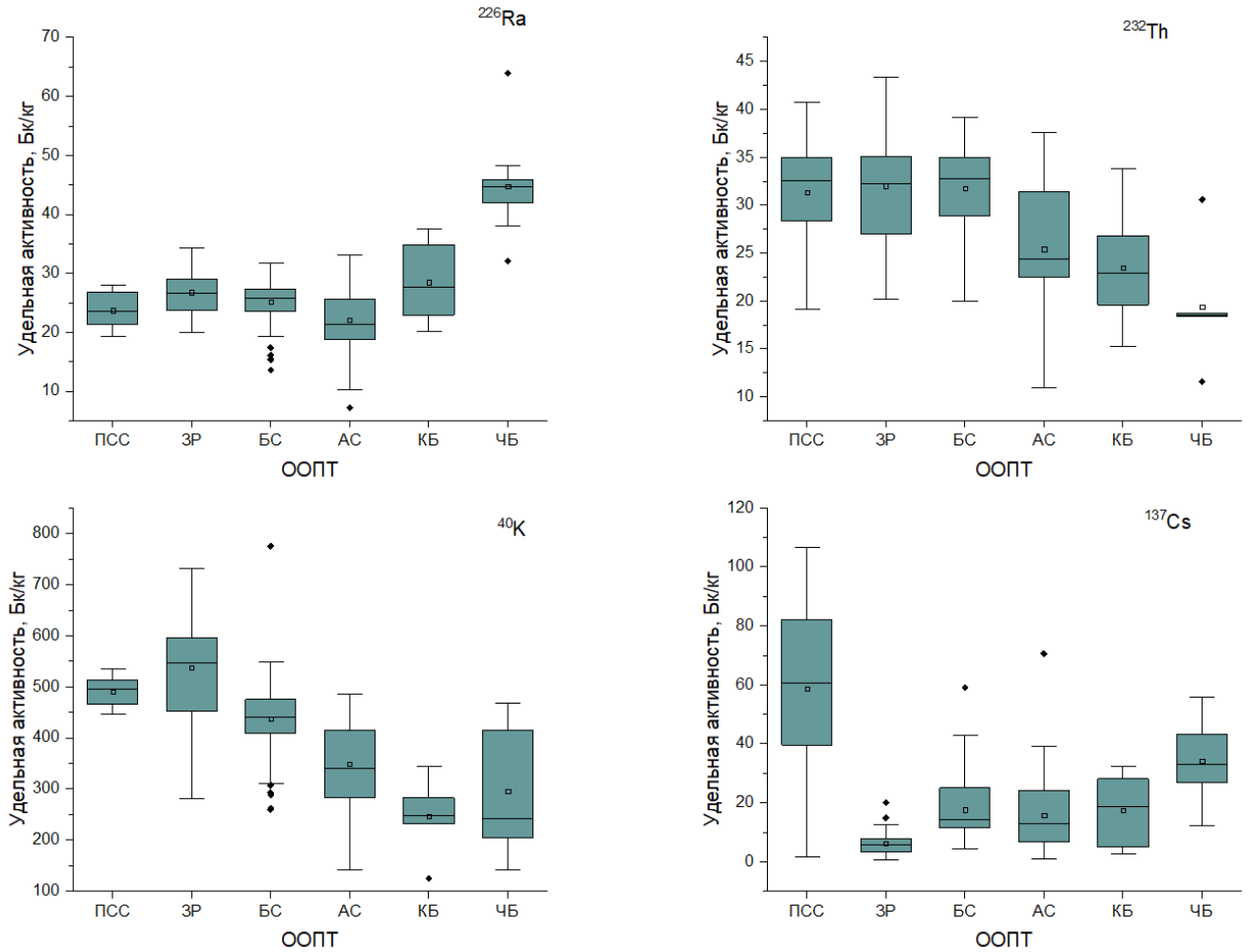



Рисунок 5.2 – Распределение концентрации радионуклидов в почвах различных ООПТ (ПСС – Персиановская степь, ЗР – Заповедник Ростовский, БС – Ботанический сад Южного федерального университета, АС – Приазовская степь, КБ – Каменная балка, ЧБ – Черная балка) (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

Таблица 5.2 – Удельная активность радионуклидов в почвах на различных ООПТ (ПСС – Персиановская степь, ЗР – Заповедник Ростовский, БС – Ботанический сад Южного федерального университета, АС – Приазовская степь, КБ – Каменная балка, ЧБ – Черная балка)

| Параметр | ПСС | ЗР | БС | АС | КБ | ЧБ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $^{137}Cs$ | | | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 1,7 | 0,5 | 4,2 | 1,1 | 2,7 | 12,2 |
| Максимум, Бк/кг | 106,7 | 20,0 | 59,1 | 70,6 | 32,3 | 56,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 58,6 | 6,3 | 17,6 | 15,9 | 17,6 | 34,2 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 43,1 | 5,0 | 15,1 | 11,3 | 12,7 | 31,7 |
| Медиана, Бк/кг | 60,7 | 5,6 | 14,2 | 13,0 | 18,7 | 33,1 |
| Мода, Бк/кг | – | 4,3 | 14,2 | 7,5 | – | 26,7 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 9,2 | 0,8 | 1,2 | 1,7 | 5,0 | 3,7 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 31,9 | 4,2 | 10,2 | 12,6 | 12,1 | 12,9 |
| Дисперсия выборки | 1015,5 | 17,8 | 104,5 | 159,0 | 147,2 | 165,7 |
| Эксцесс | -0,6 | 3,4 | 2,8 | 4,8 | -1,9 | -0,4 |
| Асимметричность | -0,1 | 1,6 | 1,4 | 1,7 | -0,1 | 0,2 |
| Количество проб, шт | 12 | 27 | 75 | 57 | 6 | 12 |
| $^{226}Ra$ | | | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 19,3 | 20,0 | 13,6 | 7,2 | 20,2 | 32,1 |
| Максимум, Бк/кг | 28,0 | 34,3 | 31,7 | 33,1 | 37,5 | 63,9 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 23,7 | 26,8 | 25,1 | 22,0 | 28,5 | 44,7 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 23,6 | 26,5 | 24,8 | 21,3 | 27,8 | 44,2 |
| Медиана, Бк/кг | 23,6 | 26,7 | 25,7 | 21,4 | 27,7 | 44,8 |
| Мода, Бк/кг | 21,3 | 28,0 | 25,2 | 21,1 | – | 45,6 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 0,9 | 0,8 | 0,4 | 0,7 | 2,8 | 2,1 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 3,1 | 3,9 | 3,7 | 5,4 | 6,9 | 7,4 |
| Дисперсия выборки | 9,4 | 15,6 | 13,3 | 29,3 | 47,8 | 55,1 |
| Эксцесс | -1,5 | -0,6 | 1,4 | 0,3 | -1,9 | 4,5 |
| Асимметричность | 0,1 | 0,2 | -1,1 | -0,4 | 0,2 | 1,3 |
| Количество проб, шт | 12 | 27 | 75 | 57 | 6 | 12 |
| $^{232}Th$ | | | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 19,1 | 20,2 | 20,0 | 10,9 | 19,2 | 11,6 |
| Максимум, Бк/кг | 40,7 | 43,4 | 39,2 | 37,6 | 27,2 | 33,8 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 31,4 | 32,0 | 31,8 | 25,4 | 22,6 | 21,8 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 30,8 | 31,5 | 31,4 | 24,5 | 22,4 | 20,9 |
| Медиана, Бк/кг | 32,5 | 32,2 | 32,8 | 24,4 | 21,5 | 19,1 |

| Параметр | ПСС | ЗР | БС | АС | КБ | ЧБ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Мода, Бк/кг | – | 33,7 | 32,8 | 33,1 | – | 18,5 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 1,6 | 1,1 | 0,5 | 0,9 | 1,4 | 1,9 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 5,7 | 5,8 | 4,7 | 6,7 | 3,4 | 6,6 |
| Дисперсия выборки | 32,3 | 33,7 | 21,7 | 44,8 | 11,6 | 43,0 |
| Эксцесс | 0,9 | -0,4 | 0,2 | -0,5 | -1,8 | -0,5 |
| Асимметричность | -0,6 | 0,1 | -0,9 | -0,1 | 0,7 | 0,4 |
| Количество проб, шт | 12 | 27 | 75 | 57 | 6 | 12 |
| $^{40}K$ | | | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 446 | 282 | 260 | 141 | 125 | 142 |
| Максимум, Бк/кг | 535 | 731 | 775 | 486 | 345 | 469 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 491 | 538 | 438 | 349 | 247 | 295 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 490 | 524 | 431 | 338 | 236 | 275 |
| Медиана, Бк/кг | 496 | 547 | 441 | 340 | 247 | 241 |
| Мода, Бк/кг | – | 582 | 489 | 447 | – | – |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 8,6 | 23,0 | 8,7 | 10,8 | 29,5 | 33,4 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 29,7 | 119,4 | 75,7 | 81,8 | 72,2 | 115,8 |
| Дисперсия выборки | 883 | 14245 | 5725 | 6684 | 5216 | 13399 |
| Эксцесс | -1,0 | -0,3 | 4,8 | -0,2 | 1,8 | -1,7 |
| Асимметричность | -0,3 | -0,2 | 0,6 | -0,4 | -0,6 | 0,4 |
| Количество проб, шт | 12 | 27 | 75 | 57 | 6 | 12 |

Значимые различия в удельной активности искусственного радионуклида $^{137}Cs$ (табл. 5.2) в почвах на территориях ООПТ, как уже говорилось выше, обусловлено его неравномерным выпадением после аварии на Чернобыльской АЭС. И минимальные концентрации данного радионуклида фиксируются в Заповеднике Ростовском. Согласно различным оценкам плотности выпадений радиоцезия на территории Европы, включая Российскую Федерацию, Белоруссию и Украину (Атлас, 2006 и др.; Ежегодник, 2022), на территории Ростовской области основные пятна загрязнений радиоцезием пришлись на северную и западную части. Юго-восток Ростовской области оказался наименее загрязненным радиоцезием (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др.,

2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

Искусственные радионуклиды, такие как $^{137}$Cs, попадают на поверхность почвы с радиоактивными выпадениями и мигрируют по почвенному профилю в виде солей, так как данный радионуклид в силу своей очень высокой реакционной способности активно реагирует со многими неметаллами и растворяется почти во всех кислотах, образуя соли. Возможно его передвижение по профилю и с тонкими илистыми частицами, так как большинство почв региона в той или иной степени солонцеваты (Безуглова и Хырхырова, 2008; Вальков и др., 2008), а, внедрение натрия в почвенно-поглощающий комплекс сопровождается пептизацией минеральных коллоидов. Существует вероятность миграции радиоцезия по профилю и в виде комплексных соединений с гуминовыми веществами (Хелаль и др., 2007; Санжарова и др., 2004; Санжарова и др., 2014; Санжарова и др., 2005; Санжарова и др., 1996). Тем не менее, особенности водного режима способствуют тому, что большая часть радиоцезия сосредотачивается в поверхностных горизонтах (Санжарова и др., 2004; Санжарова и др., 2014; Санжарова и др., 2005; Санжарова и др., 1996), как за счет необменной сорбции глинистыми минералами, так и путем образования малоподвижных комплексных соединений с гуминовыми кислотами и сорбции его гумином (Хелаль и др., 2007).

Естественные радионуклиды $^{40}$K, $^{226}$Ra и $^{232}$Th в почвах ООПТ Ростовской области сопоставимы в пределах стандартного отклонения, при этом максимальные значения $^{40}$K фиксируются в Заповеднике Ростовском, а $^{226}$Ra в Черной Балке.

Источниками $^{40}$K и $^{226}$Ra (а также и $^{232}$Th) в почвах являются почвообразующие породы, поэтому эти изотопы относительно равномерно распределены по всему почвенному профилю. (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021)

При этом, по некоторым данным (El-Arabi, 2007; Юриков, 2007), $^{40}$K, будучи биогенным элементом, накапливается в поверхностных слоях с относительно высокой биологической активностью. Также, в Заповеднике Ростовском часто встречаются солонцеватые почвы и солонцы (Безуглова и Хырхырова, 2008; Вальков и др., 2008). И, несмотря на то, что составе солей, в основном, соли натрия, кальция и магния, не стоит исключать, в условиях полусухих и сухих степей при чередовании обильных осадков и длительных засух, поднятие по почвенным капиллярам и солей калия, в том числе и $^{40}$K (El-Arabi, 2007; Юриков и др., 2007).

Стоит отметить, что почвы в Черной Балке сильно каменистые (Черная Балка расположена в районе Восточного Донбасса (Донецкого каменноугольного бассейна)) и $^{226}$Ra может быть привнесен в почву также и с обломками различных пород. В окрестностях данной ООПТ находятся угольные шахты и терриконы. Угли обладают различной радиоактивностью (Давыдов и др. 2013), а в углеотвалах (терриконах) могут содержаться породы и с повышенной активностью естественных радионуклидов. При выветривании пород радионуклиды с пылью могут

распространяться на значительные расстояния и оседать в виде сухих и мокрых выпадений на почвы (Гаргер и Гаврилов, 1992; Иванов и др., 2015а; Иванов и др., 2015б; Иванов и др., 2016).

Необходимо отметить, что данные, полученные по удельным активностям ЕРН в почвах ООПТ Ростовской области, соответствуют среднемировым концентрациям данных элементов в почвах. Загрязненность некоторых территорий Ростовской области радиоцезием отражена в Отчетах соответствующих служб (Роспотребнадзор по РО, 2022; НПО «Тайфун», 2022). Наши данные существенно расширяют, дополняют и не противоречат официальным результатам мониторинговых исследований по загрязнению Ростовской области радиоцезием.

Ниже, на рис. 5.3 приведен анализ удельной активности радионуклидов в разных типах почвы ООПТ Ростовской области (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

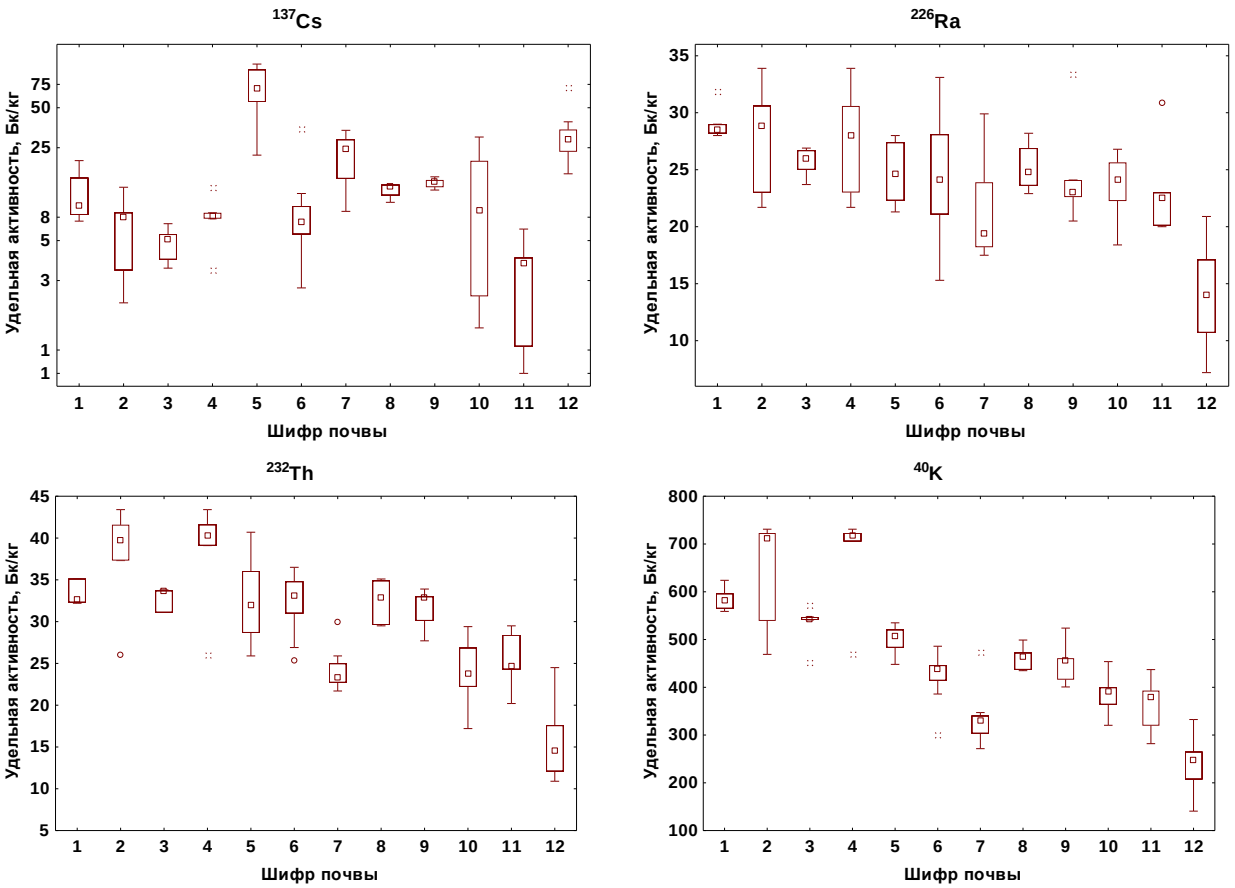



Рисунок 5.3 – Радионуклиды в различных почвах ООПТ Ростовской области: 1 – Темно-каштановая мощная карбонатная, 2 – Солонец каштановый корковый, 3 – Каштановая среднемощная карбонатная, 4 – Чернозем южный карбонатный среднемощный, 5 – Чернозем обыкновенный карбонатный мощный, 6 – Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный, 7 – Чернозем обыкновенный карбонатный неполноразвитый, 8 – Лугово-болотная почва, 9 – Лугово-черноземная почва, 10 – Корковый солончак гидроморфный (луговой) типичный, 11 – Солончак корковый тяжелосуглинистый, 12 – Аллювиально-луговая

Таблица 5.3 – Средние арифметические удельные активности естественных радионуклидов в почвах ООПТ Ростовской области (слой 0-10 см)

| Тип почвы | Контрольный участок | Средняя арифметическая удельная активность, Бк/кг | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $^{226}$Ra | $^{232}$Th | $^{40}$K |
| Темно-каштановая карбонатная мощная среднесуглинистая на лессовидных глинах и суглинках | *** | 29,1 | 33,5 | 585,2 |
| Солонец каштановый корковый тяжелосуглинистый на желто-бурых лессовидных суглинках и глинах | КУП 5 | 27,8 | 38,0 | 647,5 |
| Каштановая среднемощная карбонатная тяжелосуглинистая | КУП 3 | 25,7 | 32,7 | 531,0 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| солонцеватая почва на желто-бурых суглинках | | | | |
| Чернозем южный карбонатный среднемощный среднесуглинистый каменистый на элювии плотных пород | КУП 16 | 27,4 | 38,1 | 669,2 |
| Чернозем обыкновенный карбонатный мощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | КУП 1, КУП 2 | 24,7 | 32,4 | 500,3 |
| Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках | КУП 10 | 24,6 | 32,6 | 426,9 |
| Чернозем обыкновенный карбонатный неполноразвитый на элювии известняков | КУП 14 | 21,3 | 24,2 | 333,5 |
| Лугово-болотная почва на аллювиально-делювиальных отложениях | КУП 9 | 25,2 | 32,5 | 461,9 |
| Лугово-черноземная тяжелосуглинистая на лессовидном суглинке | КУП 8 | 24,7 | 31,5 | 451,8 |
| Солончак луговой корковый, глубоко профильный карбонатный глинистый на аллювиальных отложениях | КУП 13 | 23,5 | 24,1 | 385,5 |
| Солончак корковый тяжелосуглинистый на аллювиальных отложениях | КУП 6 | 23,3 | 25,4 | 362,1 |
| Аллювиально-луговая глеевая тяжелосуглинистая на аллювиальных отложениях | КУП 12 | 14,3 | 15,2 | 240,8 |

*** Данная почва отобрана в Орловском районе и привлечена для сравнительного анализа удельной активности естественных радионуклидов в разных почвах ООПТ Ростовской области

Все исследуемые почвы преимущественно тяжело- и среднесуглинистого гранулометрического состава и сформированы, в основном, на лессовидных суглинках (и глинах). Исключение составляют почвы пойменных участков (на различных аллювиальных отложениях) и почвы на плотных породах (известняках и песчаниках).

Минимальные удельные активности естественных радионуклидов (табл. 5.3) фиксируются в аллювиально-луговых почвах (с высоким содержанием песка). Песок обладает низкой сорбционной способностью и слабо удерживает радионуклиды. (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

Интразональные почвы, сформированные на аллювиальных отложениях (преимущественно песчаных), в том числе и солончаки корковые, а также неполноразвитые черноземы на элювии плотных осадочных пород, несмотря на глинистый и тяжелосуглинистый гранулометрический состав, также обладают пониженной удельной активностью ЕРН. Это может быть обусловлено тем, что неполлноразвитые

При этом, строго подтвердить зависимость удельной активности естественных радионуклидов от типа почвы ООПТ Ростовской области не удается вследствие как достаточно широких вариаций концентрации ЕРН в пределах одного контрольного участка (размером 10×10 м), так и одним из важных недостатков гамма-спектрометрического метода – высокой инструментальной погрешностью измерения удельной активности радионуклидов (до 20-40%). Хотя инструментальную погрешность можно уменьшать корректированием методики измерения – точнее увеличением времени набора гамма-спектра (увеличение

времени измерения одной пробы) (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б). Но при массовых измерениях большого количества проб увеличение времени набора спектра не позволяет набирать достаточное количество статистического материала.

Таблица 5.4 – Вариации радионуклидов в почвах ООПТ в пределах контрольного участка размером 10×10 м

| Удельная активность ± Относительная погрешность, Бк/кг | | | |
|---|---|---|---|
| $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| Чернозем обыкновенный карбонатный мощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках (КУП 1), 2015 год | | | |
| 72,6±10,6 | 27,5±8,8 | 35,1±7,3 | 525,0±114,0 |
| 91,5±13,9 | 24,9±5,9 | 29,0±7,1 | 496,0±109,0 |
| 66,8±11,0 | 21,3±6,1 | 25,9±7,3 | 448,0±114,0 |
| 106,7±14,3 | 28,0±6,2 | 37,0±7,2 | 535,0±107,0 |
| 101,7±15,8 | 24,4±6,1 | 28,7±6,7 | 516,0±105,0 |
| Солончак луговой корковый, глубоко профильный карбонатный глинистый на аллювиальных отложениях (КУП 13), 2015 год | | | |
| 14,4±2,3 | 25,2±5,2 | 24,6±5,3 | 379,2±90,7 |
| 24,1±4,2 | 23,7±4,3 | 25,7±5,4 | 392,6±90,5 |
| 22,9±3,1 | 22,7±3,9 | 28,0±5,6 | 392,3±93,6 |
| 17,0±2,2 | 18,7±2,5 | 21,0±5,0 | 320,5±90,2 |
| 30,1±3,5 | 18,4±2,5 | 23,2±5,3 | 322,0±102,0 |
| Каштановая среднемощная карбонатная тяжелосуглинистая солонцеватая почва на желто-бурых суглинках (КУП 3), 2015 год | | | |
| 5,6±1,7 | 26,0±5,9 | 33,7±6,8 | 542,0±116,0 |
| 6,7±2,6 | 26,7±5,8 | 33,7±6,6 | 547,0±115,0 |
| 3,6±1,2 | 23,7±5,5 | 33,8±6,6 | 541,0±114,0 |
| 3,1±1,2 | 25,0±5,6 | 31,1±6,4 | 452,1±99,8 |
| 5,1±1,6 | 26,9±5,7 | 31,1±6,4 | 573,0±119,0 |

Значимые (выше погрешности определения) вариации в пределах КУ (табл. 5.4) характерны для искусственного радионуклида $^{137}Cs$, что исследователи объясняют влиянием микрорельефа территории, даже в пределах небольшого участка (Линник и др, 2017; Линник, 2008). Кочки, ямки, бугорки могут создавать значительные градиенты температуры и влаги, что приводит к значительным перераспределениям данного активного щелочного металла (Линник и др, 2017; Линник, 2008).

Для естественных радионуклидов вариации радионуклидов в пределах КУ нивелируются достаточно высокой инструментальной погрешностью. При этом в почвах, сформированных на аллювиальных отложениях или в аллювиальных почвах (аллювиально-луговых почвах) вариации ЕРН в пределах квадрата 10×10 м могут достигать в отдельных случаях до двух и более раз. Это может объясняться неоднородностью почвенного покрова, наличием песчаных прослоек, линз в почвенных горизонтах, различием в гранулометрическом составе и содержании гумуса. Не стоит исключать и влияние биотурбации как на перераспределение искусственных радионуклидов (в особенности, радиоцезия), так и на вариации ЕРН в почвах (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

### 5.1.2. Радионуклиды в почвах природно-техногенных территорий

На территории Ростовской области особое внимание уделялось 30-ти километровой зоне наблюдения Ростовской АЭС как потенциальному источнику искусственных радионуклидов и природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС – как источнику естественных радионуклидов земного происхождения.

**Радионуклиды в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС.** Зона наблюдения Ростовской АЭС в данной работе была отнесена к природно-техногенной территории вместе с территориями, прилегающими к Новочеркасской ГРЭС. Результаты определения удельной активности радионуклидов в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС оформлены в виде баз[27] данных и представлены в Приложении 1, п. П1.2.

В 30-ти километровой зоне наблюдения Ростовской АЭС особое внимание уделялось искусственному радиоцезию, так как он может присутствовать в выбросах при эксплуатации атомных станций. И ежегодный непрерывный контроль данного радионуклида в объектах окружающей среды и продуктах питания с сопоставлением результатов с данными Предпускового мониторинга (Отчет, 2000)

---

[27] **Удельная активность $^{137}$Cs в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС на период с 2000 по 2008 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620268 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Данилова А.А., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Давыденко А.М.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621819; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 12.02.15.

**Удельная активность $^{137}$Cs в почвах Ростовской АЭС с 2010 по 2014 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 20156214720 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Малышевский В.С., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621005; заявл. 27.07.15; дата гос. рег. 24.09.15.

**Удельная активность $^{137}$Cs в почвах 30-ти километровой зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621505 РФ /Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Нефедов В.С., Кубрина В.К., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621223; заявл. 31.10.2017 г.; дата гос. рег. 19.12.2017 г.

**Удельная активность $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2000-2004 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621632 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621185; заявл. 24.09.15; дата гос. рег. 09.11.15.

**Удельная активность $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС за период с 2010 по 2014 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620267 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Данилова А.А., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Давыденко А.М.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621818; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 12.02.15.

**Удельная активность естественных радионуклидов в почвах 30-ти километровой зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621506 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Нефедов В.С., Кубрина В.К., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621224; заявл. 31.10.2017 г.; дата гос. рег. 19.12.2017 г.

**Физико-химический и элементный состав почв, прилегающих к Ростовской АЭС**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621569 РФ / Минкина Т.М., Сушкова С.Н., Бураева Е.А., Иванков Д.И., Карташев С.С., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621333; заявл. 07.08.2020 г.; дата гос. рег. 27.08.2020 г.

**Физико-химический и элементный состав почв, прилегающих к филиалу Южного территориального округа ФГУП РосРАО**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621509 РФ / Минкина Т.М., Бурачевская М.В., Бураева Е.А., Литвинов Ю.А., Иванков Д.И., Карташев С.С., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621332; заявл. 07.08.2020 г.; дата гос. рег. 21.08.2020 г.

является актуальнейшей задачей не только надзорных служб, но и независимых организаций.

Также многолетние непрерывные исследования концентрации радионуклидов на одних и тех же контрольных точках могут дать информацию о динамике радионуклидов, как в латеральном, так и радиальном направлениях.

Ниже представлено распределение удельной активность радиоцезия и естественных радионуклидов в верхнем слое почвы (0-10 см) за весь период наблюдений.

Стоит отметить, что за более чем 20 лет мониторинга зоны наблюдения РоАЭС были прекращены исследования на КУ 208 из-за распахивания участка, а КУ 3 передвинут из-за складирования на КУ бытовых отходов. Это может оказать влияние на изменение запасов радиоцезия в почвах. Результаты многолетних (более 20 лет) радиоэкологических исследований наземных и водных экосистем зоны наблюдения Ростовской АЭС представлены в цикле коллективных публикаций автора (Аветисян и др., 2015; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Бакаева и др., 2011; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и Бураева, 2021а; Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Болдарев и др., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2006а; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010а; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

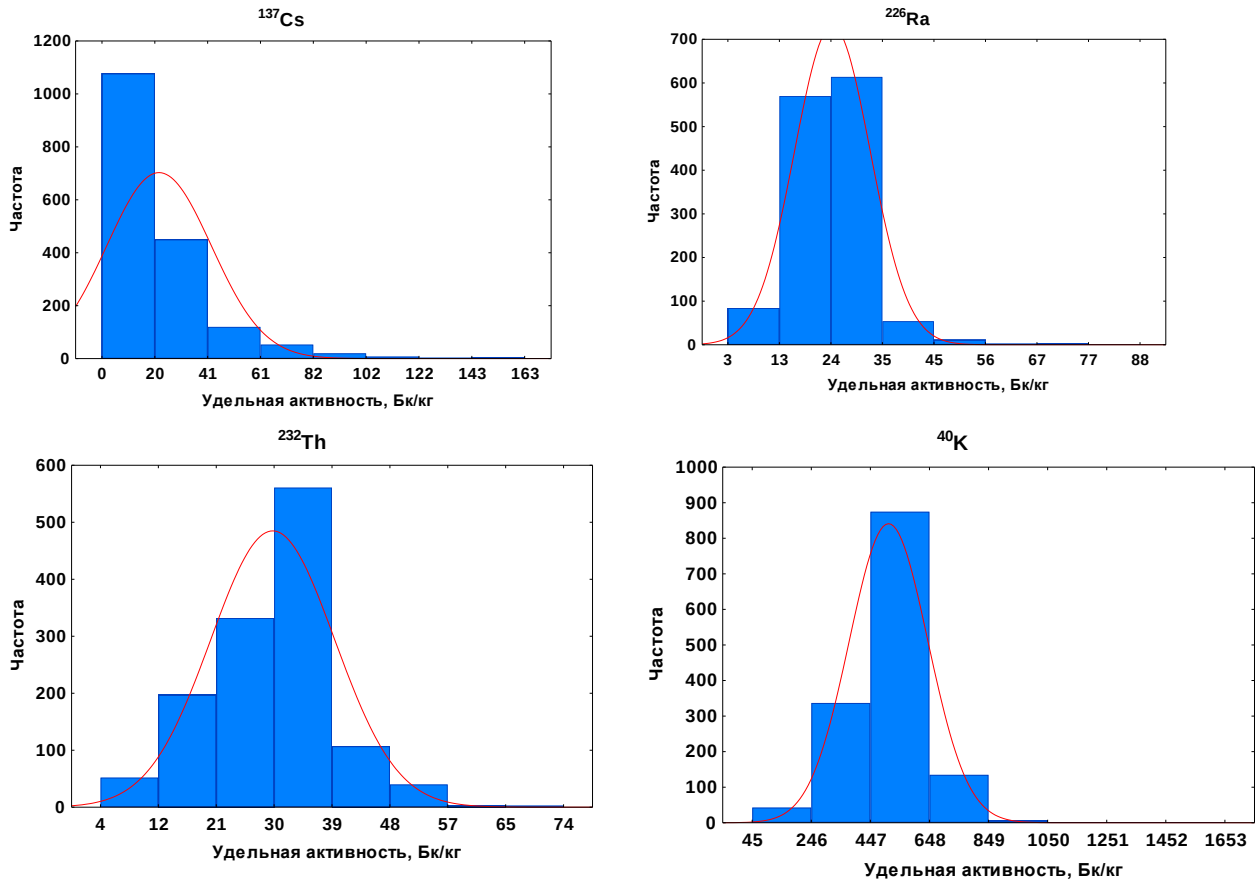



Рисунок 5.4 – Распределение радионуклидов в 0–10 см слое почвы на контрольных участках зоны наблюдения Ростовской АЭС за весь период наблюдений

Таблица 5.5 – Результаты статистического анализа данных по удельной активности радионуклидов в 0-10 см слое почвы зоны наблюдения Ростовской АЭС за весь период наблюдений

| Параметр | Радионуклид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| Минимум, Бк/кг | 0,1 | 2,5 | 3,6 | 45 |
| Максимум, Бк/кг | 162,9 | 88,1 | 74,2 | 1653 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 21,9 | 24,1 | 29,7 | 506 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 15,2 | 22,8 | 28,0 | 487 |
| Медиана, Бк/кг | 16,0 | 24,2 | 30,9 | 518 |
| Мода, Бк/кг | 19,2 | 25,8 | 33,1 | 565 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 3,6 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 20,1 | 7,8 | 9,4 | 133 |
| Дисперсия выборки | 402,2 | 61,3 | 88,4 | 17811 |
| Эксцесс | 8,5 | 8,3 | 0,9 | 5,0 |
| Асимметричность | 2,4 | 1,5 | 0,1 | 0,5 |
| Количество проб, шт | 1736 | 1341 | 1295 | 1400 |

Удельная активность ЕРН в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС варьирует в пределах концентраций, характерных для данного региона и каштановых и темно-каштановых почв (Аветисян и др., 2015; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Бакаева и др., 2011; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и Бураева, 2021а; Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Болдарев и др., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2006а; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010а; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023). Стоит отметить, что все почвы, кроме аллювиально-луговой (КУ–201) сформированы в результате непромывного водного режима и обладают тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, что способствует закреплению (сорбции) радионуклидов в почвенных горизонтах. Минимальные значения концентрации ЕРН характерны для аллювиально-луговой легкосуглинистой почвы (КУ–201), что можно объяснить более легким гранулометрическим составом и полугидроморфным типом почвообразования (создаются условия для водной миграции ЕРН) (Аветисян и др., 2015; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Бакаева и др., 2011; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и Бураева, 2021а; Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Болдарев и др., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2006а; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2014; Долгополова и др.,

2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010а; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

В целом, средние удельные активности $^{137}$Cs, $^{232}$Th, $^{226}$Ra, полученные в данной работе несколько ниже, чем в ряде предыдущих исследований (Бакаева Е. и др. 2011), так как в работах рассматриваются контрольные участки с каштановыми и темно-каштановыми почвами, с более высоким содержанием гумуса и глинистых фракций. В данной работе статистический анализ и обработка данных охватывает все контрольные участки зоны наблюдения Ростовской АЭС за период с 2020 по 2021 годы (Аветисян и др., 2015; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Бакаева и др., 2011; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и Бураева, 2021а; Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Болдарев и др., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2006а; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010а; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

Также, ряд КУ (например КУ 12) расположена рядом с пахотным полем, на котором в отдельные годы производится распашка и внесение минеральных удобрений, что в свою очередь может оказывать влияние на повышение удельной активности ЕРН (Давыдов и др, 2013).

Ниже представлены особенности распределения удельной активности радионуклидов на разных КУ зоны наблюдения Ростовской АЭС (Аветисян и др., 2015; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Бакаева и др., 2011; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и Бураева, 2021а; Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Болдарев и др., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2006а; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010а; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

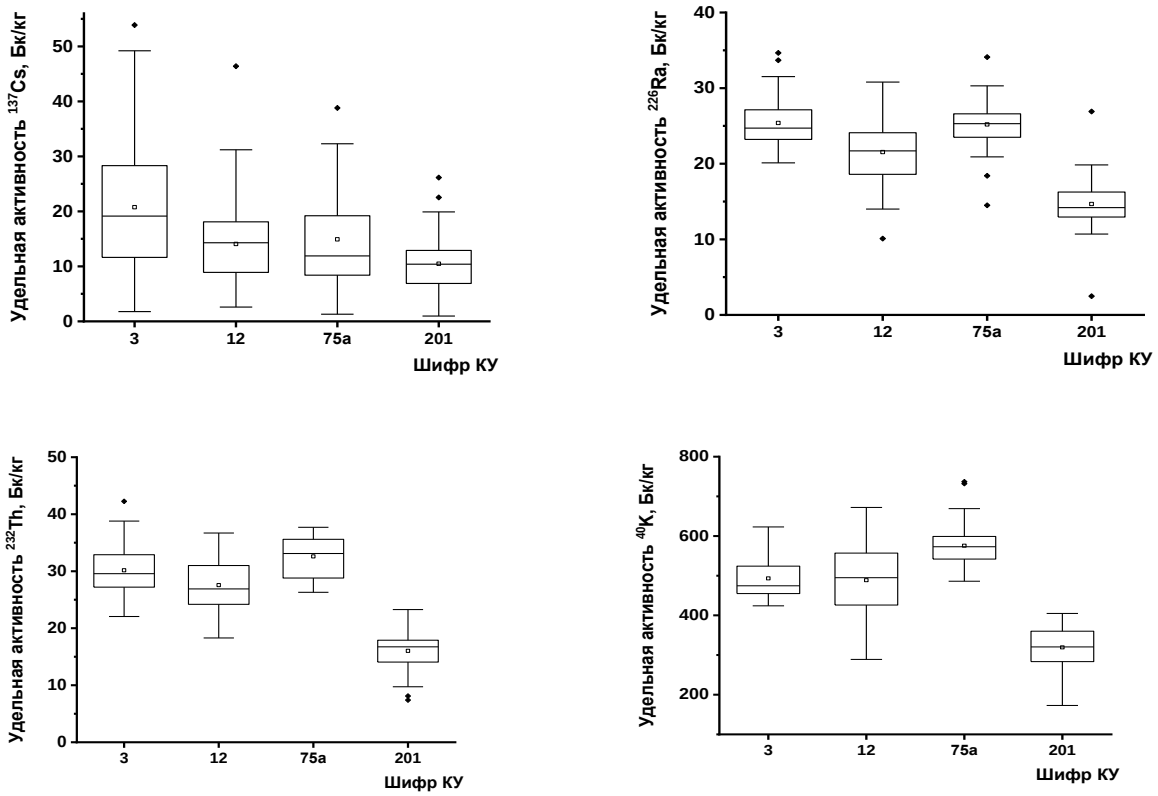



Рисунок 5.5 – Распределение удельной активности радионуклидов на контрольных участках

Таблица 5.6 – Результаты статистической обработки данных по концентрации радионуклидов в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС на различных контрольных участках (количество проб на участке n=45)

| Параметр | Шифр контрольного участка | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 3 | 12 | 75а | 201 |
| $^{137}Cs$ | | | | |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 23,3 | 13,8 | 14,6 | 10,4 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 19,1 | 11,9 | 11,8 | 8,6 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 13,4 | 7,9 | 9,11 | 5,6 |
| Коэффициент вариации, % | 74 | 33 | 43 | 59 |
| $^{226}Ra$ | | | | |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 25,5 | 21,6 | 25,2 | 14,7 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 25,3 | 21,1 | 24,9 | 14,2 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 3,6 | 4,6 | 3,4 | 3,5 |
| Коэффициент вариации, % | 26 | 24 | 18 | 18 |
| $^{232}Th$ | | | | |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 30,3 | 27,6 | 32,6 | 16,0 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 30,0 | 27,1 | 32,4 | 15,6 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 4,3 | 4,7 | 3,5 | 3,5 |
| Коэффициент вариации, % | 13 | 13 | 15 | 22 |
| $^{40}K$ | | | | |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 493,3 | 488,6 | 575,5 | 319,4 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 490,8 | 479,4 | 573,3 | 315,1 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 51,8 | 91,5 | 52,1 | 50,9 |
| Коэффициент вариации, % | 20 | 10 | 12 | 16 |

Как видно из рис. 5.5 и таблицы 5.6 минимальное содержание естественных радионуклидов фиксируется на КУ 201 с развитыми аллювиально-луговыми почвами. Такие почвы с высоким содержанием песка обладают высокой промывной способностью и низкой сорбцией радионуклидов. Вариации радиоцезия на разных КУ связаны с неравномерным выпадением данного радионуклида после аварии на Чернобыльской АЭС (1986 год) и последующей его латеральной и радиальной миграцией. Стоит также учитывать то, что мониторинговые исследования в зоне наблюдения РоАЭС проводятся в летний период (с июня по сентябрь), но, при этом, в отдельные годы в данном регионе наблюдаются различные погодные условия. Для

семиаридных степей Ростовской области в летний период характерно чередование длительных засушливых периодов с обильными осадками (ливнями) (Аветисян и др., 2015; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Бакаева и др., 2011; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и Бураева, 2021а; Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Болдарев и др., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2006а; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010а; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

Для зон наблюдения предприятий ядерной топливной энергетики наиболее актуальным является оценка изменения во времени удельной активности искусственного радиоцезия в различных компонентах экосистем. Поэтому в данной работе особое внимание уделялось особенностям изменения $^{137}Cs$ в почвах на контрольных участках зоны наблюдения Ростовской АЭС. Ниже представлены результаты статистической обработки данных по концентрации радиоцезия в верхнем (0–10 см) слое почвы (Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

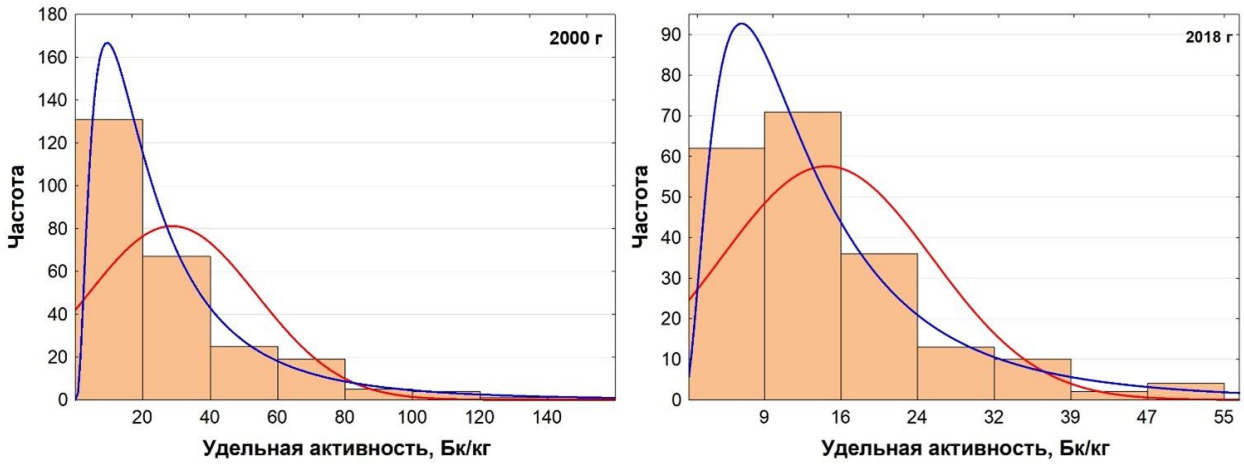



Рисунок 5.6 – Диаграммы распределения $^{137}Cs$ в 0–10 см слое почвы Ростовская АЭС

Таблица 5.7 – Удельная активность $^{137}Cs$ в 0–10 см слое почвы Ростовской АЭС

| Параметр | Год | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2000 | 2016 | 2018 | 2019 |
| Минимум, Бк/кг | 1,0 | 0,1 | 0,9 | 0,7 |
| 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 |
| Медиана, Бк/кг | 19,0 | 14,7 | 11,9 | 17,6 |
| Мода, Бк/кг | 12,3 | 21,0 | 5,9 | 13,4 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 1,6 | 0,6 | 0,7 | 0,6 |
| Стандартное отклонение | 24,9 | 10,9 | 10,5 | 8,3 |
| Дисперсия выборки | 618,4 | 118,6 | 110,3 | 111,2 |
| Эксцесс | 4,3 | 1,5 | 2,5 | 2,6 |
| Асимметричность | 1,9 | 1,0 | 1,5 | 1,2 |
| Количество измерений, шт | 253 | 331 | 198 | 193 |

Вариации радиоцезия (рис. 5.6, табл. 5.7) верхнем слое почвы достаточно значительные (Отчет, 2000; Аветисян и др., 2015; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Бакаева и др., 2011; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и Бураева, 2021а; Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Болдарев и др., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2006а; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010а; Иванков и др., 2017; Иванков и др.,

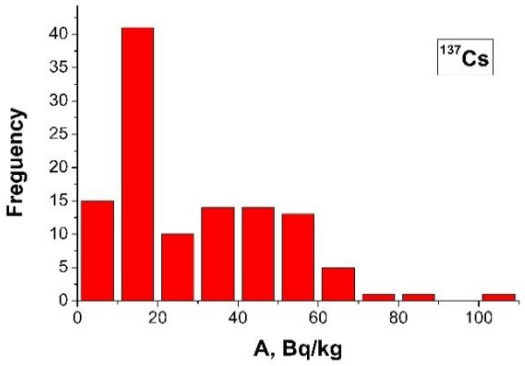
2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023). При этом имеет место снижение удельной активности данного радионуклида со временем, обусловленная как его естественным распадом ($T_{1/2}$=30 лет), так и миграцией по почвенному профилю в связи с чередованием засушливых и дождливых периодов накануне отбора проб почвы (Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023). При этом, полученные результаты радиоцезия в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС соответствует среднемировым значения удельной активности и характерны для Ростовской области.

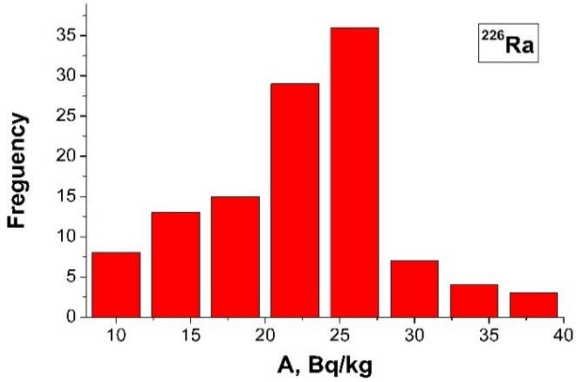
Основным результатом мониторинговых исследований зоны наблюдения Ростовской АЭС является установление того, что удельная активность радиоцезия, полученная в период с 2001 по 2021 года не превышает значения предпускового мониторинга Зоны наблюдения Ростовской АЭС и согласуется с данными надзорных служб (Отчет, 2000; Ежегодник, 2022; Аветисян и др., 2015; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Бакаева и др., 2011; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и Бураева, 2021а; Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Болдарев и др., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2006а; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010а; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

**Радионуклиды в почвах природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС.** Результаты оценки радиоэкологического состояния природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС представлены в коллективных работах автора (Данилова и др., 2014; Данилова и др., 2015; Федченко др., 2013а; Федченко и др., 2013б, Федченко и др., 2013в, Федченко и др., 2013г; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Бураева и др., 2020; Buraeva et al., 2022; Buraeva, Bezuglova, 2023).

Фактический материал по удельной активности радионуклидов в почвах природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС оформлен в виде баз[28] данных и представлен в Приложении 1, П1.2.

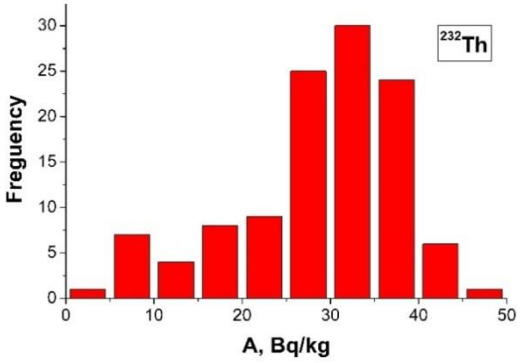
На рис. 5.7 и в таблице 5.8 представлены статистические данные по содержанию радионуклидов (А, Бк/кг) на всех мониторинговых площадках территорий, прилегающих к Новочеркасской ГРЭС в почвенном слое 0-10 см, отобранных в экспедициях 2012-2017 годов автора (Данилова и др., 2014; Данилова и др., 2015; Федченко др., 2013а; Федченко и др., 2013б, Федченко и др., 2013в, Федченко и др., 2013г; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Бураева и др., 2020; Buraeva et al., 2022; Buraeva, Bezuglova, 2023).




[28] **Удельная активность радионуклидов в почвах природно-техногенной зоны Новочеркасской ГРЭС**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620307 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Данилова А.А., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Давыденко А.М.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621812; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 17.02.15.

**Удельная активность радионуклидов в почвах природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621454 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Савин И.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621148; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 11.12.2017 г.



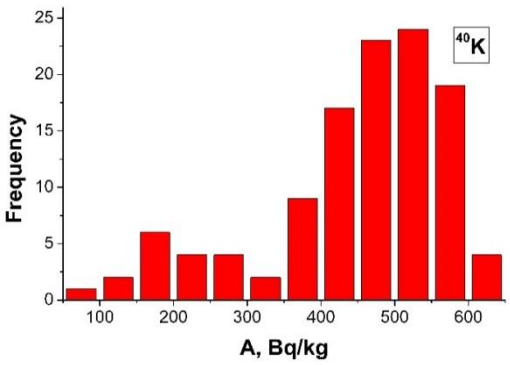




Рисунок 5.7 – Распределение радионуклидов в почвах территории Новочеркасской ГРЭС (n=115)

Таблица 5.8 – Радионуклидный состав почв территории Новочеркасской ГРЭС (п = 115) (Данилова и др., 2014; Данилова и др., 2015; Федченко др., 2013а; Федченко и др., 2013б, Федченко и др., 2013в, Федченко и др., 2013г; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Бураева и др., 2020; Buraeva et al., 2022; Buraeva, Bezuglova, 2023)

| 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 |

Удельная активность естественных радионуклидов и искусственного $^{137}$Cs в почвах природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС в целом, сопоставима с активностью данных радионуклидов в других регионах Ростовской области (Данилова и др., 2014; Данилова и др., 2015; Федченко др., 2013а; Федченко и др., 2013б, Федченко и др., 2013в, Федченко и др., 2013г; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Бураева и др., 2020; Buraeva et al., 2022; Buraeva, Bezuglova, 2023) и обусловлена испытаниями ядерного оружия и аварией на Чернобыльской АЭС.

Содержание естественных радионуклидов $^{226}Ra$ и $^{232}Th$ в почвах региона исследования может быть также связана с деятельностью Новочеркасской ГРЭС, работающей на угле и газе. Уголь как наиболее распространенный в природе материал, содержит основные естественные радионуклиды, такие как $^{40}K$, $^{238}U$, $^{232}Th$ и их продукты распада (Давыдов и др., 2013). По этой причине сжигание угля влияет на сброс в окружающую среду некоторых естественных радионуклидов, основная часть которых выбрасываются как тонко дисперсные включения, вместе с остатками летучей золы (Papastefanou, 2010).

При сжигании угля минералы, содержащие большинство радионуклидов и их продукты распада, которые при уменьшении температуры смешиваются и конденсируются на золе и аэрозолях, или остаются в газовой фазе, выбрасываются в атмосферу в виде газообразных продуктов горения или в виде летучей золы (Vaasma et al, 2014). Летучая и осадочная зола – основные продукты сжигания угля, они различны по физическим и химическим свойствам (Давыдов и др., 2013). Небольшая часть летучей золы выбрасывается в атмосферу, что приводит к рассеянию радиоактивного материала в воздухе и в воде, также оседает на почве (Huseyin and Ridvan, 2008).

Средние удельные активности естественных радионуклидов в почвах природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС сопоставимы с данными, полученными для почв ООПТ Ростовской области. В разделе 5.1.4 будут представлены результаты сравнительного анализа удельной активности радионуклидов в почвах ООПТ, природно-антропоненных и урбанизированных территорий.

На рис. 5.8 и рис. 5.9 представлены усредненные данные измеренной удельной активности радионуклидов (Ауд, Бк/кг) в почвах (слой 0-10 см) всех контрольных участков за 5-ти летний период исследований (Данилова и др., 2014; Данилова и др., 2015; Федченко др., 2013а; Федченко и др., 2013б, Федченко и др., 2013в, Федченко и др., 2013г; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Бураева и др., 2020; Buraeva et al., 2022; Buraeva, Bezuglova, 2023).

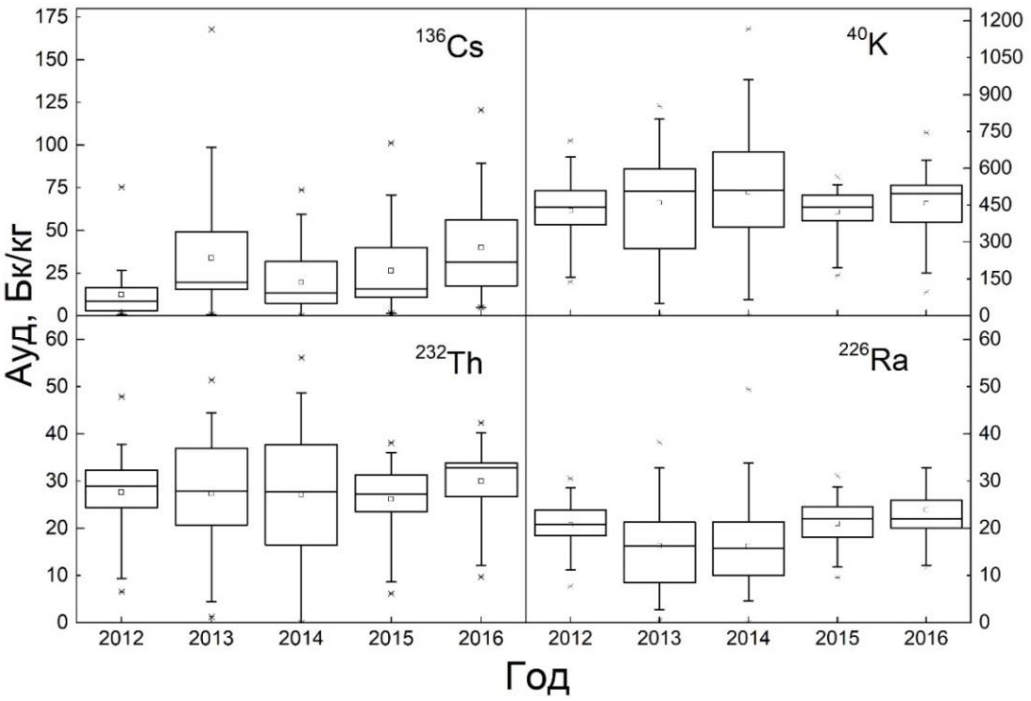



Рисунок 5.8 – Удельная активность радионуклидов во всех почвах территории Новочеркасской ГРЭС (усредненные данные по всем площадкам мониторинга) (Данилова и др., 2014; Данилова и др., 2015; Федченко др., 2013а; Федченко и др., 2013б, Федченко и др., 2013в, Федченко и др., 2013г; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Бураева и др., 2020; Buraeva et al., 2022; Buraeva, Bezuglova, 2023)

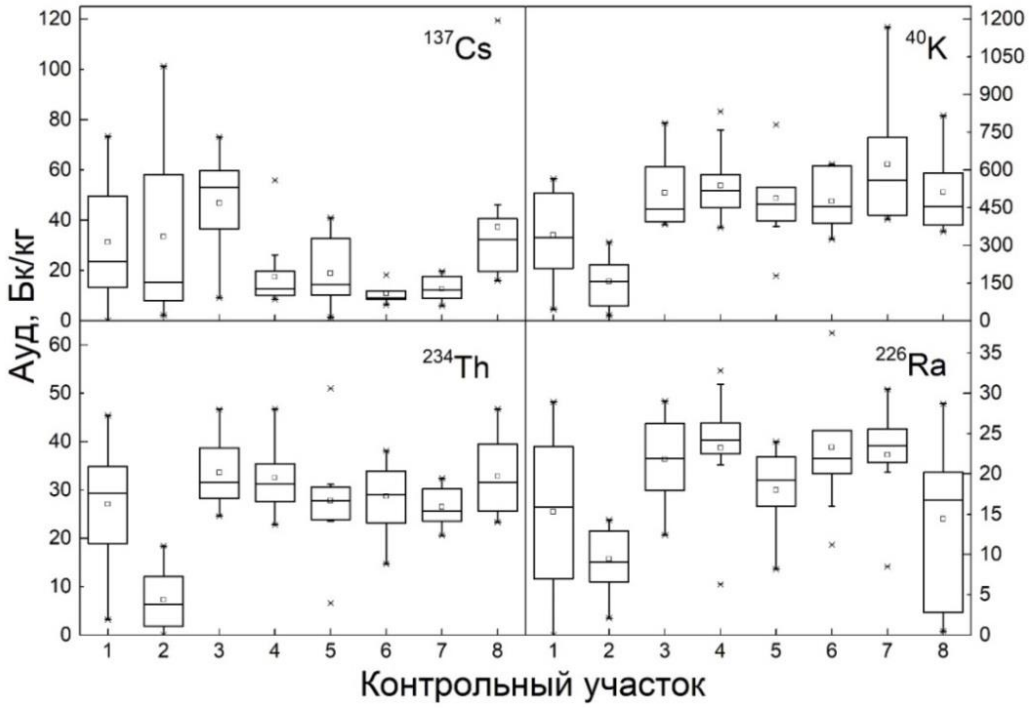



Рисунок 5.9 – Варьирование удельной активности радионуклидов в пределах одного контрольного участка (на примере КУ 1-8)

Средняя удельная активность искусственного $^{137}Cs$ в почвах природно-техногенной территории НчГРЭС составляет 20 Бк/кг и и варьирует в достаточно широких пределах в рамках контрольного участка (Данилова и др., 2014; Данилова и др., 2015; Федченко др., 2013а; Федченко и др., 2013б, Федченко и др., 2013в, Федченко и др., 2013г; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Бураева и др., 2020; Buraeva et al., 2022; Buraeva, Bezuglova, 2023). Различия удельной активности искусственного $^{137}Cs$ в почвах в разные годы (Рис. 5.8) и на разных КУ (Рис. 5.9) обусловлены неравномерным выпадением данного радионуклида после аварии на Чернобыльской АЭС, свойствами почв, уклоном местности и выносом растительностью.

Значительные вариации содержания радиоцезия в пределах одного КУ объясняются химическими свойствами данного элемента, а также, возможно, влиянием микрорельефа местности (Линник, 2008). Наличие развитого микрорельефа может способствовать значительному перераспределению тепла и влаги и как следствие может привести к значительному перераспределению радионуклидов в почвах даже в пределах одной небольшой территории. Так же микрорельеф создает особый микроклимат и различную степень увлажнения почв при одинаковом количестве атмосферных осадков (Линник, 2008). Это усложняет решение различных задач в области оценки радиоактивности почв при мониторинговых исследованиях последствий деятельности предприятий топливной энергетики (Данилова и др., 2014; Данилова и др., 2015; Федченко др., 2013а; Федченко и др., 2013б, Федченко и др., 2013в, Федченко и др., 2013г; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Бураева и др., 2020; Buraeva et al., 2022; Buraeva, Bezuglova, 2023).

В целом, полученные данные в зоне влияния Новочеркасской ГРЭС характерны для почв Ростовской области. Поступление и распределение данных радионуклидов в наземных экосистемах может быть связано с деятельностью Новочеркасской ГРЭС. Содержание естественных дозообразующих радионуклидов в пределах одного контрольного участка, в основном, варьируется в пределах 20-50%, а на ряде контрольных участков вариации данных радионуклидов находятся в пределах

погрешности определения удельной активности (10-15%) (Рис. 5.9). При этом средняя удельная активность $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K не изменяется со временем (Рис. 5.8) (Данилова и др., 2014; Данилова и др., 2015; Федченко др., 2013а; Федченко и др., 2013б, Федченко и др., 2013в, Федченко и др., 2013г; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Бураева и др., 2020; Buraeva et al., 2022; Buraeva, Bezuglova, 2023).

### 5.1.3. Радионуклиды в почвах населенных пунктов Ростовской области

Почвы на территории городских и сельских населенных пунктов подвержены максимальной антропогенной нагрузке, обусловленной как деятельностью промышленных предприятий, так и вкладом от выбросов автотранспорта.

Также, вклад в загрязненность почв (и наземных экосистем) может быть обусловлен особенностями отопления (преимущественно, сжиганием угля), разработкой месторождений полезных ископаемых, использованием минеральных удобрений в сельском хозяйстве и строительных материалов с различным содержанием естественных радионуклидов.

Поэтому оценка (и последующий контроль) удельной активности радионуклидов (как естественных дозообразующих, так и искусственного радиоцезия) на территориях городов и сельских поселений является достаточно актуальной, так как это определяет радиационную безопасность населения и окружающей среды.

На территории Ростовской области исследования удельной активности почв урбанизированных территорий проводились в городах Новочеркасск, Цимлянск и Волгодонск, а также в ряде сельских поселений Азовского, Мясниковского, Неклиновского, Волгодонского, Дубовского, Цимлянского и Октябрьского районов.

Ростов-на-Дону, крупный промышленный центр и требует отдельного детального исследования особенностей концентрации и распределения естественных и искусственных радионуклидов в нативных и антропогенно-преобразованных почвах, что в задачи данной диссертационной работы не входит. Особенности распределения радионуклидов, тяжелых металлов, в том числе и в зависимости от свойств почвы на территории Ростовской агломерации

представлены в цикле работ сотрудников Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского (Горбов и Безуглова, 2020; Горбов и др., 2016; Безуглова и др., 2018; Горбов, 2018; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2020; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016а; Козырев и др., 2016б).

Результаты исследований удельной активности радионуклидов в почвах городских и сельских поселений Ростовской области детально представлены в коллективных работах автора (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019; Деревяга и др., 2021; Дубров и др., 2021; Антонова Ек. и др., 2021а; Антонова Ек. и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Огиенко и др., 2021; Шаповалов и Бураева, 2021; Антонова Ек. и др., 2020; Слита и др., 2020; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Ревнивцев и Бураева, 2021в).

Часть данных по удельной активности радионуклидов в антропогенно-преобразованных почвах оформлены в виде баз[29] данных и отражены в Приложении 1, П1.2.

---

[29] **Удельная активность радионуклидов в почвах и растениях г. Новочеркасска Ростовской области в 2019-2020 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021621891 РФ / Бураева Е.А., Горбунов А.С., Дергачева А.В., Джура К.О., Ляхова Н.В., Топорков Н.В., Швецова Д.А., Михайлова Т.А.; заявка № 2021621820; заявл. 03.09.2021 г.; дата гос. рег. 06.09.2021 г.

**Удельная активность $^{137}$Cs в почвах на территории Ростовской области в 2012-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621437 РФ /Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621137; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 07.12.2017 г.

**Удельная активность естественных радионуклидов в почвах на территории Ростовской области в 2012-2013 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621438 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621136; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 07.12.2017 г.

**Удельная активность естественных радионуклидов в почвах на территории Ростовской области в 2014-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621453 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621144; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 11.12.2017 г.

Ниже представлены результаты статистической обработки и анализа данных по распределению удельной активности естественных радионуклидов в верхнем слое почвы урбанизированных территорий Ростовской области.

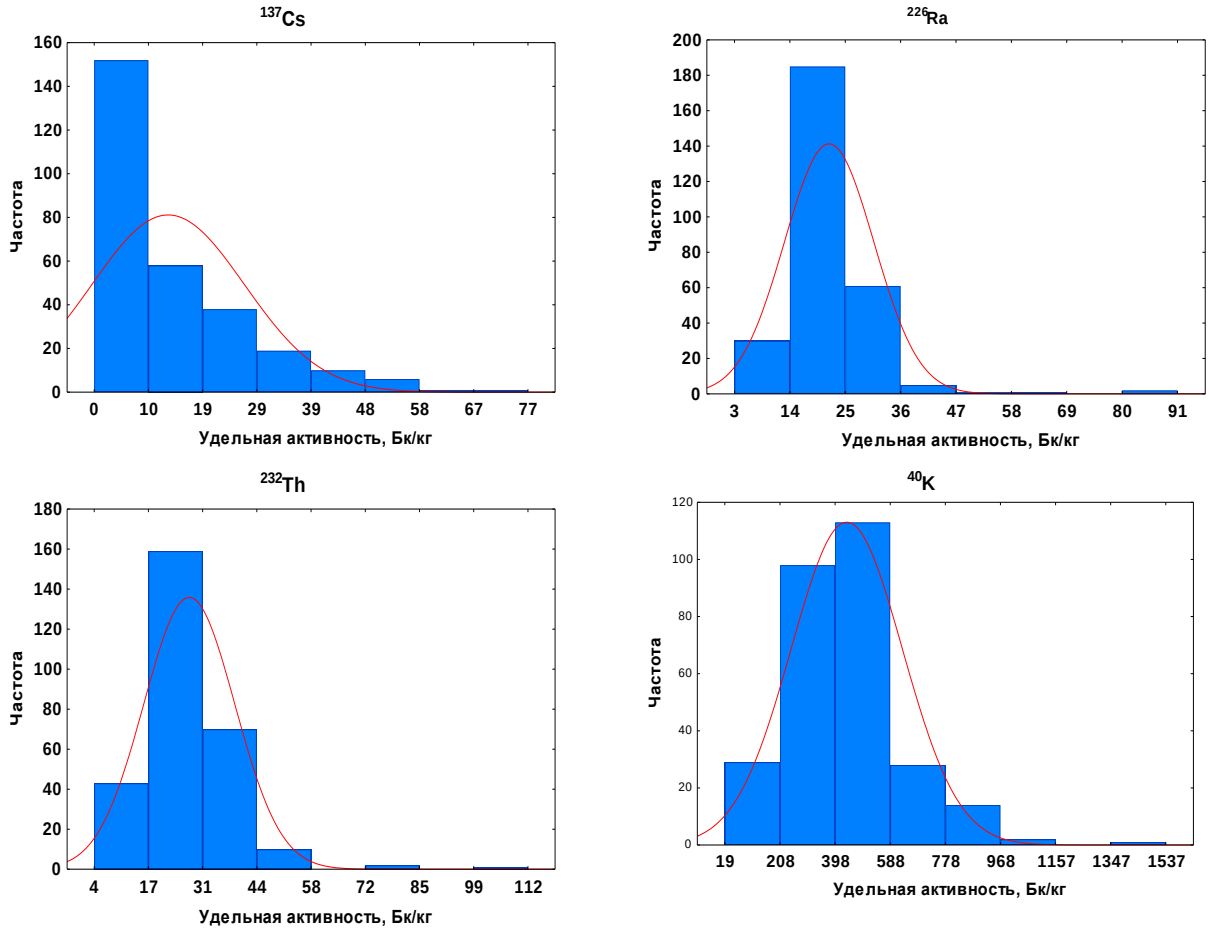



Рисунок 5.10 – Распределение радионуклидов в почвах городских населенных пунктов Ростовской области

---

**Активность радионуклидов в антропогенно-преобразованных почвах Ростовской агломерации с 2012 по 2016 годы** / Бураева Е.А., Горбов С.Н., Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Козырев Д.А., Дергачева Е.В.; Свидетельство 2018620989 Российская Федерация. База данных: заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» - №2018620601; заявл. 17.05.18; дата регистрации в Реестре баз данных 05.07.2018.

**Элементный состав почв Ростовской области в 2012-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621417 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Кубрина В.К., Проценко В.В., Стасов В.В., Тройченко Р.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621145; заявл. 17.10.2017 г.; дата гос. рег. 01.12.2017 г.

Таблица 5.9 – Удельная активность радионуклидов в почвах городских населенных пунктов Ростовской области (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019; Деревяга и др., 2021; Дубров и др., 2021; Антонова Ек. и др., 2021а; Антонова Ек. и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Огиенко и др., 2021; Шаповалов и Бураева, 2021; Антонова Ек. и др., 2020; Слита и др., 2020; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Ревнивцев и Бураева, 2021в)

| 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 |
| Медиана, Бк/кг | 8,9 | 21,2 | 26,9 | 423,1 |
| Мода, Бк/кг | 0,3 | 25,8 | 28,4 | 441,0 |
| Стандартная ошибка, мкЗв/ч | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 11,3 |
| Стандартное отклонение | 13,4 | 8,8 | 11,4 | 190,8 |
| Дисперсия выборки | 180,2 | 77,8 | 129,5 | 36421,2 |
| Эксцесс | 2,3 | 20,3 | 13,0 | 4,0 |
| Асимметричность | 1,4 | 3,1 | 2,1 | 1,1 |
| Количество проб, шт | 285 | | | |

В целом, удельная активность естественных радионуклидов и искусственного радиоцезия сопоставима с данными, полученными для ООПТ Ростовской области, и соответствует средним мировым значениям. При этом, в отдельных пробах почвы отмечаются повышенные удельные активности ЕРН. Это обусловлено, в первую очередь тем, что почвенные пробы отбирались и в том числе в районе размещения промышленных предприятий г. Новочеркасска и г. Волгодонска (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в).

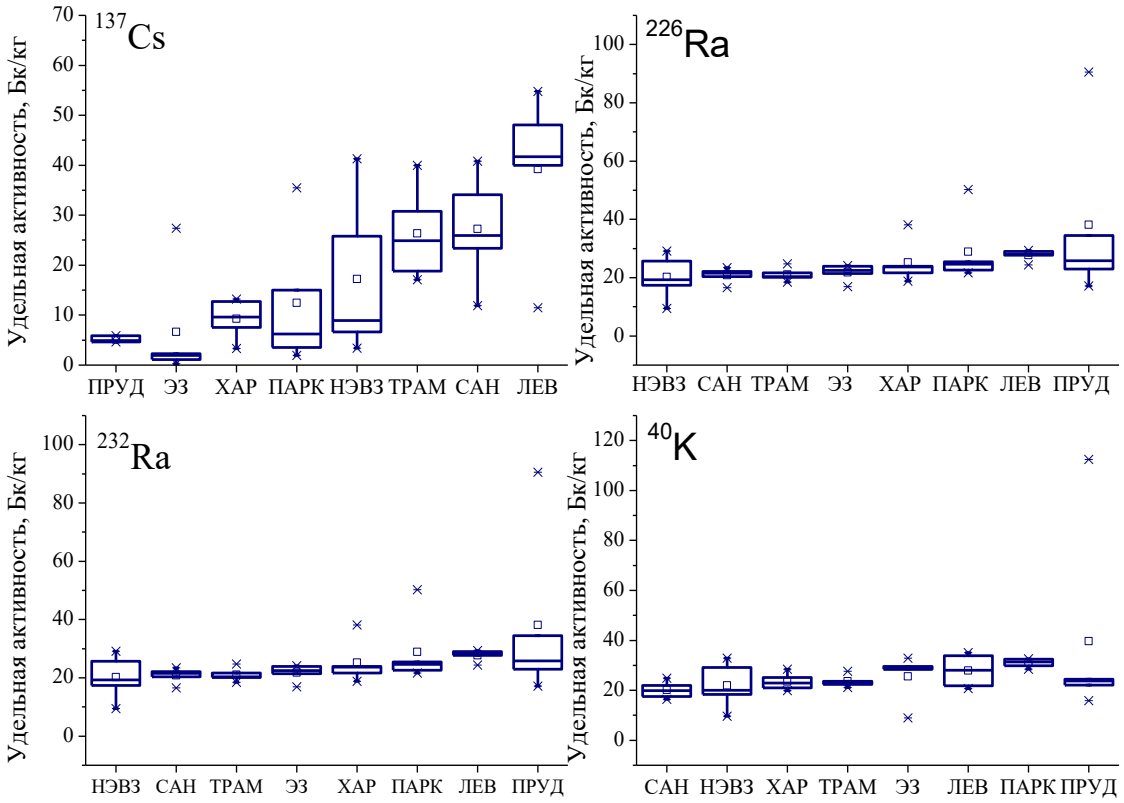



Рисунок 5.11 – Распределение радионуклидов в почвах из разных районов г. Новочеркасска (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019)

Распределение естественных радионуклидов в почвах на территории спальных районов (участки САН, ТРАМ, ХАР, ЛЕВ), парковой зоны (ПАРК) и вокруг промышленных предприятий (НЭВЗ, ЭЗ) равномерное и совпадает в пределах стандартных ошибок. Особо выделяется участок ПРУД, на котором максимальные значения удельной активности естественных радионуклидов составили 90,5, 112,4, 1537,0 Бк/кг для $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K соответственно (Рис. 5.11) (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019).

Подобные содержания данных элементов, могут быть связаны с тем, что участок ПРУД расположен на берегу пруда-отстойника Электродного завода (ЭЗ) и почвы, вероятно, загрязнены нефтепродуктами (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019)).

В таблице 5.10 представлены результаты определения средней арифметической удельной активности радионуклидов в почвах г. Новочеркасска, а также в почвах природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС и заповедников Персиановская степь (ПСС) и Приазовская степь (АС) (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Швецова и др., 2021; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2020; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016а; Козырев и др., 2016б; Kozyrev et al, 2017; Kozyrev et al, 2021).

Таблица 5.10 – Сравнение удельных активностей радионуклидов в почвах различных территорий Ростовской области

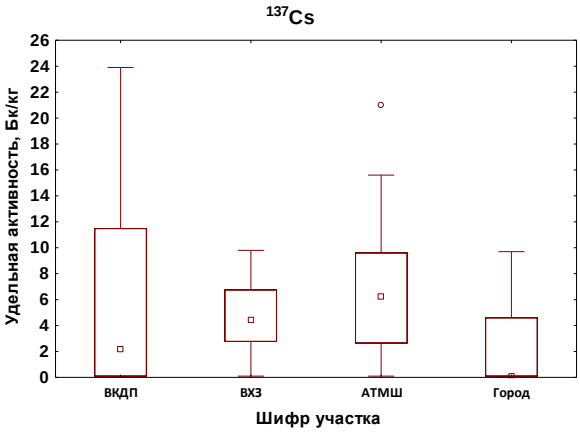
| Радионуклид | Удельная активность, Бк/кг | | | |
|---|---|---|---|---|
| | г. Новочеркасск | НчГРЭС | ПСС | АС |
| $^{137}Cs$ | 17,7 | 22,0 | 56,8 | 16,4 |
| $^{226}Ra$ | 25,5 | 17,0 | 25,1 | 25,5 |
| $^{232}Th$ | 26,7 | 29,0 | 35,6 | 27,4 |
| $^{40}K$ | 367,9 | 510,0 | 506,0 | 386,2 |

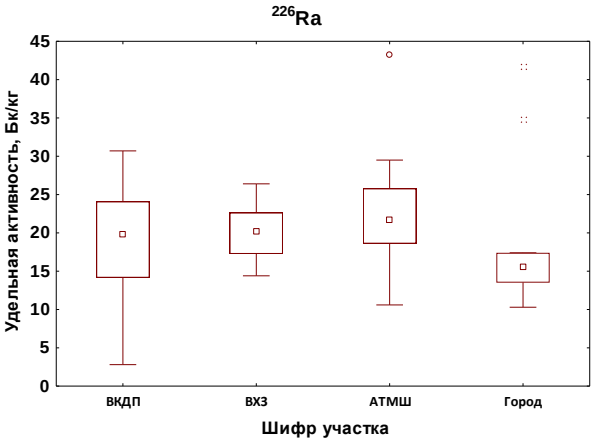
Средние арифметические значения удельной активности естественных радионуклидов в почвах г. Новочеркасска не превышают среднемировых значений и составляют 32, 45, 412 Бк/кг для $^{226}Ra$, $^{232}Th$, $^{40}K$ соответственно (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Швецова и др., 2021; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2020; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016а; Козырев и др., 2016б). Сопоставление радионуклидного состава почв г. Новочеркасска с природно-техногенными и природными территориями Ростовской области показало, что удельная активность естественных радионуклидов совпадает в пределах погрешности. Все территории относятся к черноземной зоне Ростовской области (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б;

Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Швецова и др., 2021; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2020; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016а; Козырев и др., 2016б).

На территории Новочеркасской ГРЭС также распространены лугово-черноземные и аллювиально-луговые почвы (Безуглова и Хырхирова, 2008; Минкина и др., 2011). Для аллювиально-луговых почв характерно повышенное содержание песка, обладающего низкой сорбционной способностью и повышенной промывной способностью, в том числе и к радионуклидам (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Швецова и др., 2021; Kozyrev et al, 2017; Kozyrev et al, 2021).

На территориях г. Волгодонска почвы отбирались в парковых и спальных районах (Город), а также в районе размещения крупных предприятий: ОАО «Волгодонский комбинат древесных плит» (ВКДП), Волгодонский химический завод «Кристалл» (ВХЗ), Завод «Атоммаш» (АТМШ) (Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в).



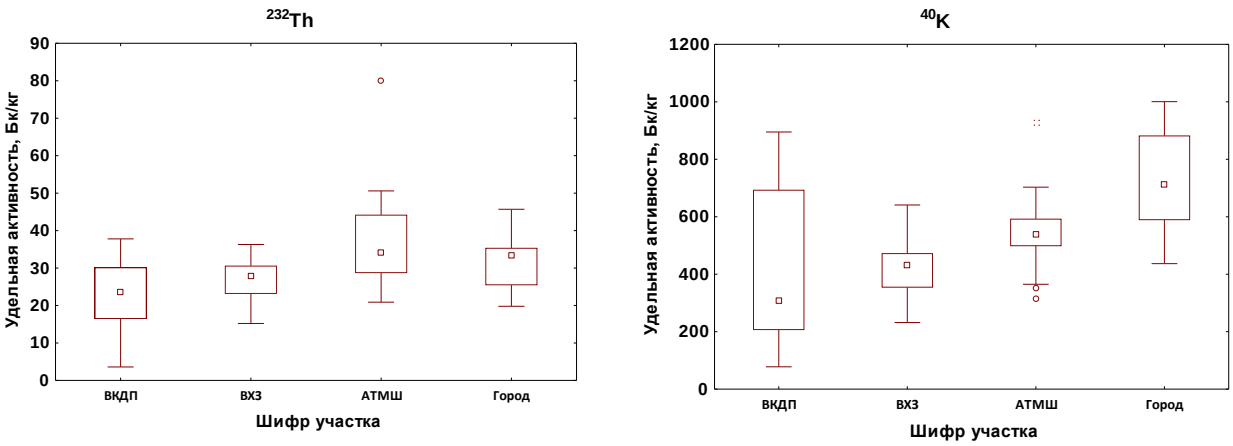



Рисунок 5.12 – Распределение удельной активности радионуклидов в почвах г. Волгодонска (Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в).

Таблица 5.11 – Средние значения удельной активности радионуклидов в почве 0-10 см на территориях предприятий г. Волгодонска и зоны наблюдения Ростовской АЭС (Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в; Buraeva et al, 2015)

| Шифр участка | $A_{уд}$, Бк/кг | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| КУ 12 | 14,7 | 46,0 | 44,0 | 427,0 |
| КУ 201 | 6,7 | 14,9 | 15,1 | 334,5 |
| ВКДП | 6,0 | 18,6 | 22,2 | 414,3 |
| ВХЗ | 4,8 | 19,9 | 27,4 | 425,5 |
| АТМШ | 6,7 | 22,4 | 37,7 | 545,8 |
| Город | 2,0 | 19,1 | 31,6 | 714,3 |
| Заповедник Ростовский | 6,3 | 26,8 | 32,0 | 538,0 |

Удельные активности естественных радионуклидов в верхнем слое почвы (0-10 см) на территории г. Волгодонска, в том числе и в районах расположения крупных промышленных предприятий сопоставимы как с контрольными участками зоны наблюдения Ростовской АЭС, так и с удельной активностью радионуклидов в почвах Заповедника Ростовский (также расположен в каштановой зоне, с сухим континентальным климатом) (Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Ревнивцев и Бураева, 2021в; Buraeva et al, 2015; Аветисян и др., 2015; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Бакаева и др., 2011; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и Бураева, 2021а;

Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Болдарев и др., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2006а; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010а; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023; Kozyrev et al, 2017; Kozyrev et al, 2021).

Таблица 5.12 – Сопоставление удельной активности радионуклидов в почвах городских и сельских поселений

| Параметр | Радионуклид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| Городские населенные пункты | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 0,3 | 2,8 | 3,6 | 18,7 |
| Максимум, Бк/кг | 41,3 | 90,5 | 112,4 | 1537,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 6,6 | 21,1 | 29,1 | 476,9 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 3,1 | 19,5 | 26,5 | 419,4 |
| Медиана, Бк/кг | 3,9 | 20,5 | 28,4 | 442,0 |
| Мода, Бк/кг | 0,3 | 22,6 | 20,6 | 378,0 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 16,9 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 7,6 | 8,9 | 12,6 | 219,8 |
| Количество проб, шт | 170 | | | |
| Сельские населенные пункты | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 0,5 | 5,9 | 4,8 | 115,9 |
| Максимум, Бк/кг | 76,9 | 80,2 | 44,2 | 573,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 23,1 | 21,8 | 24,6 | 375,2 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 17,7 | 20,4 | 22,7 | 353,2 |
| Медиана, Бк/кг | 21,5 | 21,8 | 24,8 | 380,9 |
| Мода, Бк/кг | 16,5 | 19,6 | 24,8 | 441,0 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 1,3 | 0,8 | 0,8 | 10,6 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 14,1 | 8,7 | 8,7 | 113,5 |
| Количество проб, шт | 115 | | | |

В целом, удельная активность естественных радионуклидов в почвах городских и сельских населенных пунктов Ростовской области варьирует в широких пределах и сопоставима с почвами ООПТ, а также не зависит от размера и статуса населенного пункта. В отдельных точках отбора фиксируются повышенные удельные активности ЕРН, связанные с загрязнениями почвы нефтепродуктами и иными поллютантами с повышенными содержанием ЕРН (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019; Деревяга и др., 2021; Дубров и др., 2021; Антонова Ек. и др., 2021а; Антонова Ек. и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Огиенко и др., 2021; Шаповалов и Бураева, 2021; Антонова Ек. и др., 2020; Слита и др., 2020; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Ревнивцев и Бураева, 2021в; Kozyrev et al, 2017; Kozyrev et al, 2021).

Вариации искусственного $^{137}Cs$ обусловлены как неравномерным выпадением данного радионуклида после аварии на Чернобыльской АЭС, так и особенностями городских почв – любое строительство и обустройство парковых зон приводит к нарушениям целостности почвы, перемешиванию почвенных горизонтов и влияет на концентрацию данного радионуклида в верхних слоях почвы (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019; Деревяга и др., 2021; Дубров и др., 2021; Антонова Ек. и др., 2021а; Антонова Ек. и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Огиенко и др., 2021; Шаповалов и Бураева, 2021; Антонова Ек. и др., 2020; Слита и др., 2020; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Ревнивцев и Бураева, 2021в).

### 5.1.4. Сравнительный анализ почв территорий с различной антропогенной нагрузкой

Хозяйственная деятельность, промышленные предприятия, автотранспорт, разработка месторождений полезных ископаемых влияют на содержание и поведение различных поллютантов в объектах экосферы. При этом – естественные радионуклиды также могут попадать в окружающую среду и формировать фон от природных источников ионизирующих излучений. Так как природный фон на открытой местности складывается от концентрации радионуклидов, находящихся в почвах и от космического излучения (зависит от высоты над уровнем моря и на территории Ростовской области космическую компоненту можно считать постоянной), то вклад удельной активности почвенных радионуклидов в дозовые нагрузки на открытой местности будет определяющим. В данном разделе проведен сравнительный анализ концентрации ЕРН на территориях с различной степенью антропогенной нагрузки. Использовали результаты многолетних экспедиций по Ростовской области, включая зону наблюдения Ростовской АЭС (Аветисян и др., 2015; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Бакаева и др., 2011; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и Бураева, 2021а; Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Болдарев и др., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2006а; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010а; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023), природно-техногенную территорию Новочеркасской ГРЭС (Данилова и др., 2014; Данилова и др., 2015; Федченко др., 2013а; Федченко и др., 2013б, Федченко и др., 2013в, Федченко и др.,

2013г; Федченко и др., 2014а; Федченко и др., 2014б; Бураева и др., 2020; Buraeva et al., 2022; Buraeva, Bezuglova, 2023), ООПТ Ростовской области (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021) и исследования на территориях городских и сельских поселений Ростовской области (Бураева и др., 2022а; Бураева и др., 2021б; Бураева и др., 2020в; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2021б; Дергачева и др., 2020; Дергачева и др., 2019; Деревяга и др., 2021; Дубров и др., 2021; Антонова Ек. и др., 2021а; Антонова Ек. и др., 2021б; Ляхова и др., 2021а; Ляхова и др., 2021в; Ляхова и др., 2021г; Огиенко и др., 2021; Шаповалов и Бураева, 2021; Антонова Ек. и др., 2020; Слита и др., 2020; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Ревнивцев и Бураева, 2020; Ревнивцев и Бураева, 2021а; Ревнивцев и Бураева, 2021б; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Ревнивцев и Бураева, 2021в; Kozyrev et al, 2017; Kozyrev et al, 2021). Ниже представлены графики, иллюстрирующие распределение ЕРН в почвах природных, природно-антропогенных и урбанизированных территорий Ростовской области для каштановой и черноземной почвенных зон Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 202б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е). К природным территориям отнесены ООПТ, природно-техногенные территории – зоны наблюдения (контроля)

Ростовской АЭС и Новочеркасской ГРЭС, урбанизированные территории – почвы городских и сельских населенных пунктов Ростовской области (Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2026; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е).

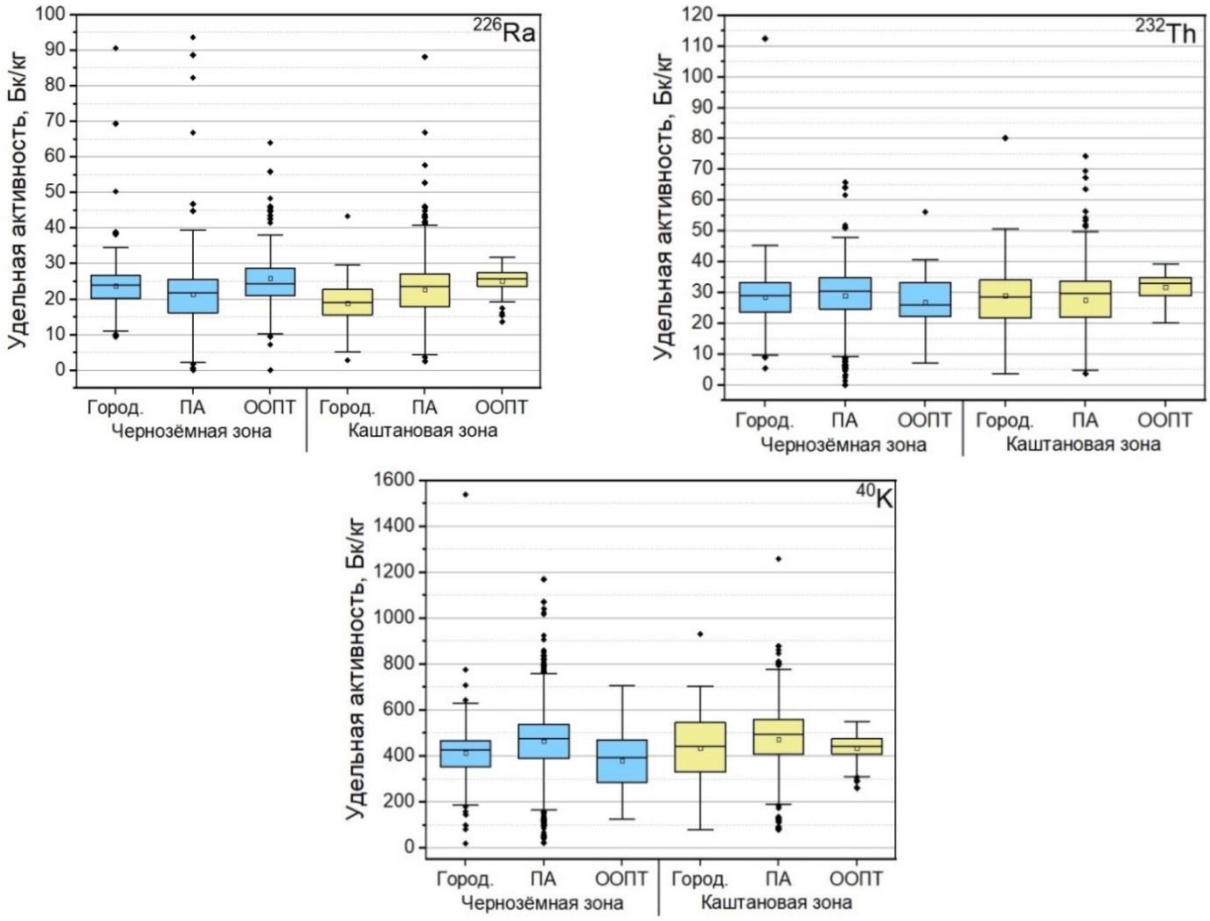



Рисунок 5.13 – Распределение радионуклидов в черноземах и каштановых почвах с различной антропогенной нагрузкой (Город. – почвы городских и сельских поселений, ПА –почвы природно-антропогенных территорий, ООПТ – почвы особо охраняемых природных территорий) (Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2026; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е)

При анализе распределения радионуклидов в чернозёмных и каштановых почвах с учётом антропогенной нагрузки, можно отметить, что содержания естественных радионуклидов совпадают в пределах погрешности (Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2026; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е).

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, крайне низкая нагрузка автотранспорта и др Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2026; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е).

Как показано в наших работах (Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2026; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е) «…результаты статистического анализа радионуклидного состава почв показали, что по критерию Манна-Уитни неразличимыми можно считать лишь удельные активности $^{226}$Ra и $^{232}$Th (различия составляют 0,05 и 0,43 Бк/кг в черноземных и каштановых почвенных зонах соответственно, что существенно ниже погрешностей определения удельной активности)…».

При этом, «…удельная активность естественного радионуклида $^{40}$K согласно сравнительному анализу, в почвах каштановой зоны выше, чем в черноземной (данные статистически различимы)…» Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2026; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Kozyrev et al, 2017; Kozyrev et al, 2021).

Это может быть обусловлено «…более высокой засолённостью почв каштановой зоны, связанного с преобладанием в этих районах выпотного почвенного режима…» (Безуглова и Хырхырова, 2008; Вальков и др., 2008; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2026; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е).

Стоит отметить, что «…землепользование в городах и урбанизированных районах отличается повышенной интенсивностью эксплуатации, в результате чего практически все почвы, расположенные в городской черте, в той или иной степени подвержены физической деградации, являющейся результатом различного рода избыточных технологических нагрузок...» (Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2026; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Kozyrev et al, 2017; Kozyrev et al, 2021).

В целом, можно сделать следующий вывод: «…значимых различий в содержании радионуклидов в почвах урбанизированных, природно-антропогенных

и природных территорий в пределах каштановой и чернозёмной зоны Ростовской области, на данный момент времени, нет…» Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 202б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Kozyrev et al, 2017; Kozyrev et al, 2021).

При этом необходимо уделять особое пристальное внимание локальным участкам с повышенным содержанием ЕРН для определения поллютантов и источников загрязнения. Также необходимо расширить географию исследования и сосредоточится на почвах в районах размещения предприятий для оценки степени ее деградации и выявления не только радионуклидных загрязнителей Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 202б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Kozyrev et al, 2017; Kozyrev et al, 2021).

Подобные исследования в очередной раз подтверждают тот факт, что «…понимание механизмов и источников загрязнения почв позволит в дальнейшем сосредоточиться на минимизации отрицательного воздействия человеческой деятельности на такой важный и сложный объект экосферы как почва...» (Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 202б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Kozyrev et al, 2017; Kozyrev et al, 2021).

### *5.2. Радионуклиды в почвах горной Адыгеи*

В условиях горных территорий значительное влияние на перераспределение $^{137}Cs$ и естественных радионуклидов в почвах, прежде всего, будут оказывать особенности рельефа, а для ЕРН – важным фактором является радиоактивность почвообразующих пород.

Как показывает практика, содержание радиоцезия в почвах горных районов увеличивается с высотой над уровнем моря (Szabó et al., 2012; Lettner et al., 2006). Тем не менее, рельеф местности и климатические условия (обильные атмосферные осадки, температура и т.д.) способствуют накоплению цезия в локальных точках, таких как ложбины, русла горных рек и др. (Korobova & Romanov, 2011), а также промыванию радионуклида вглубь по почвенному профилю и вниз по склону (Gaspar & Navas, 2013).

Помимо рельефа, немаловажную роль в перераспределении радиоцезия (и ЕРН) на горных территориях играют условия формирования почв под лесным массивом (Karadeniz et al., 2015). Древесные растения, влияя в течение своей жизни на многие почвенные процессы (накопление гумуса, выщелачивание, оподзоливание, подкисление и т. п.), создают пестроту почвенного покрова, что обусловливает отличие лесных почв от почв других биоценозов. Биологический круговорот в лесных почвах отличается большой емкостью и интенсивностью обмена веществ (Лесная энциклопедия, 1985).

Для Республики Адыгея информация по уровню загрязненности территории искусственными радионуклидами в результате испытаний ядерного оружия и аварии на Чернобыльской АЭС практически отсутствует. До 1992 года Адыгея входила в состав Краснодарского края, который, в свою очередь, отнесен к территориям, на которых содержание $^{137}Cs$ не превышало 1 Ки/км$^2$ (Атлас, 1998; Атлас, 2009). Концентрация естественных радионуклидов в почвах горных территорий Кавказа изучалась эпизодически (Асварова и др., 2014).

Среднегодовая мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (по данным НПО «Тайфун» (Ежегодник, 2022)) в Республике Адыгея в 2013 году составляла 0,15мкЗв/ч. Максимальное суточное значение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения 0,26 мкЗв/ч наблюдалось в п. Даховское в горном районе Республики Адыгея. Среднегодовое значение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в этом пункте – 0,146 мкЗв/ч.

В разделе представлены результаты оценки удельной активности радиоцезия и ЕРН в верхнем (0-10 см) слое почвы на контрольных участках (модельных площадках) на территории Майкопского района Республики Адыгея. Полученные результаты необходимы, в том числе, и для изучения особенности накопления радионуклидов мхами, грибами и лесной подстилкой. Результаты по удельной активности радионуклидов в почвах Майкопского района Республики Адыгея оформлены в виде баз[30] данных и представлены в Приложении 1, п. П1.2.

[30] **Удельная активность $^{137}Cs$ в почвах Республики Адыгея в 2010-2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621447 РФ / Бураева Е. А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е. В., Заруднев А.А., Кубрина

Результаты многолетних исследований особенности распределения естественных и искусственных радионуклидов в горных почвах Майкопского района Республики Адыгея отражены в серии коллективных публикаций автора (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

---

В.К., Москалев Н.Н., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621174; заявл.31.08.2016; дата гос. рег. 27.10.2014.

**Удельная активность $^{137}$Cs в почвах Республики Адыгея в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621504 РФ / Бураева Е.А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621222; заявл. 31.10.2017 г.; дата гос. рег. 19.12.2017 г.

**Удельная активность $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K в почвах Адыгеи за 2010-2014 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621480 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Малышевский В.С., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621002; заявл. 27.07.15; дата гос. рег. 23.09.15.

**Удельная активность естественных радионуклидов в почвах Республики Адыгея в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2018620013 РФ / Бураева Е.А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621219; заявл. 31.10.2017 г.; дата гос. рег. 09.01.2018.

**Элементный состав почв Республики Адыгея в 2012-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2018620210 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Кубрина В.К., Саевский А.И., Стасов В.В., Тройченко Р.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621152; заявл. 17.10.2017 г.; дата гос. рег. 05.02.2018 г.

Ниже представлены диаграммы распределения радионуклидов в верхнем почвенном слое на территории исследования за весь период наблюдений.

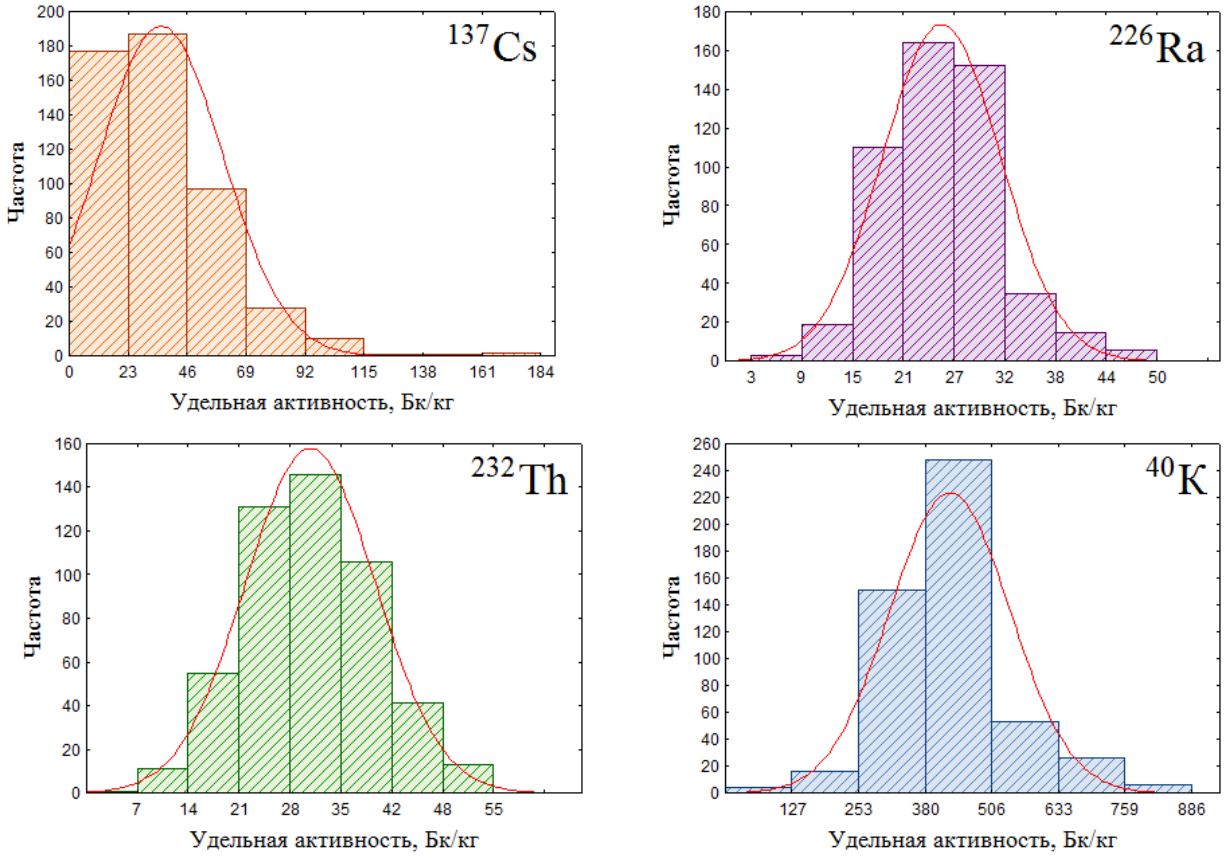



Рисунок 5.14 – Радионуклиды в почвах горной Адыгеи (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019)

Таблица 5.13 – Радионуклидный состав почвенных проб на модельных площадках Майкопского района

| Параметр | Радионуклид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}$Cs | $^{226}$Ra | $^{232}$Th | $^{40}$K |
| Минимум, Бк/кг | 0,1 | 3,0 | 0,9 | 101,1 |
| Максимум, Бк/кг | 320,5 | 50,1 | 55,4 | 886,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 35,7 | 25,0 | 30,3 | 425,1 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 28,0 | 19,3 | 24,2 | 422,6 |
| Медиана, Бк/кг | 32,4 | 24,8 | 29,9 | 417,0 |
| Мода, Бк/кг | 60,4 | 26,9 | 32,4 | 438,0 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 1,1 | 0,3 | 0,4 | 5,1 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 24,2 | 6,8 | 8,8 | 114,0 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Дисперсия выборки, отн.ед. | 584,6 | 46,8 | 78,0 | 13002,6 |
| Эксцесс, отн.ед. | 5,9 | 0,9 | 0,0 | 1,9 |
| Асимметричность, отн.ед. | 1,7 | 0,4 | 0,1 | 0,6 |
| Количество измерений, шт | 504 | | | |

Подобное распределение удельной активности $^{137}Cs$ в верхнем 0-10 см слое почвы горных районов объясняется как неравномерностью выпадения данного радионуклида по территории региона, так и влиянием рельефа, свойствами почвы, водным режимом и климатическими условиями районов исследования. В условиях горного ландшафта происходит вымывание $^{137}Cs$ из почв с последующим его накоплением на низинных территориях и на дне ущелий (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

Поведение радиоактивного $^{137}Cs$ в компонентах почвенно-растительного покрова и циклы биогеохимической миграции изучаются многими исследователями (Nabyvanets et al., 2000; Al-Masri, 2006; Isaksson et al., 2001; Al Hamarnehet al., 2003; Doering et al., 2006; Turhan et al., 2012; Fujiwara et al., 2012; Gaspar & Navas, 2013; Park et al., 2013). Распределение $^{137}Cs$ в почвах анализируется не только в долговременных исследованиях загрязненных и фоновых территорий, но и при

учете доз облучения населения от искусственных радионуклидов, оценке эрозии почв (Collins et al., 2001; Chappell & Warren, 2003; Li et al., 2010; Parsons & Foster, 2011), изучении источников поступления искусственных радионуклидов (Lee et al., 2013). Также данный радионуклид изучается в модельных экспериментах для определения механизмов миграции $^{137}Cs$ по почвенным профилям (Shinonaga et al., 2005; Almgren & Isaksson, 2006; Matisoff et al., 2011; Nakanishi et al., 2014), скорости диффузии данного радионуклида (Krstic et al., 2004, Iurian et al., 2014), особенности его накопления в почвах (Bai et al., 2002).

Первичная конфигурация загрязнения почв $^{137}Cs$ в настоящее время осложняется процессами вертикальной и горизонтальной миграции. В результате прочной фиксации $^{137}Cs$ в поверхностных горизонтах почв ведущее значение приобретает особенно характерный для агроландшафтов горизонтальный эрозионный массоперенос (Gaspar & Navas, 2013), на который, в основном, влияют климатические условия: скорость ветра, способствующая дефляции и переносу частиц, обогащенных $^{137}Cs$, на дальние расстояния (Гаргер и Гаврилов, 1992; Махонько, 1992; Махонько, 2000; Махонько и Ким, 2002; Уорнер и Харрисон, 1999), и количество осадков – обеспечивающие смыв $^{137}Cs$ в понижения рельефа (Korobova & Romanov, 2011; Gaspar & Navas, 2013). Вертикальный перенос $^{137}Cs$ в почвах может происходить в результате конвективного переноса и диффузии (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Buraeva et al., 2015), а также в ходе биотурбации, связанной с деятельностью почвенной фауны (Buraeva et al., 2015). На данные процессы переноса $^{137}Cs$ влияют физико-химические свойства почвы – содержание гумуса, химический и гранулометрический составы, уровень кислотности (Askbrant et al., 1996; Matsunaga et al., 2013; Koarashi et al., 2012; Gaspar & Navas, 2013), рельеф (Korobova & Romanov, 2011), климатические особенности региона (Legarda et al., 2011) и растительность (Gastberger et. al., 2000).

Удельная активность ЕРН на контрольных участках горной Адыгеи распределена достаточно равномерно (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и

др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019). Необходимо отметить, что в представленные результаты статистического анализа не включены почвенные пробы, загрязненные обломочным материалом горных пород с высоким содержанием ЕРН и участки, расположенные в непосредственной близости от штолен.

Ниже, на рис. 5.15, представлены особенности распределения радионуклидов в почвах различных участков (Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

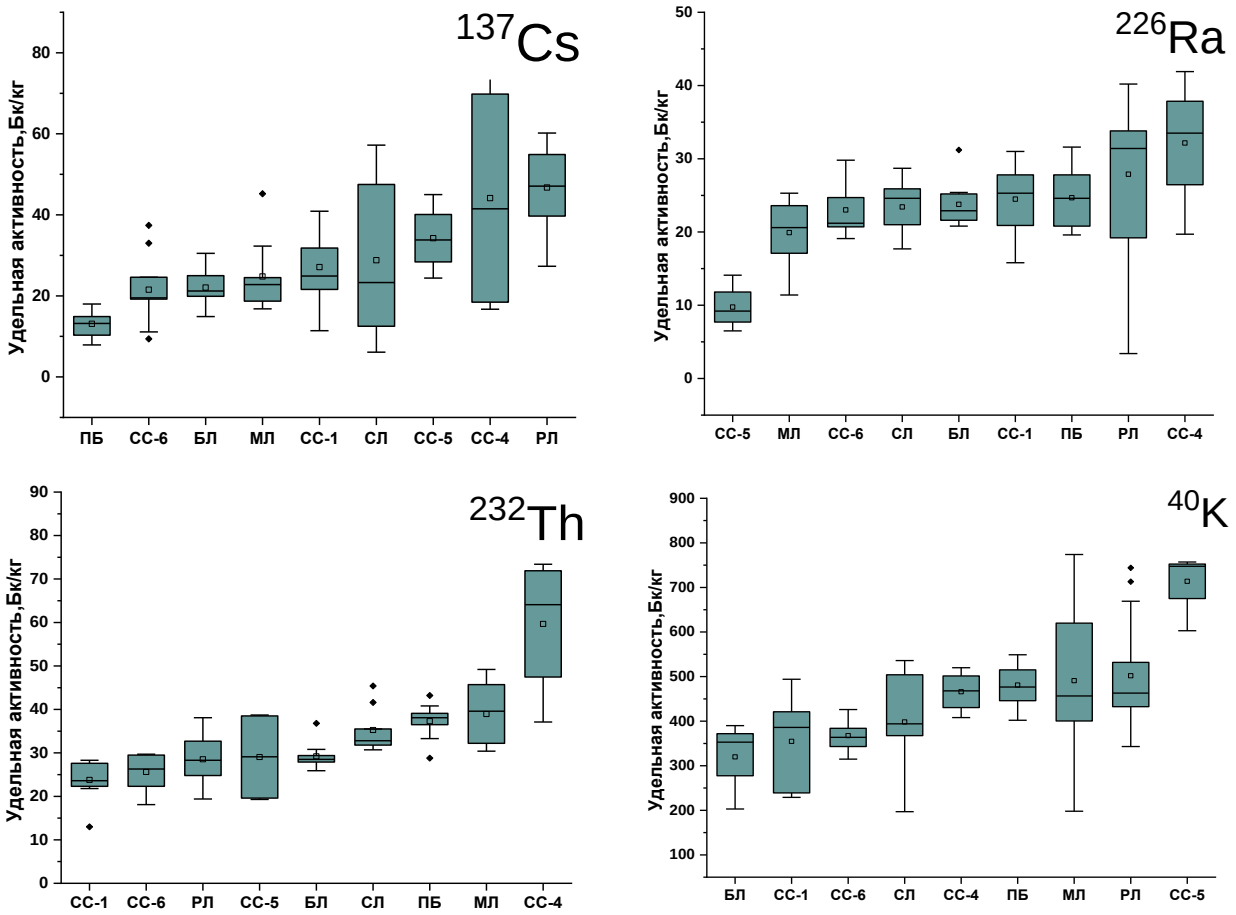



Рисунок 5.15 – Распределение радионуклидов в верхнем почвенном слое на различных участках (на примере 2018 года) (Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019)

Для искусственного $^{137}$Cs характерно максимальное накопление его на участке РЛ, обладающей следующим типом почвы: дерново-силикатная почва (ранкер лесной) на элювии гранитов (Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019). Участок расположен на дне гранитного ущелья, где происходит латеральный и радиальный смыв и переотложение данного радионуклида в этой точке (Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

Точки СС-4 и СС-5 расположены на крутом склоне в ущелье реки Сюк, характеризуются бурыми лесными примитивными (СС-4) и неполноразвитыми (СС-

5) почвами, на этих точках происходит непрерывные процессы осыпания почвы, оползневые и обвальные процессы, почвы зачастую не успевают формироваться и при этом радиоцезий также мигрирует вниз по склону (Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

Максимальное содержание естественного радионуклида $^{226}$Ra зафиксировано также на участке РЛ, как упоминалось выше, это гранитное ущелье, почвообразующие породы – граниты с достаточно высоким содержанием естественных радионуклидов (Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019). Удельная активность $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K в точках СС-4 и СС-5 достаточно высока, что может быть обусловлено новыми обвальными, оползневыми процессами, которые происходят на склоне в ущелье реке Сюк и привнесением обломочного материала с различным содержанием радионуклидов (Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

Таблица 5.14 – Средние удельные активности естественных радионуклидов в различных почвах горной Адыгеи

| Тип почвы | Контрольный участок | Средняя арифметическая удельная активность, Бк/кг | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $^{226}$Ra | $^{232}$Th | $^{40}$K |
| Дерново-силикатная лесная (ранкер) среднесуглинистая ненасыщенная на делювии гранитов | РЛ | 26,1 | 25,3 | 492,3 |
| Луговая ненасыщенная глееватая мощная тяжелосуглинистая на валунно-галечниковых отложениях | МЛ | 19,1 | 31,7 | 386,0 |
| Луговая ненасыщенная маломощная среднесуглинистая на валунно-галечниковых отложениях | СЛ | 23,6 | 36,7 | 428,3 |
| Бурая лесная неполноразвитая ненасыщенная тяжелосуглинистая на элювии аргиллитов | СС5 | 14,5 | 38,8 | 578,9 |
| | СС-1* | 25,9 | 34,9 | 380,6 |
| | **ШТ*** | **89,5** | **23,0** | **393,4** |
| Бурая лесная примитивная легкосуглинистая на элювии аргиллитов | СС4 | 29,4 | 34,6 | 627,3 |

| Тип почвы | Контрольный участок | Средняя арифметическая удельная активность, Бк/кг | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $^{226}$Ra | $^{232}$Th | $^{40}$K |
| Бурая лесная малогумусная ненасыщенная глинистая на желто-бурой глине | БЛН | 22,3 | 27,5 | 326,2 |
| Бурая лесная многогумусная ненасыщенная глинистая на желто-бурой глине | БЛВ | 25,7 | 31,2 | 355,5 |
| Аллювиально-дерновая ненасыщенная тяжелосуглинистая на аллювиально-делювиальных отложениях | СС6 | 22,0 | 24,7 | 358,7 |
| Аллювиально-дерновая ненасыщенная супесчаная на аллювиально-делювиальных отложениях | ПБ | 28,7 | 38,0 | 504,1 |

Минимальные средние удельные активности $^{226}$Ra фиксируются на КУ СС-5 (Бурая лесная неполноразвитая почва), при высоких концентрациях $^{40}$К (так же калий повышен и на СС-4 с примитивными почвами) (Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019). В таблице 5.14 представлены бурые неполноразвитые почвы отобранные в верхней части склона в ущелье реки Сюк (СС-1) и внизу склона (СС-5), участок СС-4 расположен выше СС-5 на полтора метра по вертикали(Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

Участок ШТ расположен у входа штольни Белореченского месторождения баритов. С пластовыми водами может происходить вымывание урансодержащих минералов из штольни и накапливаться в почвах (Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б).

Повышенное содержание $^{40}$К в верхних слоях почвы на СС-5 и СС-4 может быть обусловлено несколькими факторами: регулярное разрушение склона приводит к тому, что с каждым годом вскрываются более глубокие почвенные горизонты, в которых ранее происходило (и возможно происходит) накопление $^{40}$К, привносимого с глинистыми минералами (например, иллитами); возможно загрязнение участков глинистыми фракциями (обломочным материалом) в периоды

паводков, вода в реке Сюк поднимается на несколько метров, а в летний засушливый период зеркало воды в реке расположено всего в двух (и трех для СС-4) метрах ниже КУ (Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

Оценка удельной активности различных пород Республики Адыгея показала, что максимальные концентрации естественных радионуклидов характерны для магматических (гранитоидов) и метасоматических (родингиты) горных пород, минимальные – для осадочных пород (аргиллиты, песчаники, глины, известняки) (Жучков и др., 2012; Павленко и др., 2021; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б). В целом, удельная активность некоторых пород Северного Кавказа оформлена в виде базы[31] данных и представлена в Приложении 1, п. П1.2.

В целом, значимые различия в средних удельных активностях ЕРН в зональных и интразональных почвах региона исследования отсутствуют. Вариации ЕРН обусловлены либо техногенными факторами, либо особенностями расположения КУ в элементах рельефа, либо обвально-оползневыми и эрозионными склоновыми процессами, что будет детально рассмотрено в следующих разделах (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова

[31] **Удельная активность $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K в породах Северного Кавказа**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621659 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621210; заявл. 01.10.15; дата гос. рег. 18.11.15.

и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

### *5.3. Радионуклиды в почвах высокогорных районов Северного Кавказа*

В данном разделе представлены результаты радионуклидного анализа почв, отобранных в высокогорных районах Северного Кавказа – плато Лаго-Наки (Республика Адыгея), плато Шаджатмаз (Республика Карачаево-Чергессия), высокогорные районы заповедника Алания (Республика Северная Осетия – Алания) и на пиках Чегет и Терскол (Республика Кабардино-Балкария). Результаты исследований удельной активности радионуклидов в почвах высокогорий Северного Кавказа преставлены в работе автора (Бураева, 2022б).

Участки на плато Лаго-Наки, Шаджатмаз и на пиках Чегет и Терскол характеризуются горно-луговыми почвами и разнотравной луговой растительностью. Ниже, на рис. 5.16 и в табл. 5.15 представлены особенности распределения радионуклидов в верхнем почвенном слое (0-10 см) данных регионов. Стоит отметить, что участки на плато Лаго-Наки и в Республике Северная Осетия – Алания расположены на ООПТ и поэтому, на данных участках не отбирали растительность и представлено ограниченное число почвенных проб (Бураева, 2022б).

Площадки на пиках Чегет и Терскол достаточно небольшого размера из-за своего особого географического положения и сложного рельефа. И это не позволило выбрать достаточно представительные площадки для набора обширного статистического материала (Бураева, 2022б).

На данных высокогорных контрольных участках минимальна антропогенная нагрузка – при этом, на высоте 1800-2200 метров над уровнем моря на территории Российской Федерации расположено множество населенных пунктов. Полученные в

работе данные могут позволить определелить дозовые нагрузки на население и окружающую среду от космического излучения и радионуклидов естественного и искусственного происхождения в почвах (Бураева, 2022б). Также исследование позволит оценить фоновые (эталонные) концентрации поллютантов для регионов со схожими географическими, геологическими, тектоническими и климатическими условиями (Бураева, 2022б).

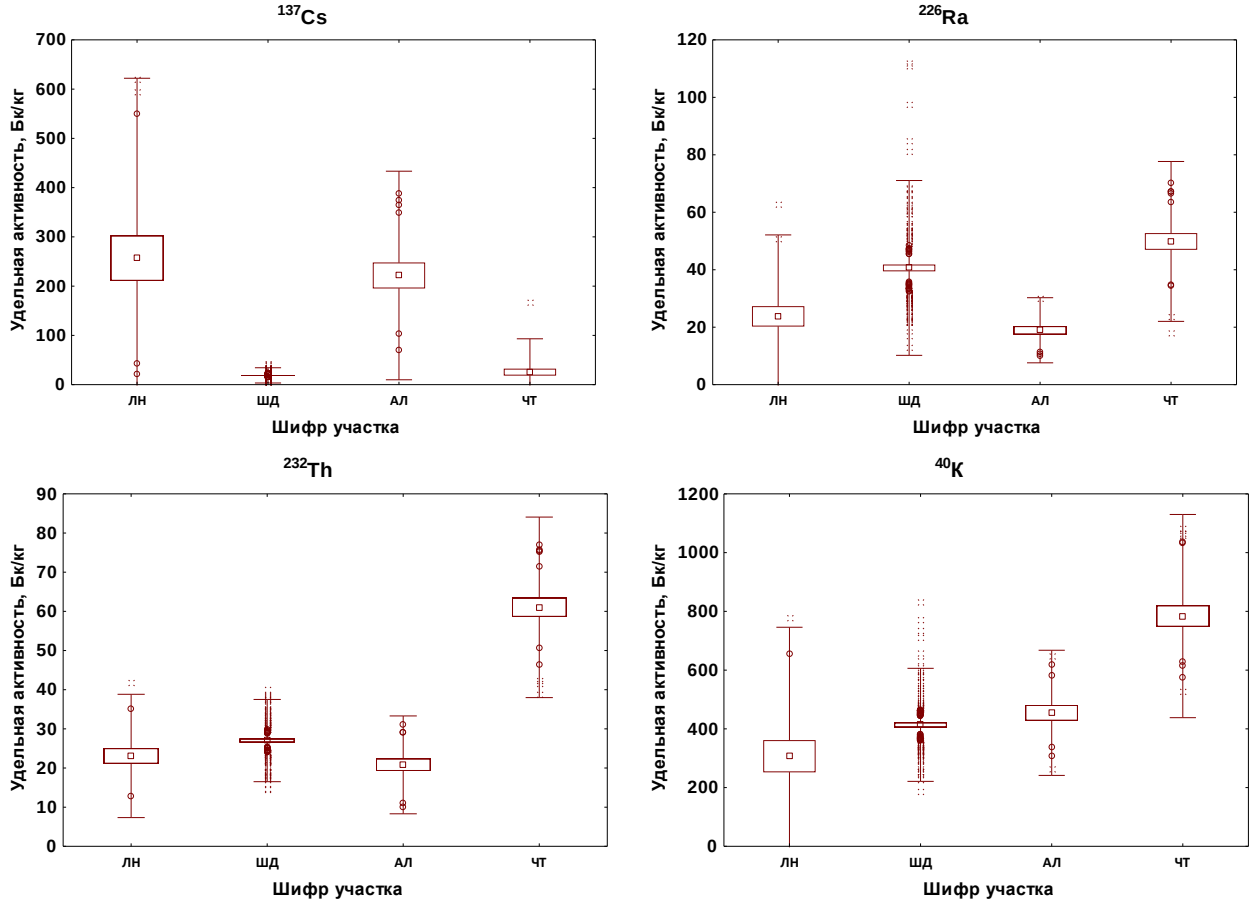



Рисунок 5.16 – Распределение радионуклидов в верхнем слое почвы высокогорных регионов Северного Кавказа: ЛН – Плато Лаго-Наки, ШД – Плато Шаджатмаз, АЛ – участки в национальном парке Алания, ЧТ – участки на пиках Чегет и Терскол (Бураева, 2022б)

Таблица 5.15 – Результаты статистической обработки данных по распределению радионуклидов в верхнем слое почвы высокогорных регионов Северного Кавказа (Бураева, 2022б)

| Параметр | Радионуклид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}$Cs | $^{226}$Ra | $^{232}$Th | $^{40}$K |
| Плато Лаго-Наки | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 21,3 | 11,3 | 12,8 | 90,3 |
| Максимум, Бк/кг | 620,2 | 62,9 | 41,9 | 778,0 |

| Параметр | Радионуклид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 256,7 | 23,8 | 23,1 | 306,8 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 192,1 | 21,0 | 22,0 | 238,9 |
| Медиана, Бк/кг | 213,6 | 19,7 | 21,0 | 195,7 |
| Мода, Бк/кг | – | – | 20,2 | – |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 45,7 | 3,5 | 2,0 | 54,9 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 182,8 | 14,2 | 7,9 | 219,6 |
| Дисперсия выборки, отн.ед. | 33398,1 | 201,1 | 62,0 | 48216,8 |
| Эксцесс, отн.ед. | 0,2 | 3,6 | 0,7 | -0,4 |
| Асимметричность, отн.ед. | 1,0 | 1,9 | 1,0 | 0,9 |
| Количество измерений, шт | 16 | | | |
| Плато Шаджатмаз | | | | |
| 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 |
| Медиана, Бк/кг | 18,2 | 38,3 | 26,9 | 402,0 |
| Мода, Бк/кг | 16,7 | 31,4 | 29,9 | 396,0 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 0,6 | 1,2 | 0,4 | 7,5 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 7,7 | 15,2 | 5,3 | 96,3 |
| Дисперсия выборки, отн.ед. | 59,9 | 231,4 | 27,6 | 9265,7 |
| Эксцесс, отн.ед. | 0,2 | 5,9 | -0,3 | 3,5 |
| Асимметричность, отн.ед. | 0,4 | 1,9 | 0,1 | 1,3 |
| Количество измерений, шт | 163 | | | |
| Национальный парк Алания | | | | |
| 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 |
| Медиана, Бк/кг | 169,9 | 19,5 | 19,3 | 442,5 |
| Мода, Бк/кг | – | – | 29,2 | 445,0 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 26,5 | 1,4 | 1,6 | 26,6 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 105,9 | 5,7 | 6,3 | 106,6 |
| Дисперсия выборки, отн.ед. | 11214,9 | 32,1 | 39,1 | 11354,1 |
| Эксцесс, отн.ед. | -1,4 | -0,5 | -0,7 | -0,2 |
| Асимметричность, отн.ед. | 0,4 | -0,1 | 0,0 | 0,2 |

| Параметр | Радионуклид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| Количество измерений, шт | 16 | | | |
| Пики Чегет и Терскол | | | | |
| 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 |
| Медиана, Бк/кг | 16,2 | 49,7 | 62,3 | 707,0 |
| Мода, Бк/кг | – | 67,1 | 62,3 | 911,0 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 7,1 | 2,9 | 2,4 | 36,1 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 33,9 | 13,9 | 11,5 | 173,0 |
| Дисперсия выборки, отн.ед. | 1146,4 | 193,6 | 132,9 | 29925,4 |
| Эксцесс, отн.ед. | 15,0 | -0,1 | -0,8 | -1,0 |
| Асимметричность, отн.ед. | 3,6 | -0,6 | -0,4 | 0,6 |
| Количество измерений, шт | 23 | | | |

Контрольные участки на плато Лаго-Наки и в Национальном парке Алания (табл. 5.15) характеризуются значительными вариациями искусственного $^{137}Cs$ и его высокими средними значениями – на порядок выше, чем на плато Шаджатмаз и на пиках Чегет и Терскол (на пиках разброс концентраций радиоцезия тоже высокий, но пробы с активностью данного радионуклида более 100 Бк/кг это единичные случаи, что не оказывает значимого влияния на усредненные данные) (Бураева, 2022б).

Подобные результаты могут быть обусловнены несколькими факторами: с одной стороны особенности географического расположения участков и климатические условия – плато Лагонаки более чем на 200 км западнее (по прямой), чем плато Шаджатмаз – могут способствовать переносу радионуклидов чернобыльского происхождения с воздушными массами. Другим фактором может служить положение конкретных учатков в рельефе – приводящих к значительным латеральным и радиальным миграциям радионуклидов (в особенности, радиоцезия) (Бураева, 2022б).

Также высокая концентрация радиоцезия в почвах может объясняться наличием сухоторфянного горизонта на плато Лагонаки (на плато Шаджатмаз сухоторфянный горизонт менее выражен) (Бураева, 2022б). Торф – может служить достаточно сильным сорбентом. В данных пробах не проводили разделение почвы на генетические горизонты. Ниже представлены результаты радионуклидного анализа горизонтов At и Ad в горно-луговых почвах плато Лаго-Наки (Бураева, 2022б).

Таблица 5.16 – Удельная активность радионуклидов в горизонтах At и Ad в горно-луговых почвах плато Лаго-Наки (Бураева, 2022б)

| Год | Горизонт | Глубина, см | Удельная активность ± Погрешность, Бк/кг | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $^{137}$Cs | $^{226}$Ra | $^{232}$Th | $^{40}$K |
| 2010 | At | 0-3 | 378,3±42,3 | 19,0±5,6 | 18,3±6,6 | 727±202 |
| | Ad | 3-12 | 27,4±8,5 | 21,8±7,3 | 16,9±5,4 | 496±235 |
| 2011 | At | 0-3 | 160,2±23,6 | 40,0±10,5 | 41,0±10,6 | 1855±365 |
| | Ad | 3-12 | 21,3±7,4 | 22,9±7,3 | 41,9±10,6 | 440±124 |
| 2012 | At | 0-3 | 147,2±45,6 | 15,0±4,2 | 23,0±7,5 | 311±103 |
| | Ad | 3-12 | 47,3±10,2 | 11,7±4,4 | 27,6±7,9 | 190±68 |
| 2013 | At | 0-3 | 122,9±36,6 | 22,0±7,2 | 30,2±8,6 | 655±146 |
| | Ad | 3-12 | 44,0±10,4 | 16,7±4,3 | 35,0±9,0 | 421±120 |

Как видно из табл. 5.16 – удельные активности $^{226}$Ra и $^{232}$Th в горизонтах At и Ad согласуются в пределах погрешности определения. При этом различия в концентрациях радиоцезия и биогенного $^{40}$К в данных горизонтах могут достигать порядка и более в отдельные годы (Бураева, 2022б). С одной стороны – сухоторфянный горизонт является преградой на пути поступления различных поллютантов в почвы, с другой стороны способность накапливать и удерживать радионуклиды горизонтом At привело к тому, что концентрация радиоцезия в дерновом горизонте достаточно низкая. Не исключено и наличие цезиевого пятна в пределах контрольного участка ЛН на плато Лаго-Наки, которое могло сформироваться в результате выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС (Атлас, 1998; Атлас, 2009).

Также не стоит исключать и климатические условия на контрольных площадках в период отбора почвенных проб – это является и важным фактором,

объясняющим ежегодные вариации радионуклидов в верхнем почвенном слое (Бураева, 2022б).

**Анализируя и обобщая особенности распределения удельной активности в верхнем слое почвы в регионах Юга Европейской части России, можно сделать следующие выводы**:

– Фоновая удельная активность естественных радионуклидов в верхнем (0-10 см) слое почвы на территории Ростовской области в среднем составляет 26,9±9,8 Бк/кг, 27,0±7,8 Бк/кг и 403,7±127,8 Бк/кг для $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K соответственно; в почвах горных районов Адыгеи (на примере Майкопского района) – 25,0±6,8 Бк/кг, 30,3±8,8 и 425,1±114,0 для $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K соответственно. Данная удельная активность естественных радионуклидов слабо дифференцируется в зависимости от ландшафтно-геохимических условий и почвообразующих пород.

– 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 (на примере Майкопского района Республики Адыгея) 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. При этом удельная активность естественных радионуклидов в почвах высокогорных районах обусловлена геологическим строением территорий – распространены в качестве почвообразующих, породы с самым различным радионуклидным составом – от достаточно высоко радиоактивных гранитов в Национальном парке Алания, до низкоактивных известняков на плато Лагонаки и плато Шаджатмаз. Широкие вариации ЕРН в данных почвах могут быть обусловлены включением мелкого обломочного материала горных пород – практически все почвы достаточно каменистые.

– В силу неравномерного выпадения искусственного $^{137}$Cs в регионах Северного Кавказа не целесообразно устанавливать фоновые (усредненные) значения удельной активности данного радионуклида. При этом медианные

удельные активности радиоцезия в верхнем (0–10 см) почвенном слое составляют 14,2 Бк/кг и 32,4 Бк/кг для Ростовской области и Республики Адыгея соответственно. Сложный рельеф приводит к перераспределению радиоцезия в почвах с его накоплением (переотложением) в понижениях рельефа.

– Степень урбанизации не оказывает значимого влияния на удельную активность естественных радионуклидов в почвах. При этом в отдельных образцах фиксируются двух и более кратные отклонения удельной активности ЕРН от средних значений по региону. Это обусловлено наличием локальных техногенных источников ЕРН в почвы, требует дополнительных детальных исследований и, в данный момент времени, не носит массового характера.

# ГЛАВА 6. РАДИАЛЬНОЕ И ЛАТЕРАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ С УЧЕТОМ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

## *6.1. Профили распределения радионуклидов в различных типах почв*

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

Радионуклиды естественного и искусственного происхождения, попавшие в почву, включаются в различные биологические циклы. И, после поступления (например, по корневой системе) в растения по пищевым цепочкам способны изменять (увеличивать) дозовые нагрузки от природных и техногенных радиоактивных элементов на население. Вертикальное распределение радионуклидов в почвах позволяет установить особенности и скорость миграции радионуклидов по глубине почвенного профиля, степень сорбции радионуклидов в различных почвенных горизонтах и доступность радионуклидов растениям (Апарин и др., 2017; Арастович, 2004; Белова и др., 2009; Бобренко и др., 2020). Среди таких радионуклидов особое внимание уделяется искусственному радиоцезию, поступавшему в окружающую среду в результате глобальных и Чернобыльских выпадений (Атлас, 1998; Атлас, 2009).

Несмотря на то, что Юг Европейской части России в значительной степени не затронули масштабные чернобыльские выпадения искусственных радионуклидов, все же в регионах в почвах могут встречаться (и встречаются) отдельные пятна и полосы данных поллютантов (Атлас, 1998; Атлас, 2009).

Также понимание особенности распределения радиоцезия в почвах в дальнейшем может позволить решать модельные и практические задачи, связанные с оценкой эрозии почв (Collins et al., 2001; Chappell & Warren, 2003; Li et al., 2010; Parsons & Foster, 2011; Feng et al., 2016; Alewell et al., 2017; Nie et al., 2018; Chen et al., 2019; Гусаров и Шарифуллин, 2019; Federico et al., 2020; Gaspar et al., 2021).

Примеры профилей распределения $^{137}$Cs в различных почвах степных территорий и горных территорий Северного Кавказа представлены ниже. Использованы данные экспедиций по Ростовской области (зона наблюдения Ростовской АЭС и природно-техногенная территория Новочеркасской ГРЭС в 2012—2013 годах, по Республике Адыгея в 2014-2015 годах, по Республике Карачаево-Черкесская в 2021 году и по особо охраняемым природным территориям

Ростовской области в 2012-2014 годах. Данные по удельной активности радиоцезия в почвах юга Европейской части России оформлены в виде баз[32] данных (Приложение 1, п. П1.2) и представлены циклом коллективных публикаций (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и

[32] **Удельная активность $^{137}$Cs в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС на период с 2000 по 2008 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620268 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Данилова А.А., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Давыденко А.М.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621819; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 12.02.15.

**Удельная активность $^{137}$Cs в почвах Ростовской АЭС с 2010 по 2014 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 20156214720 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Малышевский В.С., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621005; заявл. 27.07.15; дата гос. рег. 24.09.15.

**Удельная активность $^{137}$Cs в почвах 30-ти километровой зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621505 РФ /Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Нефедов В.С., Кубрина В.К., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621223; заявл. 31.10.2017 г.; дата гос. рег. 19.12.2017 г.

**Удельная активность радионуклидов в почвах природно-техногенной зоны Новочеркасской ГРЭС**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620307 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Данилова А.А., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Давыденко А.М.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621812; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 17.02.15.

**Удельная активность радионуклидов в почвах природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621454 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Савин И.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621148; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 11.12.2017 г.

**Удельная активность радионуклидов в почвах и растениях г. Новочеркасска Ростовской области в 2019-2020 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021621891 РФ / Бураева Е.А., Горбунов А.С., Дергачева А.В., Джура К.О., Ляхова Н.В., Топорков Н.В., Швецова Д.А., Михайлова Т.А.; заявка № 2021621820; заявл. 03.09.2021 г.; дата гос. рег. 06.09.2021 г.

**Удельная активность $^{137}$Cs в почвах на территории Ростовской области в 2012-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621437 РФ /Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621137; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 07.12.2017 г.

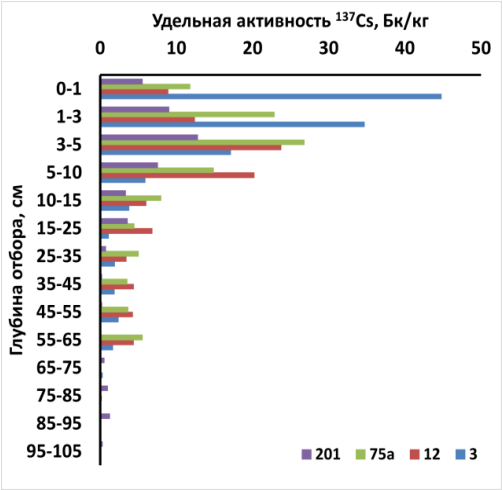
**Удельная активность радионуклидов в почвах территории Ботанического сада Южного федерального университета в 2013-2014 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621445 РФ / Барахов А.В., Бураева Е. А., Гончарова Л.Ю., Гордиенко С.Г., Дергачева Е. В., Заруднев А.А., Кубрина В.К., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621175; заявл.31.08.2016; дата гос. рег. 26.10.2016.

**Удельная активность радионуклидов в почвах особо охраняемых природных территорий Ростовской области в 2012-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021621938 РФ / Бураева Е.А., Горбунов А.С., Дергачева А.В., Джура К.О., Ляхова Н.В., Топорков Н.В., Швецова Д.А., Михайлова Т.А.; заявка № 2021621847; заявл. 08.09.2021 г.; дата гос. рег. 10.09.2021 г.

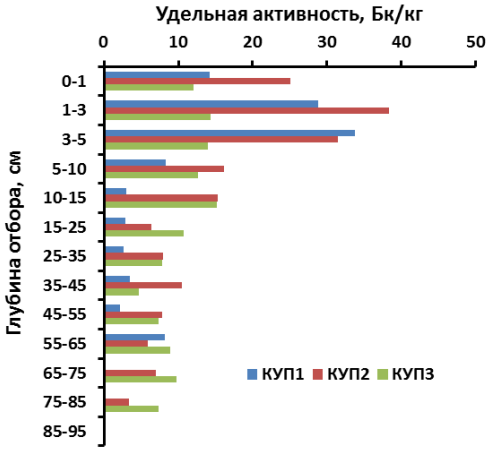
**Удельная активность $^{137}$Cs в почвах Республики Адыгея в 2010-2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621447 РФ / Бураева Е. А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е. В., Заруднев А.А., Кубрина В.К., Москалев Н.Н., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621174; заявл.31.08.2016; дата гос. рег. 27.10.2014.

**Удельная активность $^{137}$Cs в почвах Республики Адыгея в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621504 РФ / Бураева Е.А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621222; заявл. 31.10.2017 г.; дата гос. рег. 19.12.2017 г.

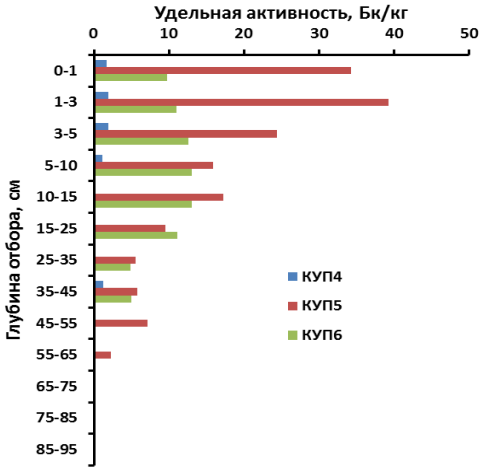
др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Швецова и др., 2021; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и Бураева, 2021а; Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023; Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).



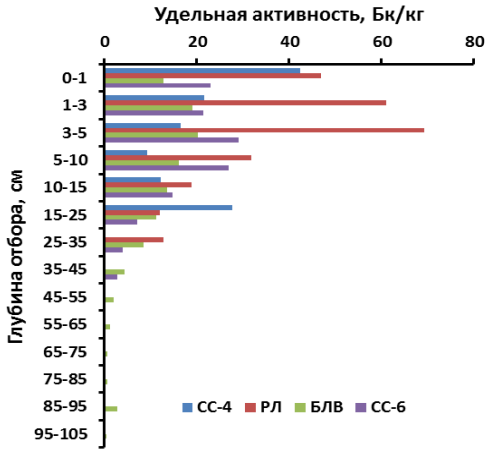

201 Аллювиально-луговая, 12 Лугово-каштановая, 3 Темно-каштановая, 75а Каштановая почва



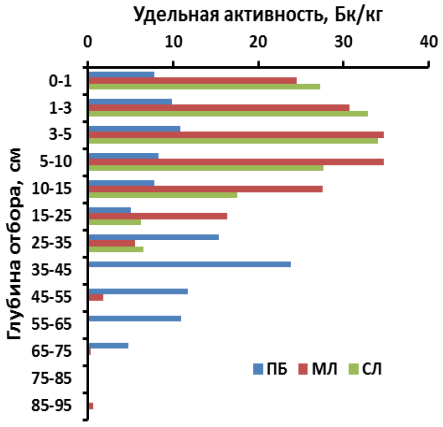

КУП 1 Чернозем намытый маломощный, КУП2 Чернозем обыкновенный карбонатный, КУП3 Лугово-черноземная почва



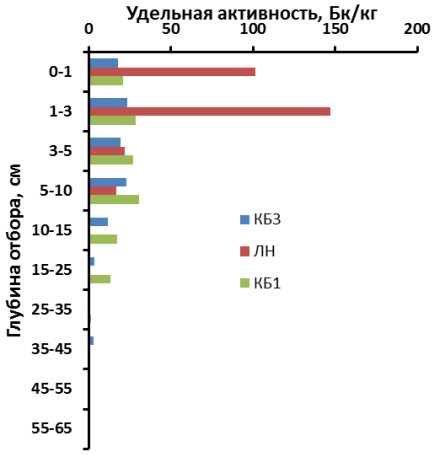

КУП4 Солончак луговой корковый, КУП5 Аллювиально-луговая тяжелосуглинистая, КУП6 Лугово-болотная почва




СС-4 Бурая лесная неполноразвитая, РЛ Ранкер лесной, БЛВ Бурая лесная многогумусная, СС-6 Дерново-аллювиальная тяжелосуглинистая




ПБ Дерново-аллювиальная песчаная, МЛ Луговая глеевая, СЛ Луговая почва




КБ1, КБ3 Субальпийская горно-луговая, ЛН Альпийская горно-луговая

Рисунок 6.1 – Профили распределения $^{137}Cs$ в почвах Северного Кавказа

Все исследованные профили распределения $^{137}Cs$ в почвах степных и горных территорий можно условно разделить на два типа (Buraeva et al., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б):

Первый тип – «диффузионный» – с максимумом удельной активности (А, Бк/кг) $^{137}Cs$ в верхнем слое почвы (0–1 см или горизонте Ad) и резким снижением его содержания с глубиной (h, см) (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Buraeva et al., 2015). Типичный пример такого профиля распределения представлен на рис. 6.1 – КУ 3.

Второй тип профилей $^{137}Cs$ – «промывной» – отличается смещением максимума удельной активности цезия в глубь, в отдельных случаях имеет место два максимума A(h) данного радионуклида в почвенном профиле на различных глубинах (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Buraeva et al., 2015). В таких профилях, как правило, $^{137}Cs$ регистрируется на глубинах h>35 см.

Достаточно резкое, экспоненциальное снижение удельной активности $^{137}Cs$ также характерно для почв Венгрии (Szabó at al, 2012), Швеции (Rosén et al., 1999), лесных почв Франции (Rezzoug et al., 2006), Польши (Chibowski & Zygmunt, 2002), Испании (Legarda et al., 2011) и полузасушливых районов юго-востока Нигера (Chappell, 1999).

Профили распределения удельной активности $^{137}Cs$ «промывного» типа формировались во влажных луговых почвах, в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС (Schimmack & Schultz, 2006). Авторы связывают трансформацию профилей распределения $^{137}Cs$ в почвах, как с особенностями почвенных слоев, сорбцией органической составляющей, так и с количеством выпавших осадков, способствующих проникновению $^{137}Cs$ вглубь почвы (Schimmack & Schultz, 2006). Размытые «промывные» профили распределения удельной активности $^{137}Cs$ также характерны для обрабатываемых почв – сельскохозяйственных угодий и связаны с перемешиванием почвенных слоев, например, во время вспашки (Martinez et al., 2010; Gaspar & Navas, 2013). В песчаных аллювиальных почвах низкие сорбционные свойства песка также способствуют промыванию $^{137}Cs$ вглубь почвенного профиля (Forsberg & Strandmark, 2001).

В большинстве изученных нами вертикальных профилей существенный запас $^{137}Cs$ приходится на дерновый горизонт, причем на верхние 1–4 см, затем вниз по профилю наблюдается довольно резкое (часто экспоненциальное) снижение его удельной активности. В черноземах и каштановых почвах это связано с тем, что в дерновом горизонте имеет место максимум содержания гумуса, который способствует удержанию $^{137}Cs$ в данном почвенном слое (Cremers et al., 1988; Санжарова и др, 1996). А также с непромывным типом водного режима.

В солончаке максимум удельной активности $^{137}Cs$ приходится на солевую корку, причина образования которой – выпотной водный режим (испарение влаги, поступающей от грунтовых вод, превышает количество выпавших осадков) (Безуглова и Хырхырова, 2008; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Buraeva et al., 2015). Вероятно, именно превалирование восходящих токов влаги при выпотном режиме определяет и характер накопления цезия – резкое убывание удельной активности радиоцезия вниз по профилю с трехкратным превышением в солевой корочке по сравнению с нижележащей 10-сантиметровой толщей. Здесь можно говорить о своего рода геохимическом барьере, который способствует удержанию $^{137}Cs$ (Безуглова и Хырхырова, 2008; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Buraeva et al., 2015).

В солонцовых почвах степной территории максимум $^{137}Cs$ также сосредоточен в верхнем слое почв и его содержание резко уменьшается по профилю (Безуглова и Хырхырова, 2008; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Buraeva et al., 2015). Но здесь причина такого распределения иная. Глубокие солонцы характеризуются залеганием солонцового горизонта глубже 18 см, здесь отмечается максимальное скопление коллоидов, насыщенных поглощенным натрием, способствующих развитию очень высокой плотности этого горизонта, и препятствующих проникновению влаги в более глубокие слои (Lebedeva et al., 2009; (Безуглова и Хырхырова, 2008; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Buraeva et al., 2015). Именно поэтому ниже этого горизонта $^{137}Cs$ не обнаруживается. В поверхностном гумусово-аккумулятивном горизонте его накопление обусловлено хемосорбцией гуминовых соединений (Безуглова и Хырхырова, 2008; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Buraeva et al., 2015; Санжарова и др., 1996).

Таким образом, профильное распределение удельной активности $^{137}Cs$ обусловлено не только физико-химическими свойствами почвы (гранулометрический состав, содержание гумуса, величина pH и др.), но и природно-климатическими условиями и типом водного режима. Миграция радионуклидов в почве происходит благодаря совокупности разных процессов, которые приводят или к перемещению радионуклидов в профиле почвы, или к образованию разных форм связи радионуклидов с почвенными органическими или

минеральными компонентами, и их накоплению в слое максимального скопления сорбирующего материала (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Buraeva et al., 2015).

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

В данной работе основной внимание уделялось оценке изменений профилей распределения радиоцезия в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС как потенциальному источнику радиоцезия и других искусственных радионуклидов в окружающей среде. Также интерес представляют профили распределения радиоцезия на территориях со сложным рельефом, обусловленные значительной миграцией радионуклида по склоновым территориям с возможным его накоплением в понижениях рельефа. В работе изменение профилей распределения радиоцезия в почвах горных территорий представлено на примере Майкопского района Республики Адыгея. В Республике Адыгея отсутствуют предприятия ядерной топливной энергетики и весь радиоцезий, фиксируемый в объектах окружающей среды, глобального и/или чернобыльского происхождения (Атлас, 1998; Атлас, 2009). При этом стоит учитывать, что возможен трансграничный перенос поллютантов (в том числе и радионуклидов) в отдаленные после аварий периоды, что может способствовать накоплению радиоцезия в почвах (и других компонентах экосферы).

***Изменение $^{137}Cs$ в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС.*** Ниже представлены особенности изменений профилей распределения радиоцезия в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС. Использовались результаты экспедиций 2000–2013 гг. в Волгодонский, Дубовский и Цимлянский районы Ростовской области, входящие в зону наблюдения Ростовской АЭС. Для интерпретации изменения профилей распределения удельной активности $^{137}Cs$ в почвах региона исследования использовали данные по средней, за летние месяцы, температуре воздуха (T, $^{o}C$) и суммарному количеству осадков (H, мм) за этот же период. Результаты оценки профилей распределения радиоцезия на данных КУ отражены в коллективных работах автора (Аветисян и др., 2015; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Бакаева и др., 2011; Бобылев и Бураева, 2020; Бобылев и

Бураева, 2021а; Бобылев и Бураева, 2021б; Бобылев и др., 2021; Бобылев и др., 2022; Болдарев и др., 2015; Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2006а; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010а; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Лущик и др., 2007; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Пронина и др., 2019; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

Таблица 6.1 – Средняя температура воздуха и суммарное количество осадков за летний период в зоне наблюдения Ростовской АЭС

| Год | 2000 | 2002 | 2003 | 2004 | 2006 | 2007 | 2008 | 2011 | 2012 | 2013 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Т, ºС | 22,7 | 25,2 | 20,4 | 20,4 | 23,6 | 25,5 | 23,5 | 23,9 | 22,1 | 22,3 |
| Н, мм | 63 | 52 | 65 | 103 | 78 | 31 | 35 | 67 | 34 | 35 |

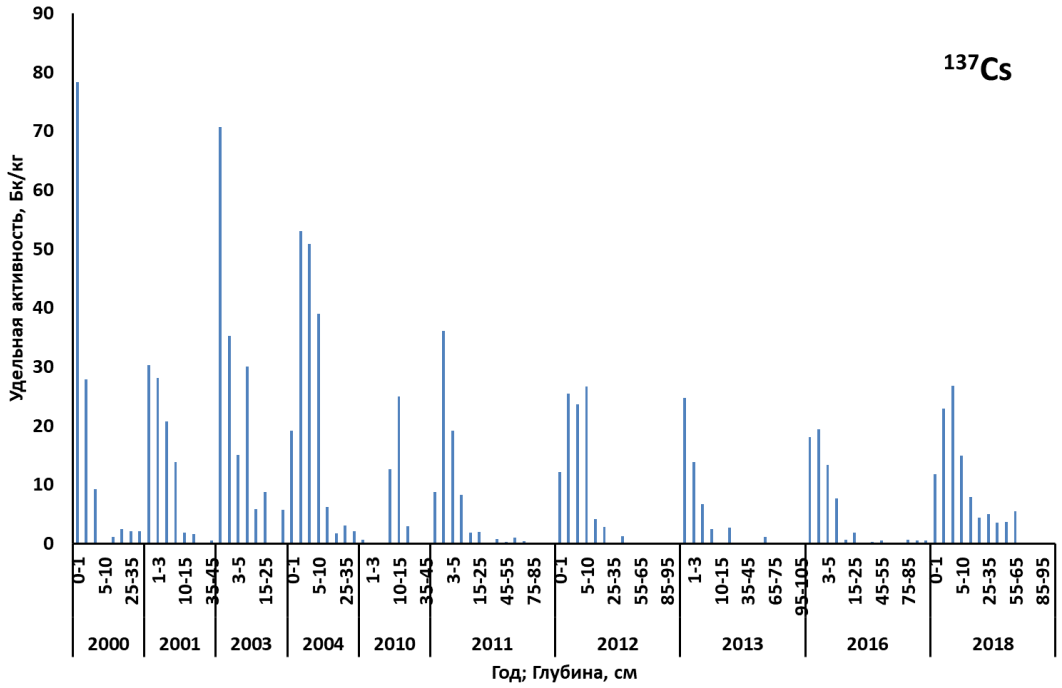



Рисунок 6.2 – Изменение удельной активности $^{137}Cs$ на КУ 75а, почвы каштановые солонцеватые (sodic Kastanozems)

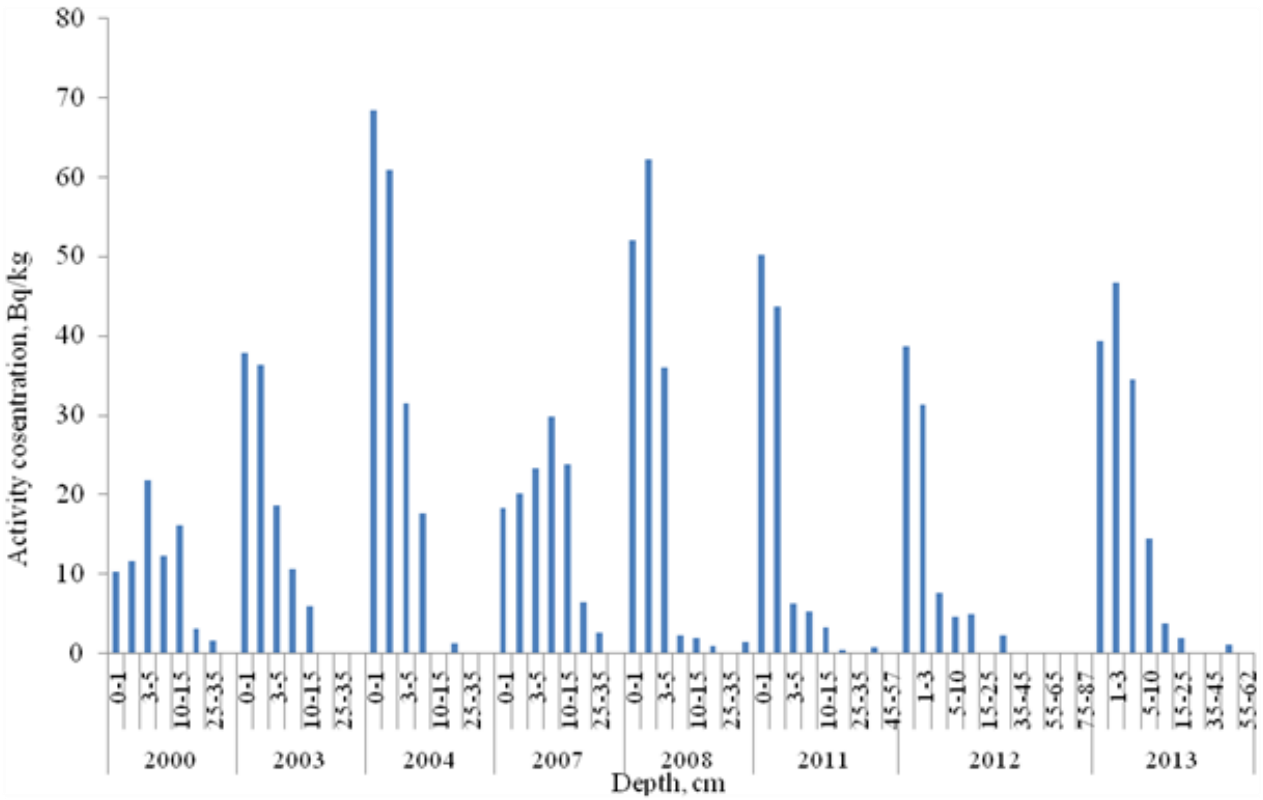



Рисунок 6.3 – Изменение удельной активности $^{137}Cs$ на КУ 3, почвы темно-каштановые солонцеватые (sodic Kastanozems)

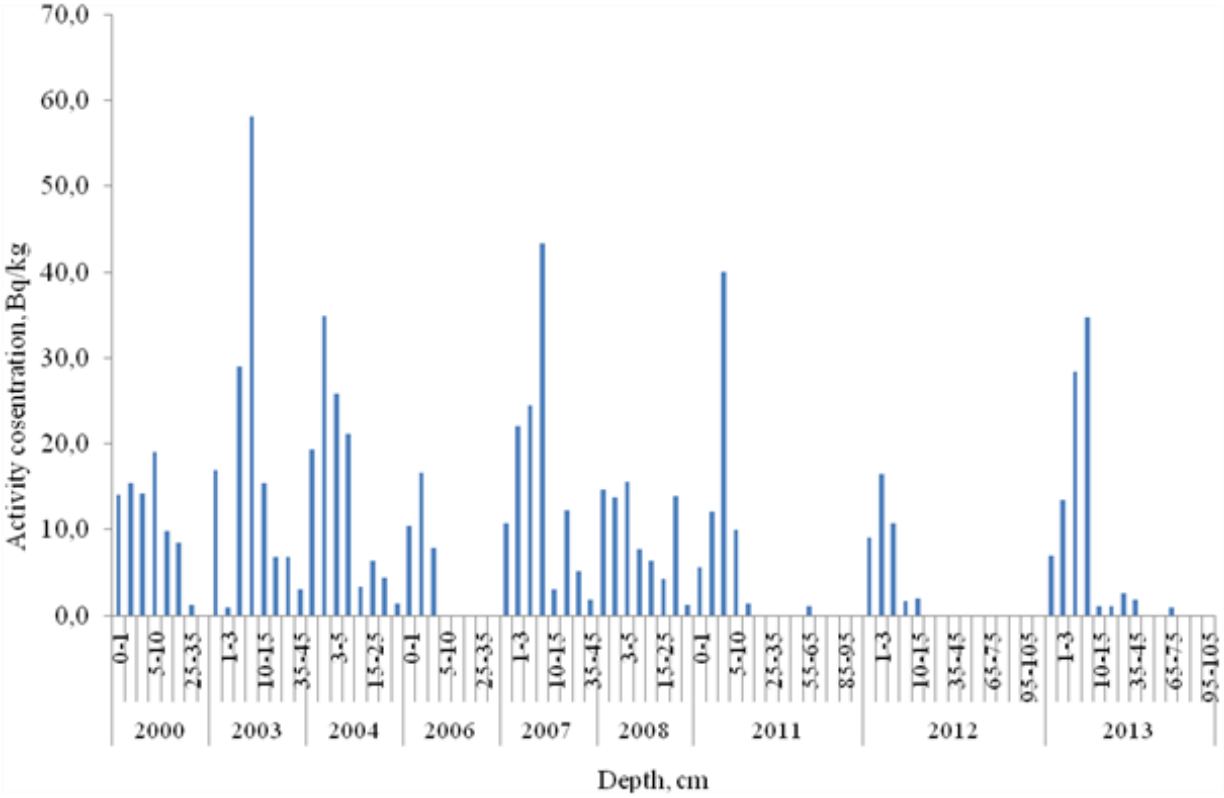



Рисунок 6.4 – Изменение удельной активности $^{137}Cs$ на КУ 12, почвы лугово-каштановые (gypsic calcic Phaeozem)

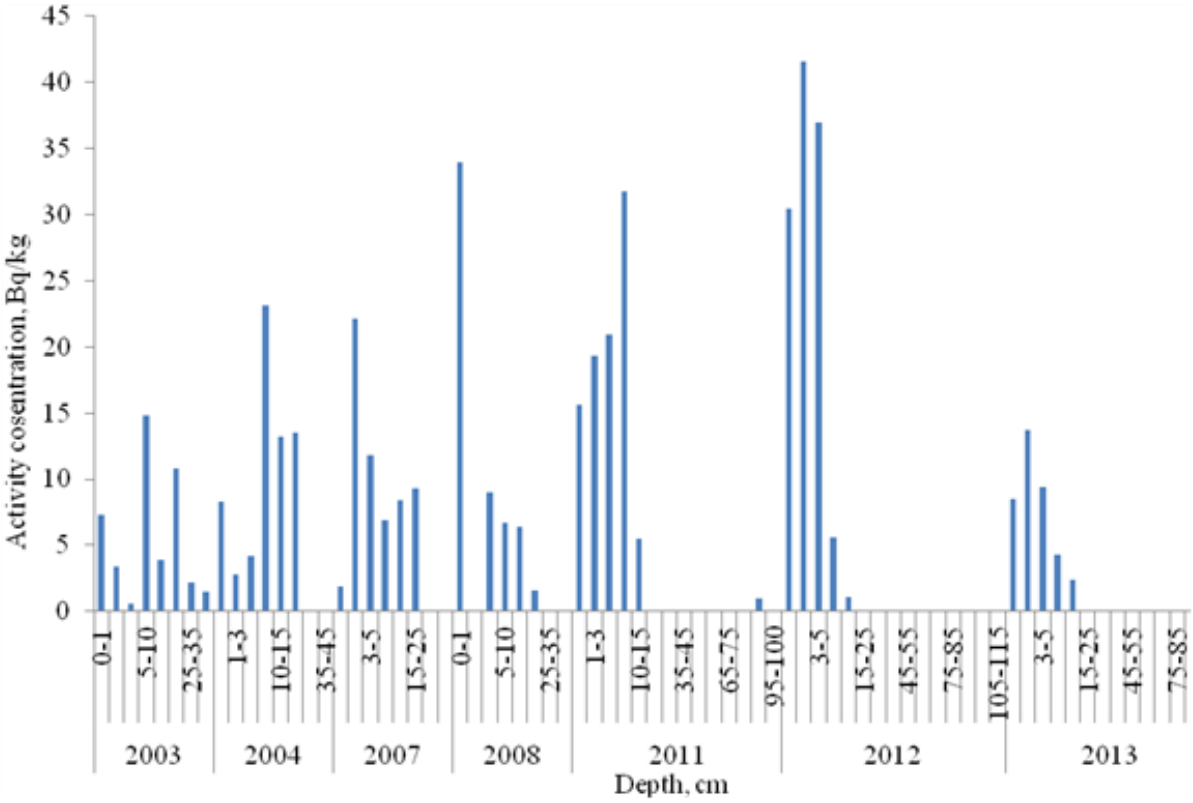



Рисунок 6.5 – Изменение удельной активности $^{137}Cs$ на КУ 201, почвы аллювиально-луговые на аллювиальных отложениях (Fluvisols)

Динамика температуры за период 2000—2013 годы, средней за летний период (Таблица 6.1) незначительная, в пределах 2 ºС, причем количество осадков за данный период варьирует до трех раз. Авторы (Rosén et al., 1999; Isaksson et al., 2001) в длительных исследованиях отмечают снижение удельной активности $^{137}Cs$ в верхних почвенных слоях (0-3 см) и накопление в более глубоких горизонтах, связанных с миграцией данного радионуклида по вертикали за счет собственной диффузии и конвективного переноса с просачивающейся влагой осадков.

Динамика распределения цезия в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС за период исследования достаточно сложная. В темно-каштановых и каштановых почвах (рис. 6.2 и 6.3) профили распределения цезия «диффузионного» типа – т.е. преобладает диффузионный перенос радионуклида. Профили цезия в лугово-каштановых (рис. 6.4) и аллювиальных почвах (рис. 6.5) – в основном, «промывного»/»конвективного» типа: преобладает конвективный перенос этого радионуклида. При этом, со временем, под влиянием, в том числе и климатических факторов, происходит трансформация «диффузионного» профиля радиоцезия в

«промывной» и наоборот (Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

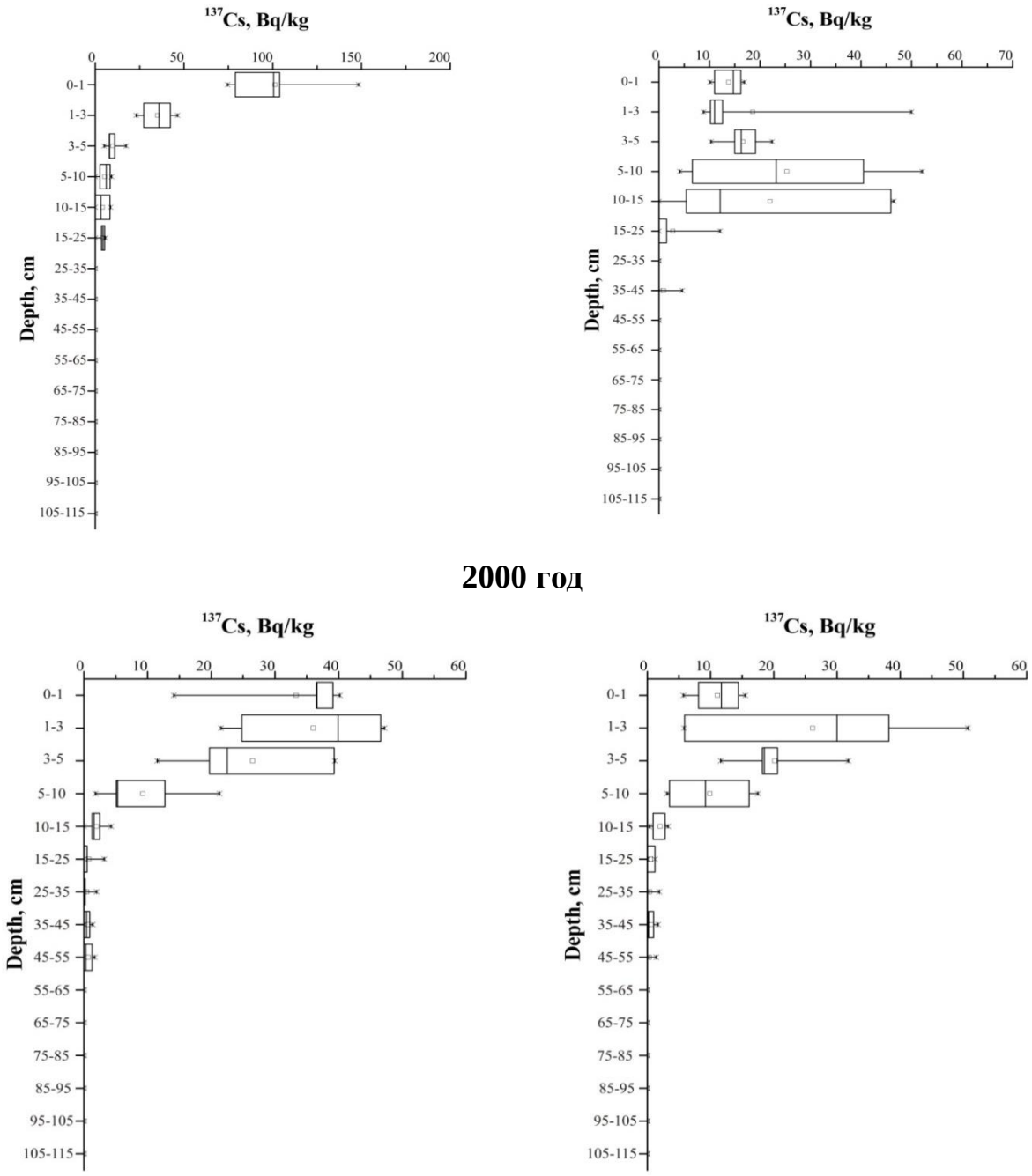
Для Ростовской области в целом и, в особенности для полусухих степей, характерно чередование длительных засушливых периодов с обильными кратковременными осадками. В период засухи почвы (преимущественно тяжелосуглинистого гранулометрического состава) начинают пылить, растрескиваться. В результате подобных процессов радиоцезий из верхних почвенных слоев может попадать в глубокие горизонты вместе с частицами почвы. Обильные ливни способствуют стремительному промыванию данного водорастворимого радионуклида вглубь почвенного профиля. Последующий засушливый временной отрезок приводит к тому, что за счет, например капиллярных эффектов, связанных с градиентом температуры почвы, восходящие потоки влаги начинают «поднимать» радиоцезий в верхние горизонты почвы (Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

Стоит отметить, что до 2006-2008 годов $^{137}Cs$ на глубине свыше 35 см фиксировался только во влажных луговых, лугово-черноземных, аллювиальных почвах, в солонцах. И основные запасы радиоцезия были сосредоточены в слое 0-15 см – 0-25 см для разных почв. В настоящее время $^{137}Cs$ фиксируется (не только в следовых количествах на пределе определения гамма-спектрометра) уже на глубине свыше 50 см и глубже (Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010;

Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

В целом, вертикальное распределение $^{137}Cs$ может определяться различными причинами: турбацией мелкозема после засухи по трещинам во время летних ливней, различной степенью солонцеватости переходного горизонта, значительным развитием микрорельефа, обеспечивающим перераспределение выпавших осадков и др. (Прохоров, 1981). Поэтому, полученные впервые результаты по вертикальному распределению $^{137}Cs$ в почвах сухой степи в условиях непромывного водного режима представляют большой интерес (Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

Стоит отметить, что развитый микрорельеф территорий зоны наблюдения Ростовской АЭС приводит к вариациям радионуклидов в пределах контрольного участка площадью 10х10м.




КУ 75а Каштановые почвы КУ 12 Лугово-каштановые почвы

Рисунок 6.6 – Вариации $^{137}Cs$ в пределах контрольного участка (Buraeva et al., 2015)

В пределах контрольного участка колебания удельной активности радиоцезия составляют от двух до десяти и более раз (рис. 6.6), обусловленные развитым микрорельефом местности.

В целом, в Ростовской области загрязнение почв искусственным радионуклидом $^{137}Cs$ в результате аварии на Чернобыльской АЭС составляет в

среднем 0,1–0,5 Ки/км$^2$ (1–18 кБк/м$^2$) и не превышает 0,9 Ки/км$^2$ (ниже 33 кБк/м$^2$) в шлейфах загрязнения (Атлас, 1998; Атлас, 2009).

Содержание $^{137}$Cs в верхнем 0–5-сантиметровом слое почвы природных и агроландшафтов контрольных площадей зоны наблюдения Ростовской АЭС варьирует в пределах 2–156 Бк/кг (до 2,0 кБк/м$^2$); среднее значение по региону 34,0 ± 3,0 Бк/кг (Отчет, 2000; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

Наличие или отсутствие влияния Ростовской АЭС на содержание радиоцезия в почвах может показать оценка суммарного запаса (суммарная удельная активность) данного радионуклида в почвенном профиле. Ниже, в таблице 6.2 представлены запасы данного радионуклида на контрольных участках зоны наблюдения Ростовской АЭС (Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

Таблица 6.2 – Изменение суммарного запаса $^{137}$Cs в почвенных профилях (без учета периода полураспада $^{137}$Cs)

| Год | Суммарная удельная активность W, Бк/м$^2$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | КУ 12 | КУ 3 | КУ 201 | КУ 75а |
| 2000 | 3894 | 3934 | – | 5477 |
| 2003 | 3880 | 3540 | 3791 | 4834 |
| 2004 | 3872 | 3192 | 3726 | 4753 |
| 2007 | 2816 | 3121 | 3631 | 3989 |
| 2008 | 2726 | 3102 | 3468 | – |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2011 | 1958 | 2888 | 3215 | 3507 |
| 2012 | 1902 | 2781 | 2430 | 3408 |
| 2013 | 1704 | 2564 | 1967 | 3375 |
| ***2013**** | ***2250*** | ***2551*** | ***2541*** | ***3551*** |
| 2014 | 1158 | 1647 | 1539 | 1780 |
| 2019 | 964 | 1512 | 1114 | – |

* Суммарный запас $^{137}$Cs, обусловленный только естественным радиоактивным распадом

Суммарную (полную) активность $^{137}$Cs определяли как $W=\sum_{i=1}^{n} h_i A_i \rho_i$, где $h_i$ – высота i-го почвенного слоя (м), варьирует, в зависимости от глубины отбора почвенной пробы от 0,01 до 0,1 м; $A_i$ – удельная активность $^{137}$Cs в i-слое почвы; $\rho_i$ – плотность i-й почвенной пробы (варьирует в пределах от 0,62 до 1,35 г/см$^3$; n – количество проб, отобранных из почвенного разреза) (Бураева и др., 2005а; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

В целом, суммарная (полная активность) данного искусственного радионуклида уменьшается с течением времени в результате естественного распада $^{137}$Cs. И без учета внешних факторов ожидается ее снижение на 40% за 13 лет. Однако, в исследуемых профилях почвы, имеет место уменьшение полной активности $^{137}$Cs в 1,5-2,0 раза.

Такие профили, скорее всего, сформированы в результате особых механизмов переноса $^{137}$Cs по почвенному профилю, специфичных для сухого климата и существенного влияния влаги через процессы инфильтрации и кольматажа (Прохоров, 1981). В любом случае скорость переноса $^{137}$Cs увеличивается, особенно резко при кольматаже – после длительного сухого периода почва механически растрескивается и при коротких обильных последующих осадках $^{137}$Cs может быстро проникнуть на значительную глубину. При этом может быть преодолен и естественный барьер для $^{137}$Cs – солонцеватый горизонт, мощностью 10–15 см. В

обычных условиях из-за значительной плотности и низкой водонепроницаемости, обусловленной ионами Na в поглощенном состоянии (Lebedeva et al., 2009), в этом горизонте имеет место усиленная сорбция $^{137}Cs$. Наличие максимума удельной активности радиоцезия на этих глубинах может быть связано с солонцеватостью (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

В сухом климате влияние влаги (атмосферной или грунтовой) может проявиться в виде транспирации (Прохоров, 1981). Перенос $^{137}Cs$ в этом случае осуществляется по капиллярам вверх к поверхности почвенной толщи с последующей эвапотранспирацией, за счет потребления растительностью почвенной влаги (Sanzharova et al., 2005; Mabit et al., 2008; Martinez et al., 2010).

В результате транспирации кривые распределения по профилю $^{137}Cs$ сглаживаются и теряют вид, характерный для чисто «диффузионного» типа миграции. Описанные выше процессы могут качественно объяснить тип изученных профилей распределения $^{137}Cs$ в почвах рассматриваемой зоны. Вероятно, количественное описание по одной из известных моделей (Прохоров, 1981; Schuller et al., 2004; Shinonaga et al., 2005; Schimmack & Feria Marquez, 2006; Almgren & Isaksson, 2006; Matisoff et al., 2011; Nakanishi et al., 2014) возможно только для профилей первого типа с более или менее ярко выраженным «диффузионным» характером (Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

Описанный механизм влияния (конвективный перенос с влагой) на формирование профилей $^{137}Cs$ проявляется на КУ 12 (рис. 6.4) для влажной лугово-каштановой тяжелосуглинистой почвы с близким к поверхности залеганием грунтовых вод. В этом случае содержание $^{137}Cs$ в верхних слоях низкое (~5Бк/кг), первый максимум на глубине 1–3 см выражен очень слабо, а второй (5–15см) – достаточно широкий, и обусловлен он, скорее всего, тем, что влага перехватывается корневыми системами растений, а цезий остается в почве, иными словами причина его формирования – процессы десукции (Прохоров, 1981). На наличие конвективного переноса $^{137}Cs$ с влагой указывает косвенно и размытое строение почвенного профиля (генетические горизонты разделены нечетко). Кроме того, агрохимические свойства почв этого участка (гумус, pH, ГМС) обуславливают относительно низкое поглощение $^{137}Cs$ в поверхностном слое (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и др., 2007б; Бураева и др., 2008; Бураева и др., 2010; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2014б; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Бураева и Безуглова, 2022; Иванков и др., 2017; Иванков и др., 2021а; Иванков и др., 2021б; Иванков и др., 2021в; Кобцева и др., 2008; Кобцева и др., 2010а; Кобцева и др., 2010б; Buraeva et al., 2015; Buraeva et al., 2007b; Buraeva, Bezuglova, 2023; Buraeva et al., 2023).

***Изменение $^{137}Cs$ в почвах территорий со сложным рельефом на примере Майкопского района Республики Адыгея.***

Как показано в ряде работ: «…почвенный покров Северного Кавказа чрезвычайно разнообразен, что обусловлено наличием в пределах региона трех типов географической зональности почв: широтной или горизонтальной, закономерностей, обусловленных теневым эффектом гор Кавказа, и вертикальной зональностью горных систем Кавказа…» (Вальков и др., 2002; Вальков и др., 2008).

Однако в рамках данной работы рассматриваются только горные территории, которые в силу сложности рельефа и климатических различий, также характеризуются весьма пестрым почвенным покровом, тем не менее, подчиняющимся достаточно строгим географическим закономерностям (Аветисян и

др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019)..

Для районов исследований – северных склонов Северо-Западного Кавказа на территории Адыгеи, характерна смешанная зональность, обусловленная изменением увлажнения и температурных условий с альтитудой. Суббореальные условия обеспечивают основные черты зонального типа почв региона исследований – бурой лесной почвы, ареал распространения которой охватывает высокие и средне-высокие горы в пределах 1200—1700 м над уровнем моря (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова

и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019)..

Промывной тип водного режима обуславливает течение таких процессов как выщелачивание и лессиваж. Достаточно теплый климат (сумма положительных температур более 10ºС составляет для воздуха 2500—3160º, для почвы – 2700—3400 ºС (Вальков и др., 2008) сопутствует протеканию оглинивания по сиаллитному типу в средней части профиля, широколиственная буково-грабовая и буково-дубовая растительность обеспечивает накопление гуматно-фульватного гумуса, достигающее 200 т/га. Очень важная с точки зрения предмета данного исследования особенность этих почв – наличие в среднем на глубине 40—70 см мощного уплотненного горизонта текстурной природы. Обогащенность его илистыми частицами (<0,001 мм) способствует формированию высокой сорбционной способности этого слоя (Вальков и др., 2002; Вальков и др., 2008).

В зоне высокогорий и на скалистых обнажениях средне-высоких гор региона исследований почвенный покров представлен неполноразвитыми почвами различного генезиса, основные черты которого определяет состав почвообразующих пород и положение в рельефе (Вальков и др., 2002; Вальков и др., 2008). На кислых горных породах образуются горные примитивные почвы – ранкеры, на карбонатных породах – рендзины, а на горных плато и в котловинах – горно-луговые почвы. Общая черта этих трех типов почв довольно высокое содержание гумуса, обусловленное ведущей ролью в почвообразовании дернового процесса (Вальков и др., 2002; Вальков и др., 2008). Содержание гумуса в этих почвах может достигать 20% и выше, но с глубиной наблюдается резкое снижение гумусированности, а общая мощность гумусового профиля ограничена во всех трех рассматриваемых типах, и в среднем составляет 20—30 см. В ранкерах и горно-луговых почвах накапливается гумус гуматно-фульватного типа, в рендзинах – фульватно-гуматного (Вальков и др., 2002; Вальков и др., 2008).

В поймах горных рек распространены аллювиальные почвы. Развиваются они под луговой растительностью, перемежающейся с древесно-кустарниковыми ассоциациями, что обуславливает специфику их генезиса. Аллювиальные дерновые почвы развиваются в условиях кратковременного переувлажнения паводковыми водами, характеризуются маломощностью и отсутствием следов гидроморфизма в профиле, что обусловлено как особенностями гранулометрического состава, так и приуроченностью к повышенным участкам прирусловой поймы. Легкий гранулометрический состав и наличие в его составе гравийных и каменистых фракций – отличительная черта этих почв (Вальков и др., 2002; Вальков и др., 2008).

На террасах рек развиваются луговые почвы, в генезисе которых существенную роль играют грунтовые воды, зачастую обуславливая развитие глеевого процесса и наличие железистых новообразований в нижней части профиля. Хорошо развитая травянистая растительность обеспечивает гумусообразование по луговому типу с накопление высоких запасов гумуса (Вальков и др., 2002; Вальков и др., 2008)

Ниже представлены примеры изменения удельной активности радиоцезия в некоторых зональных и интразональных почвах Майкопского района Республики Адыгея. Использованы данные экспедиций 2010-2018 годов (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а;

Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019)..

Таблица 6.3 – Примеры средних значений температуры воздуха и количества выпавших осадков за 2010-2013 г.

| Год | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|---|---|---|---|---|
| Т, ºС | 25,0 | 22,7 | 23,1 | 22,3 |
| Н, мм | 13 | 35 | 52 | 123 |

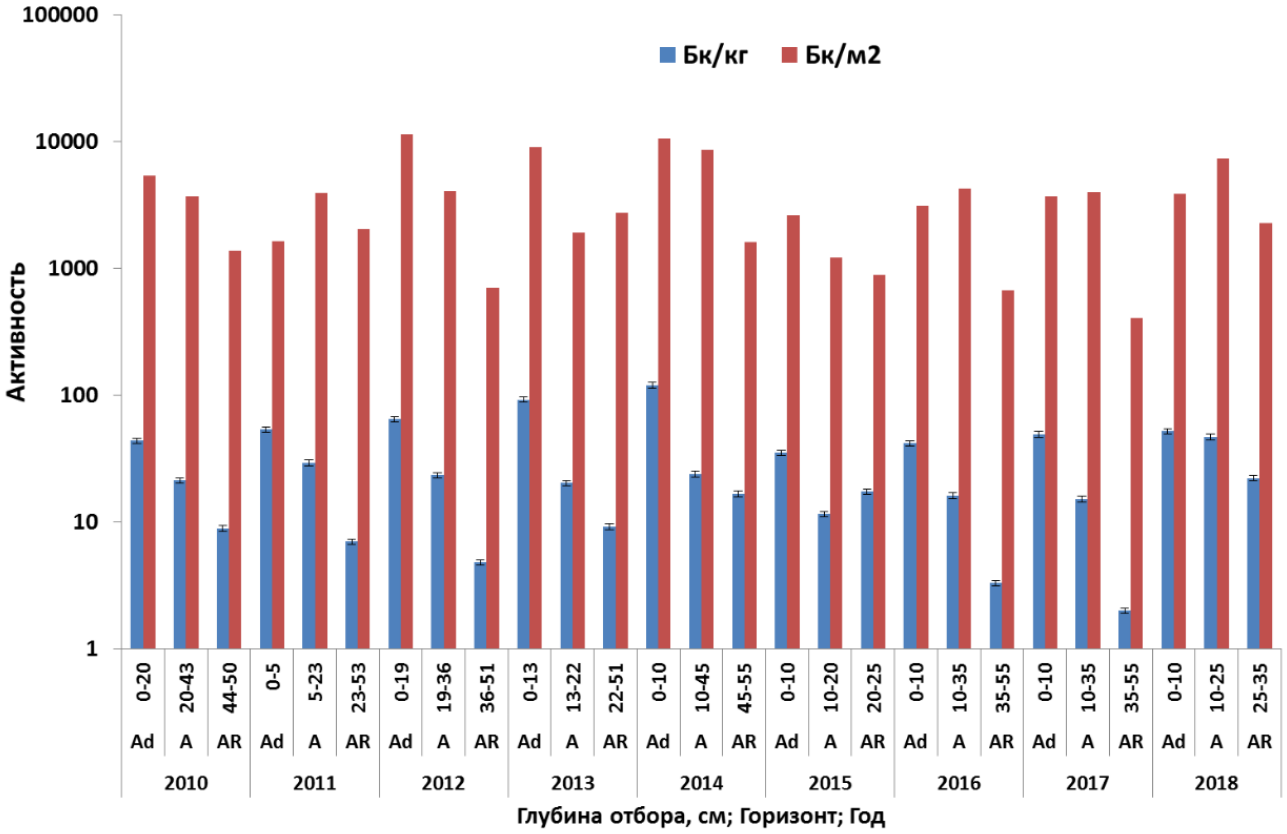



Рисунок 6.7 – Распределение $^{137}Cs$ в почвенных горизонтах на КУ РЛ, почва – дерново-силикатная (ранкер лесной)

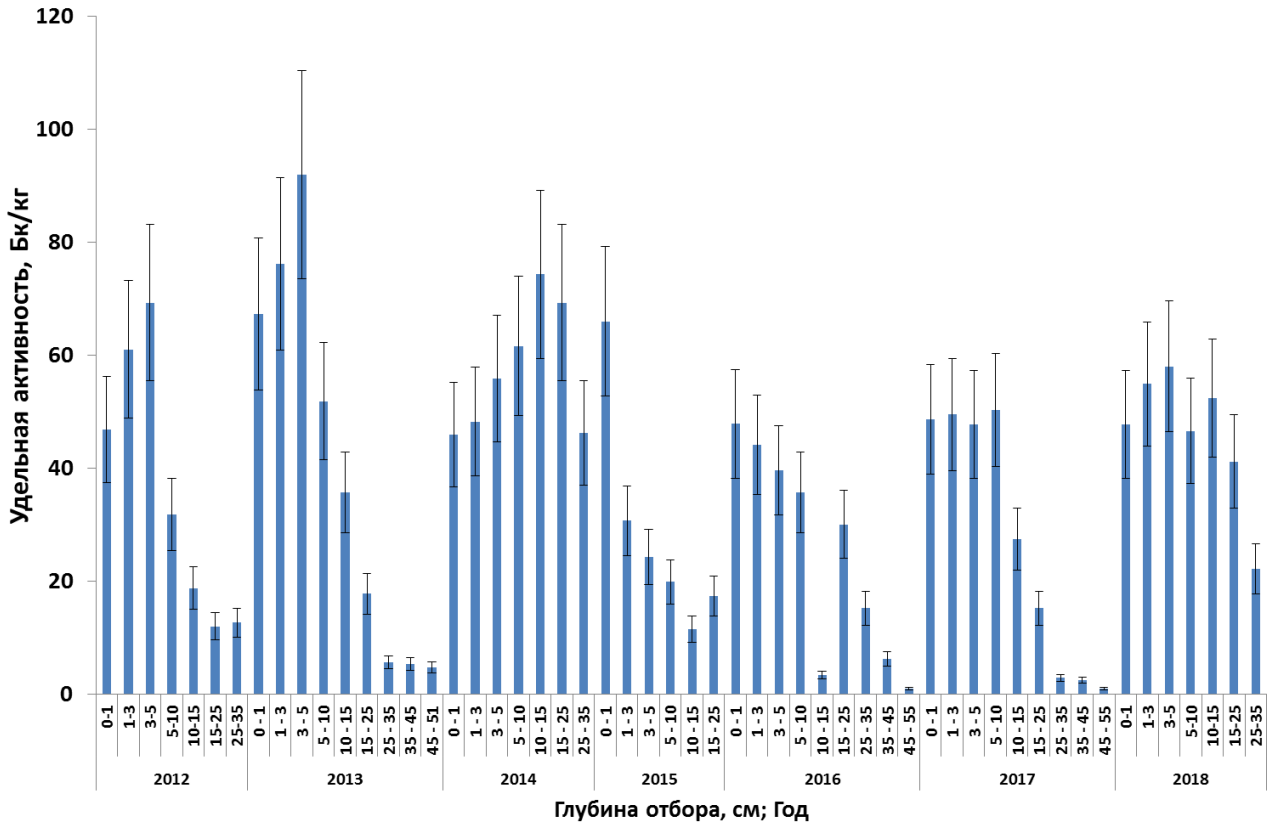



Рисунок 6.8 – Детальное распределение $^{137}Cs$ в почвенных профилях на КУ РЛ, почва – дерново-силикатная (ранкер лесной)

Контрольный участок РЛ расположен на дне гранитного ущелья, что может способствовать миграции цезия не только по почвенному профилю, но и в отдельные годы по склону ущелья с переотложением данного радионуклида в понижениях рельефа. Со временем профиль распределения радиоцезия размывается, максимум его удельной активности смещается с 3-5 см до 10-15 см (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др.,

2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019)..

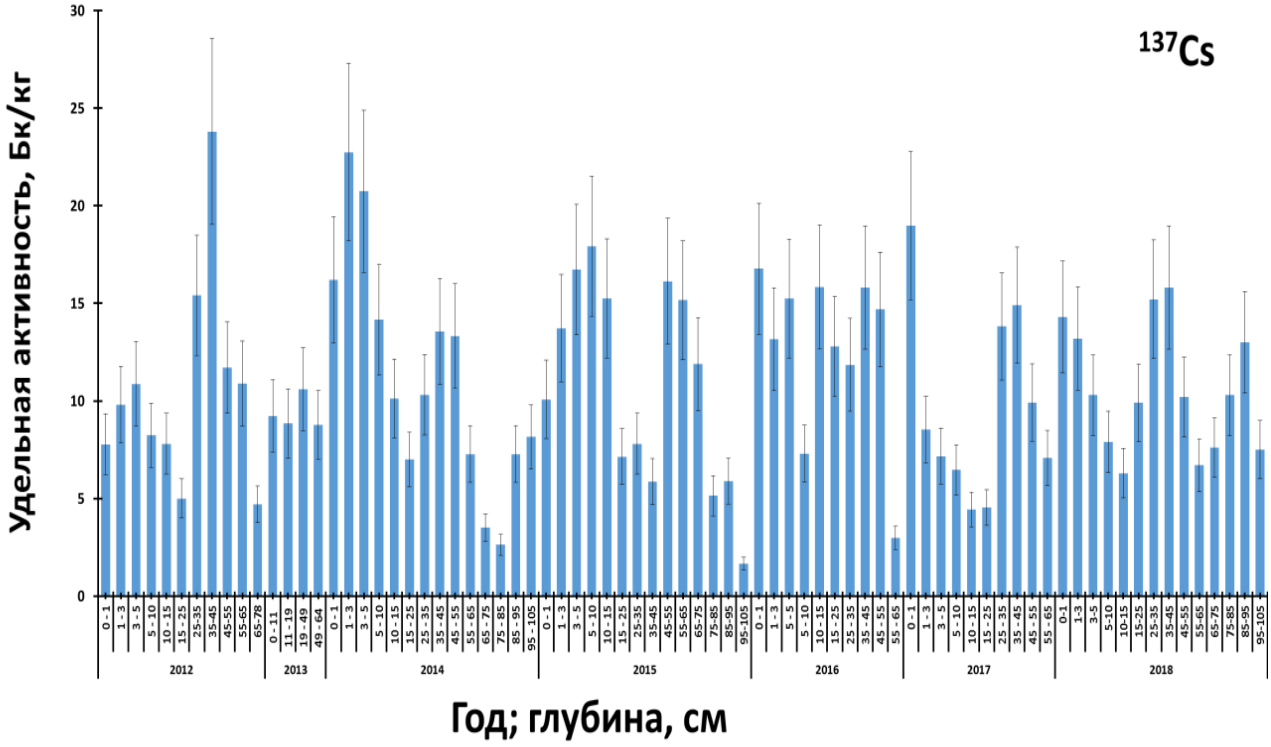



Рисунок 6.9 – Детальное распределение $^{137}Cs$ в почвенных профилях на КУ ПБ, почва – дерново-аллювиальная

На контрольном участке ПБ, расположенном в пойме реки Белая ежегодно фиксируются профили радиоцезия «промывного» типа. Практически ежегодно во всех детальных профилях распределения данного радионуклида фиксируются два максимума – на глубине 3-5 см и глубине свыше 35 см. С учетом скорости аккумуляции осадочного материала в поймах рек (от долей миллиметров до нескольких сантиметров) (Маркелов и др, 2012; Walling and He, 1993; Walling and He, 1992) верхний максимум радиоцезия может быть обусловлен Чернобыльскими выпадениями (1986 год), нижний максимум – глобальными выпадениями в период

массового испытания ядерного оружия (60-е годы XX века). Стоит отметить, что поступление радиоцезия в пойменные почвы может происходить с атмосферными выпадениями, абразионно-обвальными процессами береговой зоны и за счет речных наносов в период паводков.

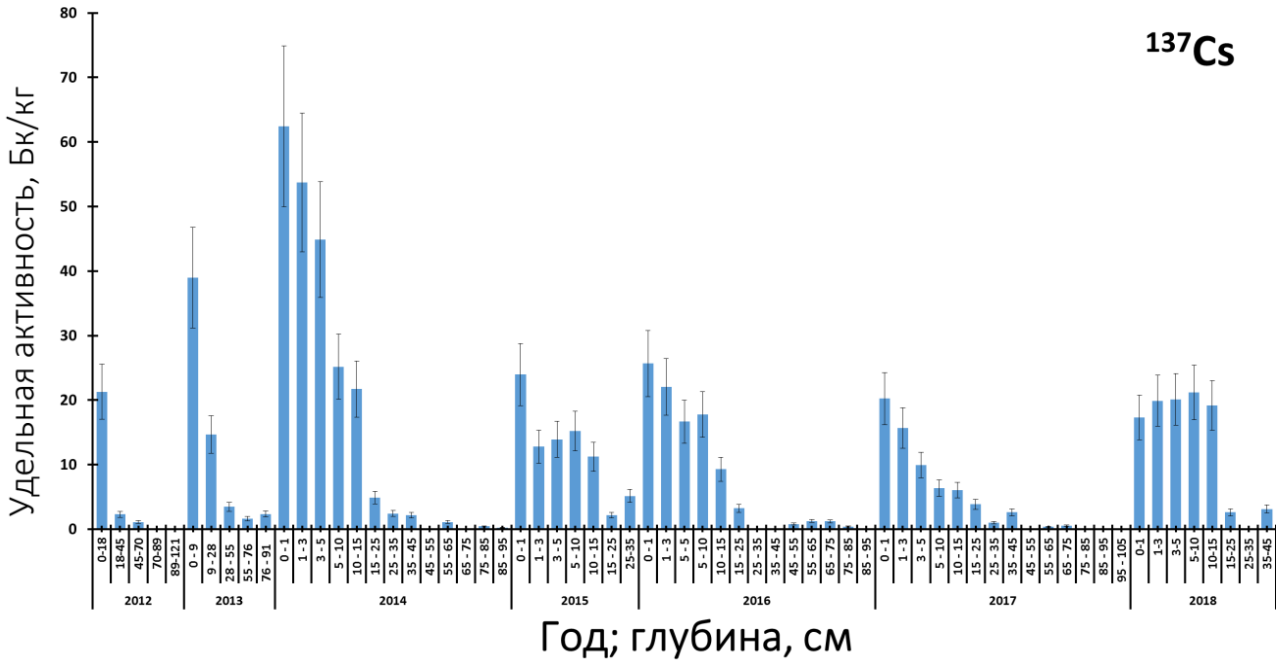



Рисунок 6.10 – Детальное распределение $^{137}Cs$ в почвенных профилях на КУ БЛН, почва – бурая лесная

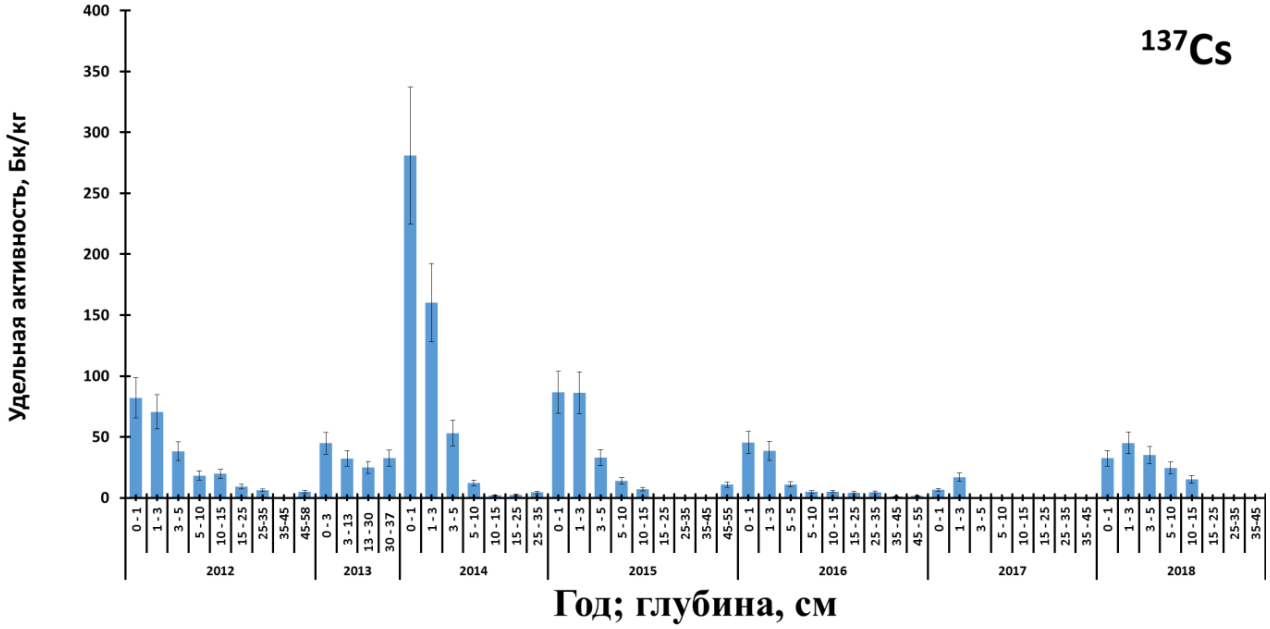



Рисунок 6.11 – Детальное распределение $^{137}Cs$ в почвенных профилях на КУ СС-5, почва – бурая лесная неполноразвитая

Контрольные участки БЛН (рис. 6.10) и СС-5 (рис. 6.11) расположены на модельной площадке, заложенной на склоне в ущелье реки Сюк, причем КУ БЛН – на выровненной площадке в верхней части склона, а СС-5 – в нижней части достаточно крутого склона, в двух метрах выше от зеркала воды.

Нижняя часть склона интенсивно разрушается со временем, в паводковые периоды река Сюк может затапливать и/или размывать КУ СС-5. При этом в данной точке также происходят (в отдельные годы) и процессы накопления радиоцезия за счет смыва почвы по склону. Этим и обусловлена достаточно сложная динамика данного радионуклида со временем.

После 2014 года началось интенсивное разрушение нижней части склона, с 2018 по настоящее время темпы абразионно-обвальных процессов на данной модельной площадке снизились, что способствовало постепенному накоплению радиоцезия в почвенных горизонтах КУ СС-5 (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019)..

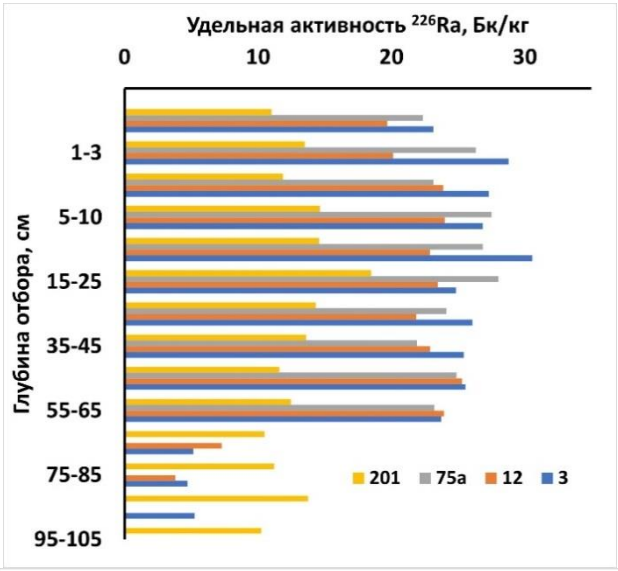
Стоит отметить, что в 2014 году отмечается высокое содержание радиоцезия в верхних почвенных слоях и на КУ БЛН и на КУ СС-5. Это может быть обусловлено совокупным сочетанием климатических и абразионно-обвальным процессов,

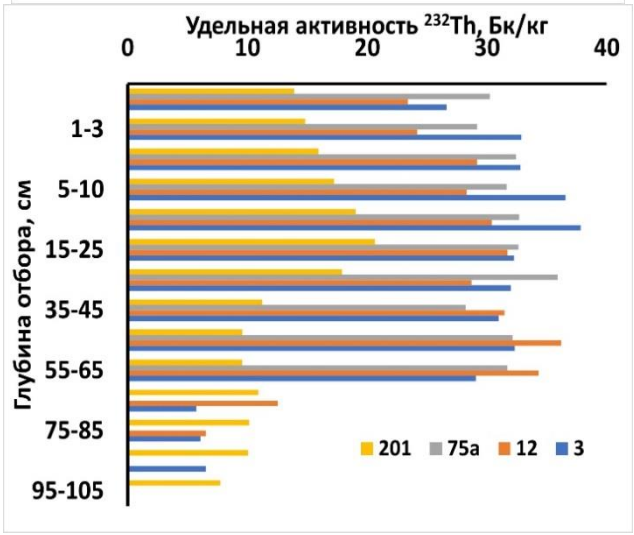
характерных для территорий со сложным рельефом (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

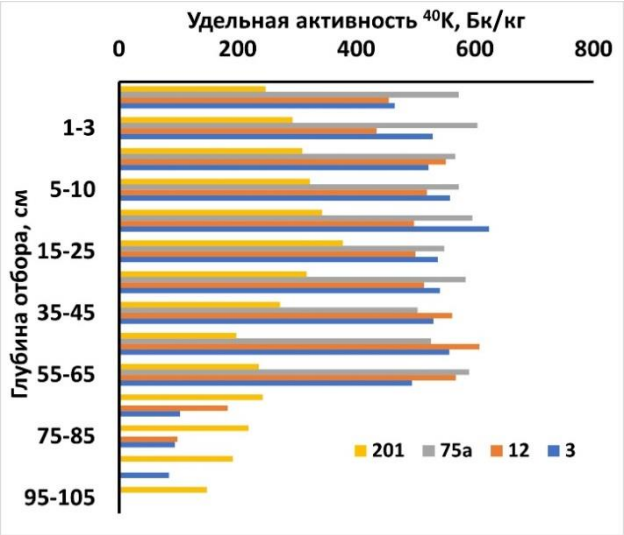
### 6.1.3. Профильное распределение и изменение со временем естественных радионуклидов в различных типах почв Северного Кавказа

Удельная активность естественных дозообразующих радионуклидов в почвенных профилях формирует радиационный фон на открытых территориях и определяет дозовые нагрузки от природных источников ионизирующего излучения (Давыдов и др., 2013). Естественные радионуклиды поступают в почвы в процессах почвообразования из материнских пород Давыдов и др., 2013). На урбанизированных территориях, на месторождениях полезных ископаемых естественные радионуклиды дополнительно поступают в окружающую среду с выбросами предприятий, выхлопами автотранспорта, при сжигании углеводородов, при внесении минеральных удобрений и др. Ниже представлены примеры профилей распределения ЕРН в различных почвах Северного Кавказа (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и

Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).



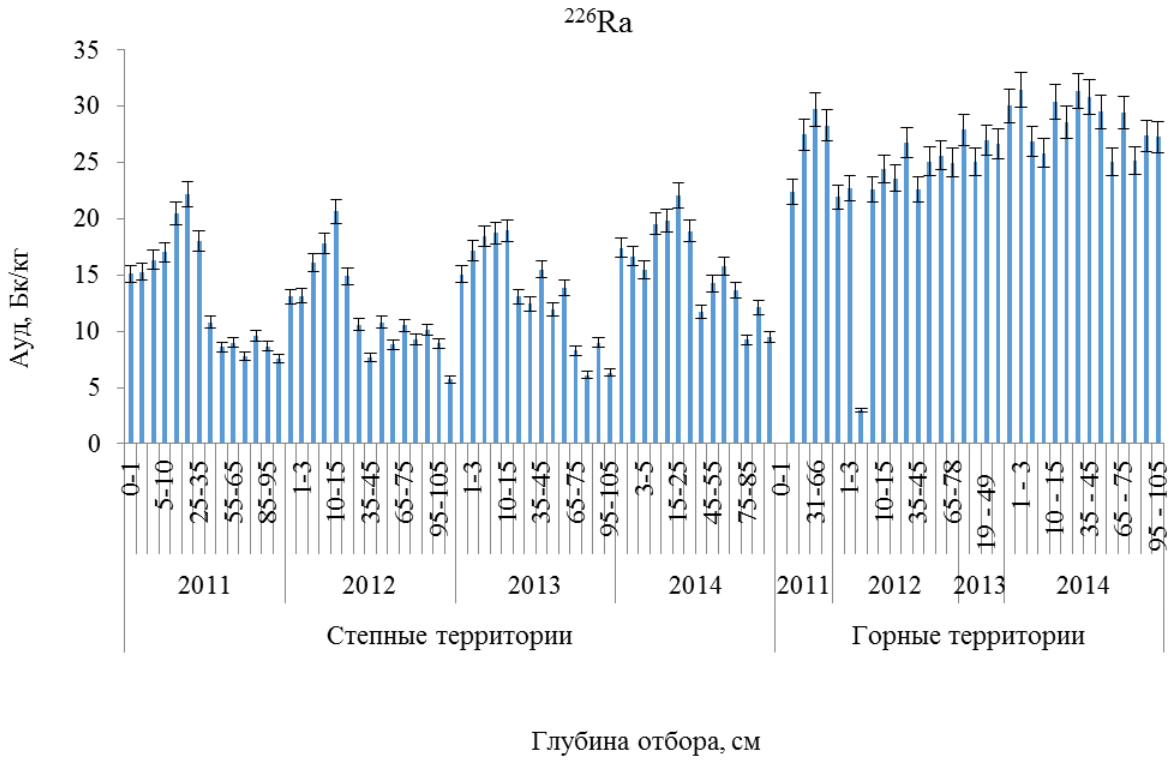


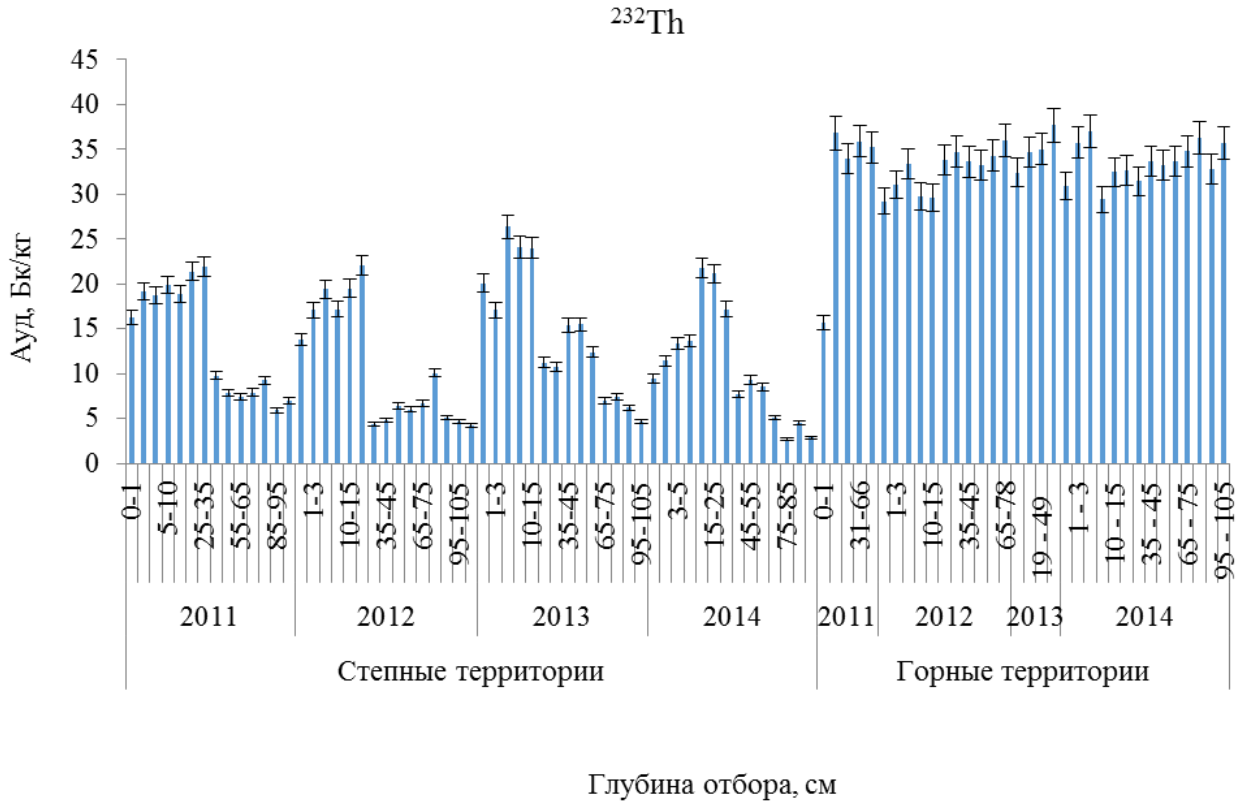

201 Аллювиально-луговая, 12 Лугово-каштановая, 3 Темно-каштановая, 75а Каштановая почва

Рисунок 6.12 – Профили распределения естественных радионуклидов

В основном, ЕРН в почвенных профилях распределены достаточно равномерно, с незначительными (в пределах стандартного отклонения) вариациями по глубине. Подобное распределение радионуклидов может быть обусловлено гранулометрическим составом почвенных горизонтов. Песчаные и глинистые фракции влияют на процессы сорбции/десорбции радионуклидов в почвах. На рис. 6.13 представлены особенности распределения ЕРН в почвах горных и степных территорий (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др.,

2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).



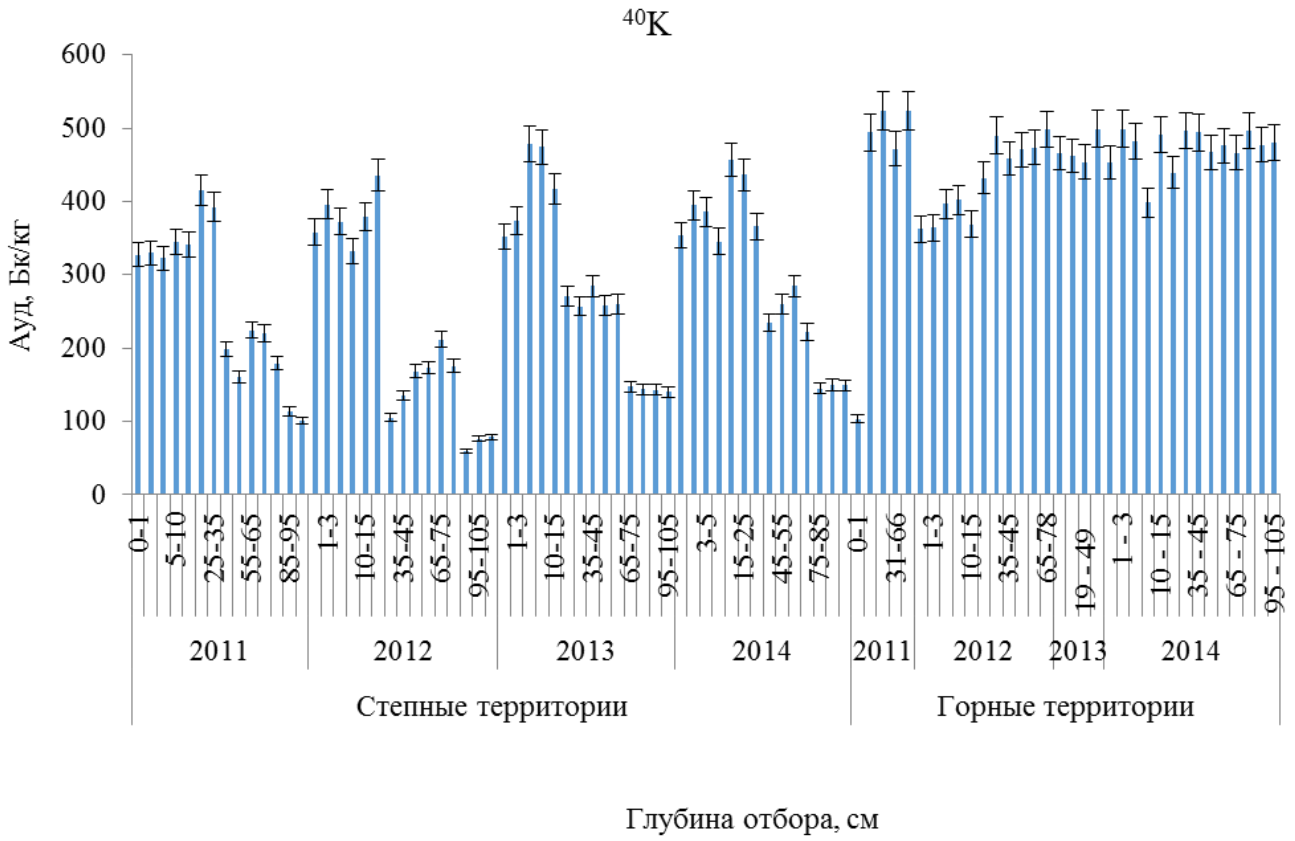



Рисунок 6.13 – Изменение естественных радионуклидов в почвах степных (аллювиально-луговые почвы, КУ 201) и горных (дерново-аллювиальные почвы, КУ ПБ) территорий (Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015).

В целом, средние содержания естественных радионуклидов в дерново-аллювиальных почвах горной Адыгеи до двух раз выше, чем в аллювиально-луговых почвах степей Ростовской области, что объясняется особенностями минералогического и гранулометрического состава почвообразующих пород. Аллювиальные отложения реки Белой характеризуются наличием большого количества гравия, камней и валунов, в состав которых могут входить граниты с повышенным содержанием естественных радионуклидов. Повышенное содержание этих элементов в пойме реки Белой может быть объяснено также большей расчлененностью рельефа по сравнению со степной территорией, что влияет на количество поступления смываемого почвенного материала (Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015).

## *6.2. Распределение радионуклидов по элементам рельефа на степных территориях*

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

Основными факторами, влияющими на содержание и распределение естественных радионуклидов в различных типах почвы, являются физико-химические свойства почвы, почвообразующие породы и климатические условия.

На рисунке 6.14 приведена гипсометрическая модель Ботанического сада ЮФУ, на которой можно увидеть изменение высоты на исследуемой территории (Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

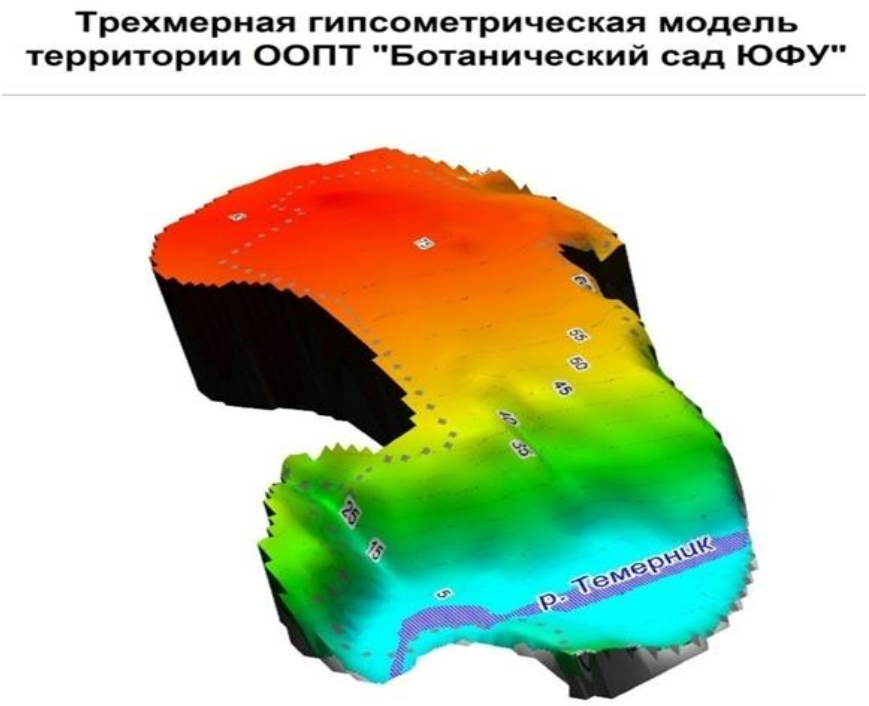



Рисунок 6.14 – Гипсометрическая модель Ботанического сада ЮФУ (Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014)

Почвы в пойме реки Темерник отличаются от почв на остальной территории повышенной влажностью. Эта часть Ботанического сада характеризуется наличием интразональных гидроморфных (болотных) и почв с повышенной влажностью (лугово-черноземными, черноземно-луговыми и лугово-болотными). Остальная часть почвенного покрова Ботанического сада представлена зональными почвами – черноземами обыкновенными (79% от площади) (Безуглова и Хырхырова, 2008; Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012;

Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021)).

Для исследования поверхностного распределения радионуклидов в почвах Ботанического сада ЮФУ нами были выбраны две катены, вдоль которых выбирали точки отбора почвенных образцов. Эти катены приведены на рисунке 6.15, вместе с картой почв (Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Швецова и др., 2021).

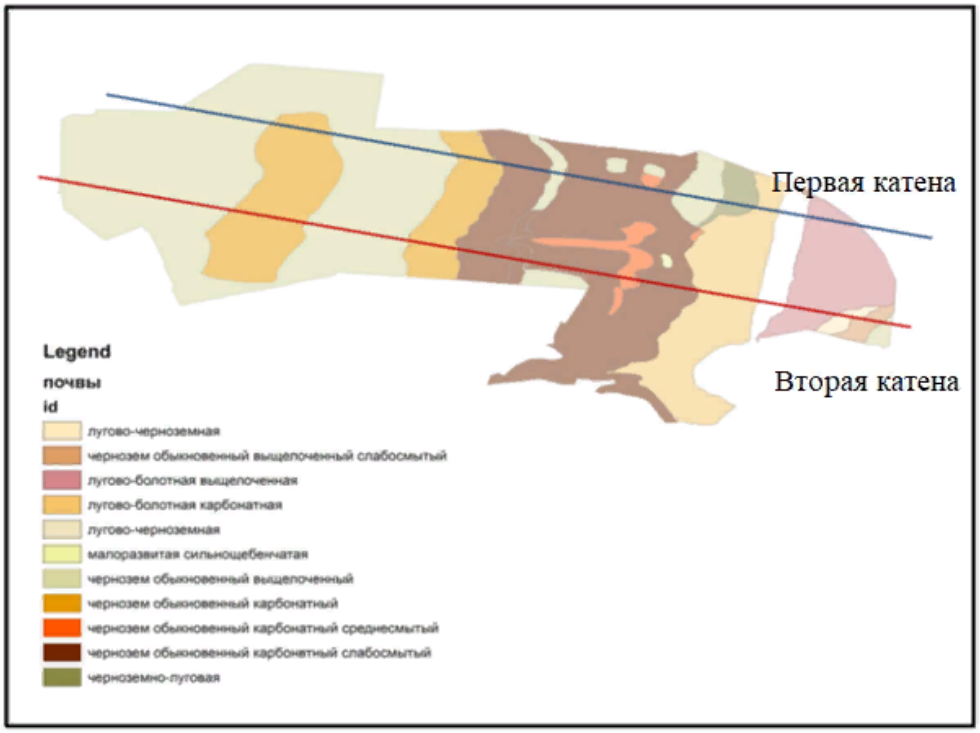



Рисунок 6.15 – Почвенная карта и направления катен 1 и 2 Ботанического сада ЮФУ (Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014)

На рисунке 6.16 представлено распределение радионуклидов вдоль выбранных катен и высота над уровнем моря (Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в).

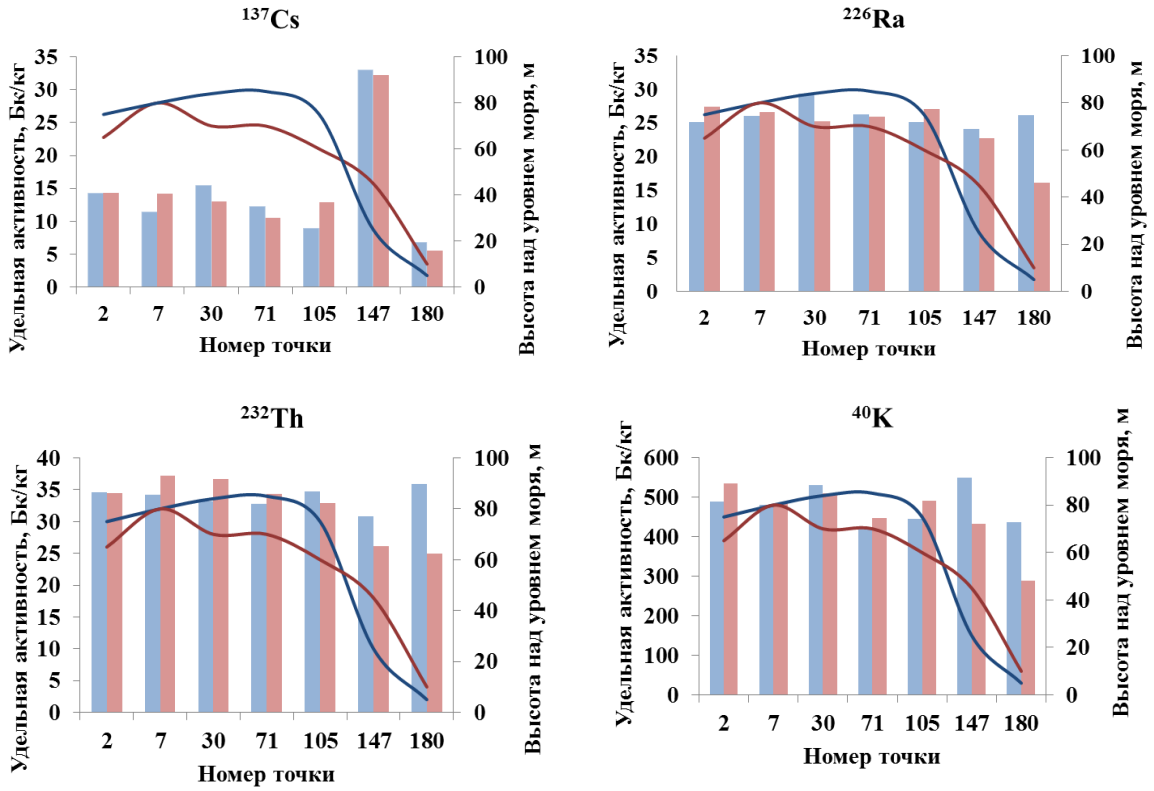



Рисунок 6.16 – Распределение радионуклидов вдоль катен 1 и 2 Ботанического сада Южного федерального университета (Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в)

Поверхностное распределение естественных радионуклидов и искусственного $^{137}Cs$ в почвах территории исследования имеет неравномерный характер (рис. 6.16), что связано, в первую очередь с особенностями рельефа Ботанического сада. Преимущественное накопление радионуклидов происходит в отрицательных элементах рельефа.

Особенно энергично накопление радионуклидов происходит в пойме реки Темерник. При этом естественные радионуклиды по территории Ботанического сада в верхнем почвенном слое распределены равномерно, все вариации удельной активности ЕРН в пределах стандартного отклонения (Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016;

Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Швецова и др., 2021).

### 6.2.2. Распределение радионуклидов по элементам рельефа в Приазовской степи

Особый интерес вызывает изучение распределения активности естественных и искусственных радионуклидов в зависимости от характера рельефа местности (Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

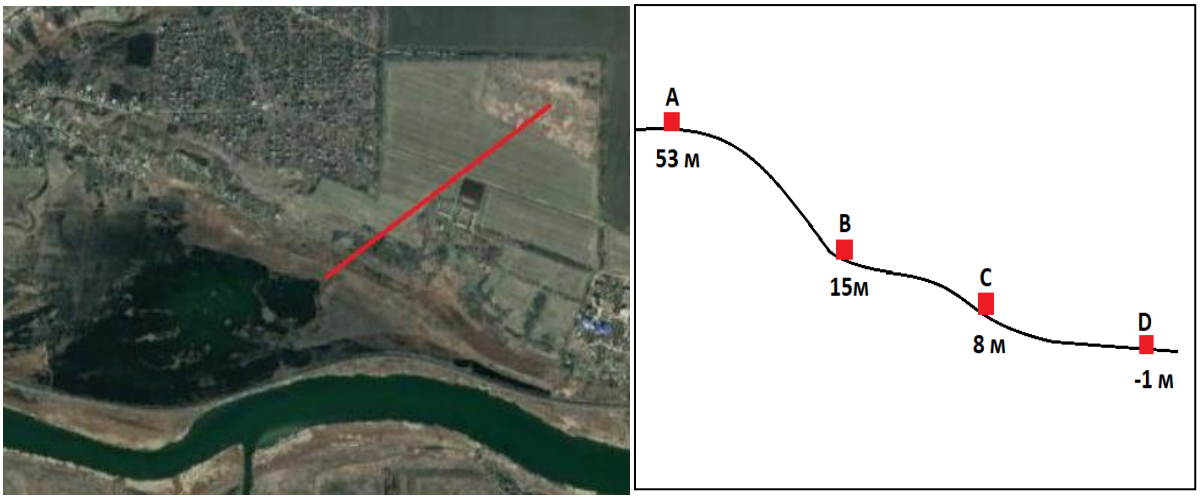



Рисунок 6.17 – Катена, вдоль которой отбирались пробы почвы и схема рельефа местности «Приазовской степи» (Швецова и др., 2021)

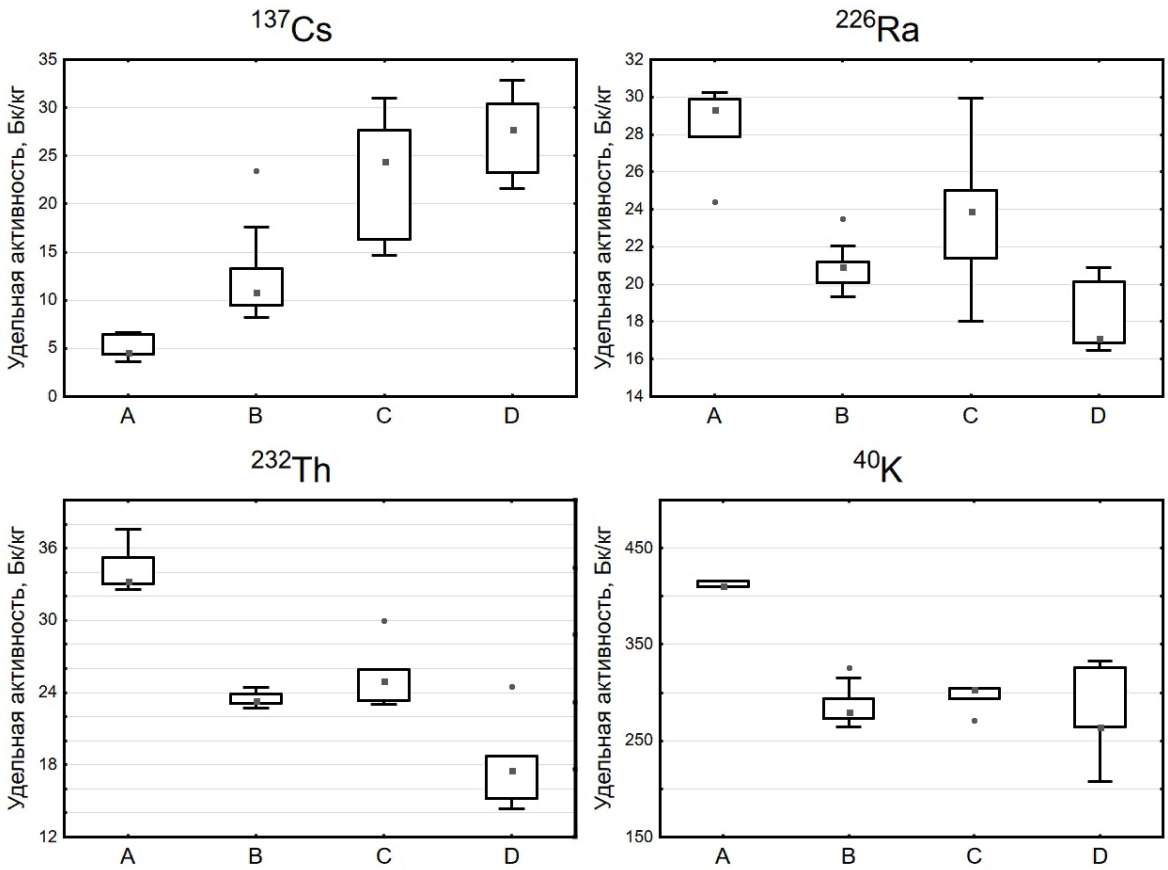



Рисунок 6.18 – Разброс значений удельной активности радионуклидов в различных точках Приазовского заповедника (Швецова и др., 2021)

Таблица 6.4 – Распределение удельной активности радионуклидов в различных типах почв Приазовского заповедника (Швецова и др., 2021)

| Параметр | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| $^{137}Cs$ | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 3,7 | 8,2 | 14,6 | 21,6 |
| Максимум, Бк/кг | 6,7 | 23,5 | 31 | 32,9 |
| Среднее арифм, Бк/кг | 5,2 | 12,7 | 22,8 | 27,2 |
| Среднее геом, Бк/кг | 5,02 | 11,93 | 21,89 | 26,88 |
| $^{226}Ra$ | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 24,4 | 19,3 | 18 | 16,5 |
| Максимум, Бк/кг | 30,3 | 23,5 | 29,9 | 20,9 |
| Среднее арифм, Бк/кг | 28,4 | 21 | 23,7 | 18,3 |
| Среднее геом, Бк/кг | 28,27 | 20,94 | 23,33 | 18,21 |
| $^{232}Th$ | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 32,6 | 22,8 | 23,1 | 14,3 |
| Максимум, Бк/кг | 37,6 | 27,3 | 30 | 24,5 |
| Среднее арифм, Бк/кг | 34,4 | 23,8 | 25,5 | 18,1 |

| Параметр | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| Среднее геом, Бк/кг | 34,31 | 23,81 | 25,34 | 17,72 |
| $^{40}K$ | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 383,6 | 264,7 | 271,5 | 207,8 |
| Максимум, Бк/кг | 447 | 326,4 | 473 | 332,5 |
| Среднее арифм, Бк/кг | 413,3 | 286,7 | 329,2 | 279,1 |
| Среднее геом, Бк/кг | 412,85 | 286,06 | 322,44 | 275,1 |
| Количество измерений, шт | 5 | 9 | 5 | 5 |

Почвы вдоль катены сменяют: Чернозем обыкновенный карбонатный среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках (A) ООПТ Приазовская степь, чернозем обыкновенный карбонатный террасовый намытый среднемощный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках (B), аллювиально-луговая глеевая тяжелосуглинистая на аллювиальных отложениях (C) и солончак луговой корковый, глубоко профильный карбонатный глинистый на аллювиальных отложениях (D) (Безуглова и Хырхырова; 2008; Вальков и др., 2008; Вальков и др., 2002; Швецова и др., 2021).

Несмотря на то, что все почвы отличаются тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, следует отметить, что черноземы сформированы на лессовидных суглинках, а аллювиально-луговая почва и корковый солончак – на песчаных аллювиальных отложениях поймы реки Мертвый Донец (Швецова и др., 2021).

Удельная активность искусственного радионуклида $^{137}Cs$ увеличивается по склону за счет горизонтальной миграции данного радионуклида с водными потоками и переотложением в пойменных участках. А концентрация ЕРН – уменьшается. Это может быть обусловлено различными процессами, в том числе и тем, что песчаные отложения обладают низкими концентрациями ЕРН и, как следствие, в почвах, сформированных на песчаных аллювиальных отложениях так же будет невысокое содержание данных поллютантов (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и

др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

### 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 (Линник, 2008).

На рис. 6.19 представлены примеры исследования вариаций в пределах одного контрольного участка естественных радионуклидов $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K и искусственного $^{137}$Cs в некоторых почвах Ростовской области (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020;

Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

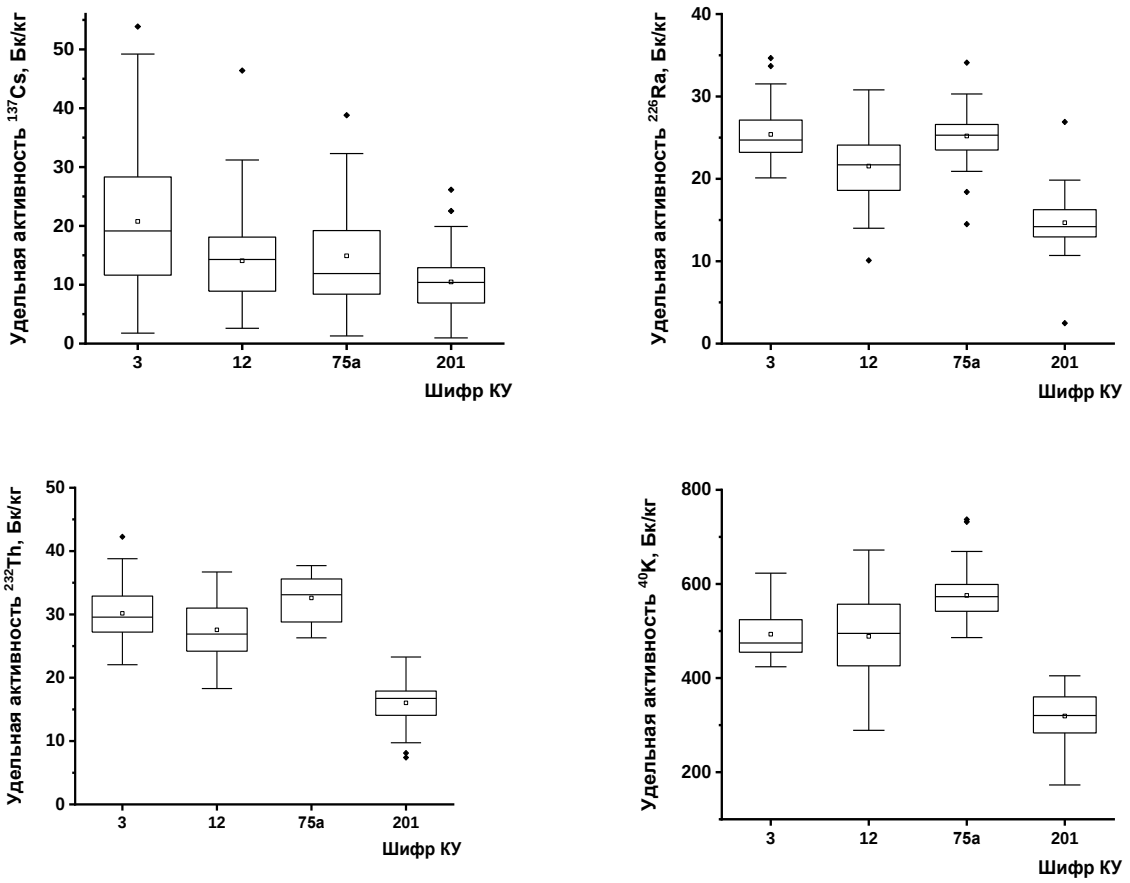



Рисунок 6.19 – Распределение удельной активности радионуклидов на контрольных участках зоны наблюдения Ростовской АЭС

На рис. 6.20 и рис. 6.21 показано распределение радионуклидов на примере радиоцезия и естественного $^{226}$Ra в зависимости от микрорельефа территории.

Микроповышения и микропонижения рельефа территории являются хорошими перераспределителями тепла и влаги, что способствует созданию особого микроклимата на модельных площадках появлению участков с повышенным увлажнением (Линник, 2008).

Как правило, удельная активность радиоцезия максимальна в понижениях рельефа (рис. 6.20), а на распределение ЕРН (рис. 6.21) микрорельеф территории значимого влияния не оказывает (Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в).

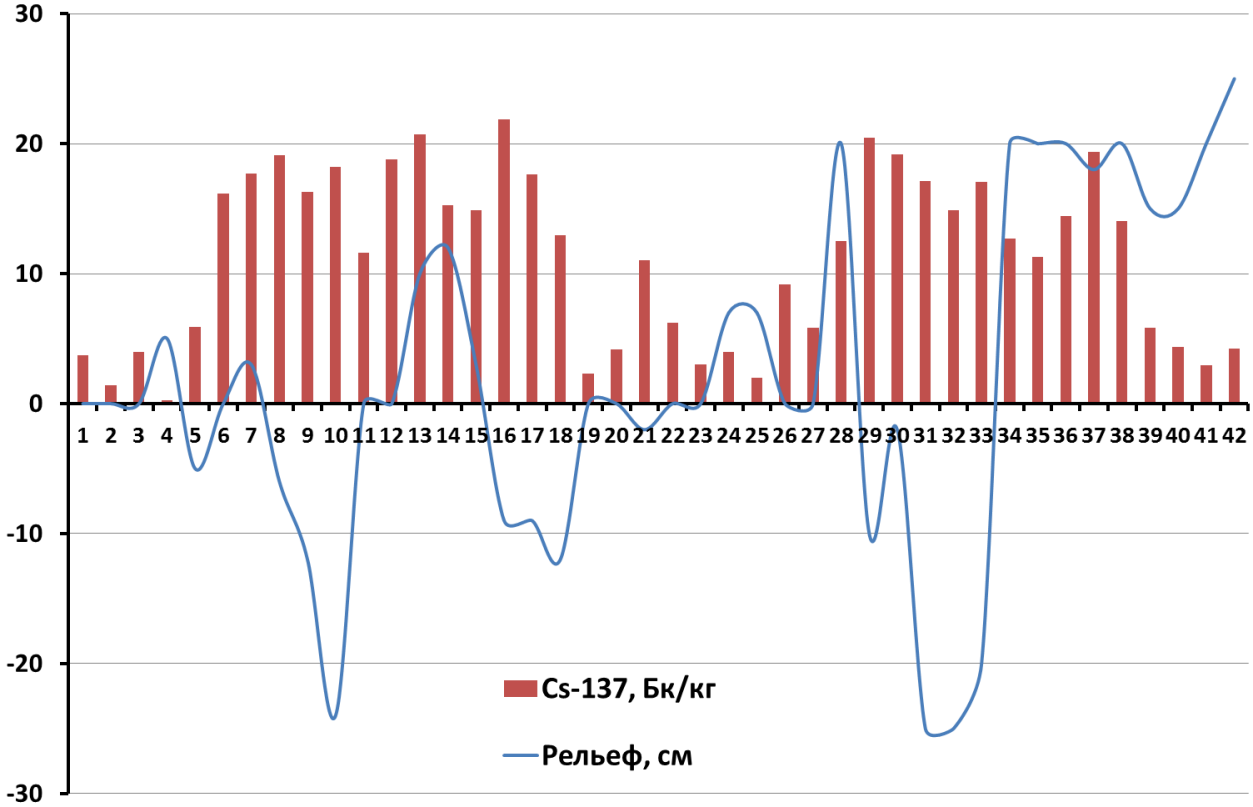



Рисунок 6.20 – Распределение радиоцезия в аллювиально-луговой почве на примере КУ 201 зоны наблюдения Ростовской АЭС (Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в)

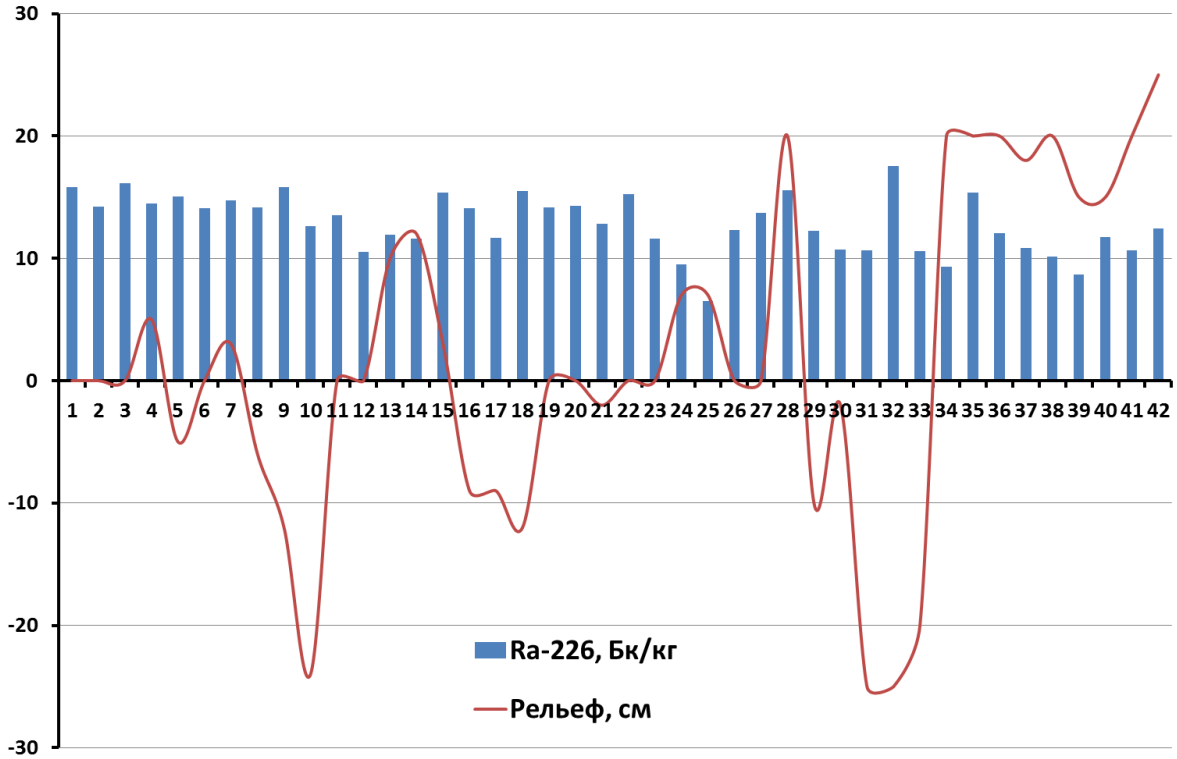



Рисунок 6.21 – Распределение $^{226}$Ra в аллювиально-луговой почве на примере КУ 201 зоны наблюдения Ростовской АЭС (Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в)

Вариации удельной активности $^{137}Cs$ для разных почв как в пределах элементарного квадрата (рис. 6.19), так и в пределах модельной площадки размерами до 1 га (рис. 6.20, рис. 6.21) составляют от 2 до 20 раз (Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в).

Это обусловлено, как неравномерным выпадением данного радионуклида после аварии на ЧАЭС (Атлас, 1998; Атлас, 2009), химическими свойствами цезия, свойствами почв, уклоном местности, выносом растительностью, так и влиянием микрорельефа (Линник, 2008).

Распределение ЕРН в пределах элементарного квадрата, 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%) (Аветисян и др., 2017; Аветисян и др., 2016а; Аветисян и др., 2016б; Барахов и др., 2016; Барахов и др., 2015а; Барахов и др., 2015б; Барахов и др., 2014; Безуглова и др., 2016; Бураева и др., 2013б; Бураева и др., 2014а; Бураева и др., 2015; Бураева и др., 2018а; Бураева и др., 2018в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2019в; Бураева и др.. 2019д; Бураева и др., 2020а; Бураева и др., 2021а; Бураева и др., 2022в; Гордиенко и др., 2016а; Гордиенко и др., 2016б; Гордиенко и др., 2016в; Давыденко и др., 2014; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Евтеенко и др., 2010; Козырев и др., 2021; Козырев и др., 2019; Козырев и др., 2016; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2015; Кубрина и др., 2016а; Кубрина и др., 2016б; Кубрина и др., 2016в; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Нефедов и др., 2012; Савинкина и Бураева, 2020; Сивцов и др., 2021а; Сивцов и др., 2021б; Сивцов и др., 2021в; Сивцов и др., 2021г; Сивцов и др., 2021д; Сивцов и др., 2021е; Триболина и др., 2016; Тройченко и др., 2016; Швецова и др., 2021).

## 6.3. Распределение радионуклидов по элементам рельефа на модельных площадках горной Адыгеи

Заметную роль в пространственном распределении радионуклидов играет рельеф, а в частности, элемент склона, на котором развивается почва. В отличие от субстратной породы рельеф оказывает воздействие на динамическое

пространственное распределение радионуклидов. Действие рельефа сводится к регулированию интенсивности процессов гравитационного перераспределения вещества (седиментация, латеральный сток и другие).

Сток радионуклидов в пониженные участки рельефа повышает там их концентрацию, поэтому на землях с неровным рельефом загрязнение почвы радионуклидами неравномерное и изменяется в 1,5-3 раза. На склонах рельефа водная эрозия вызывает вторичное загрязнение почвы радионуклидами, в результате смыва их в среднюю и нижнюю часть склона.

Смыв радионуклидов происходит, в основном, с твердыми взвесями. Таким образом, на территориях со сложным рельефом важно изучать содержание РН, поскольку за счет вышеописанных процессов возможно формирование повышенных концентраций в отдельных частях склона, даже при общем их невысоком содержании в почвах.

На рис. 6.22 представлены профили распределения $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K по склону гранитного ущелья на территории Майкопского района Республики Алыгея. Тип почв изменяется от бурых лесных неполноразвитых (разрезы на гребне горной гряды и вдоль склона) до ранкера лесного легкосуглинистого на элювии гранитов (разрезы в нижней части ущелья).

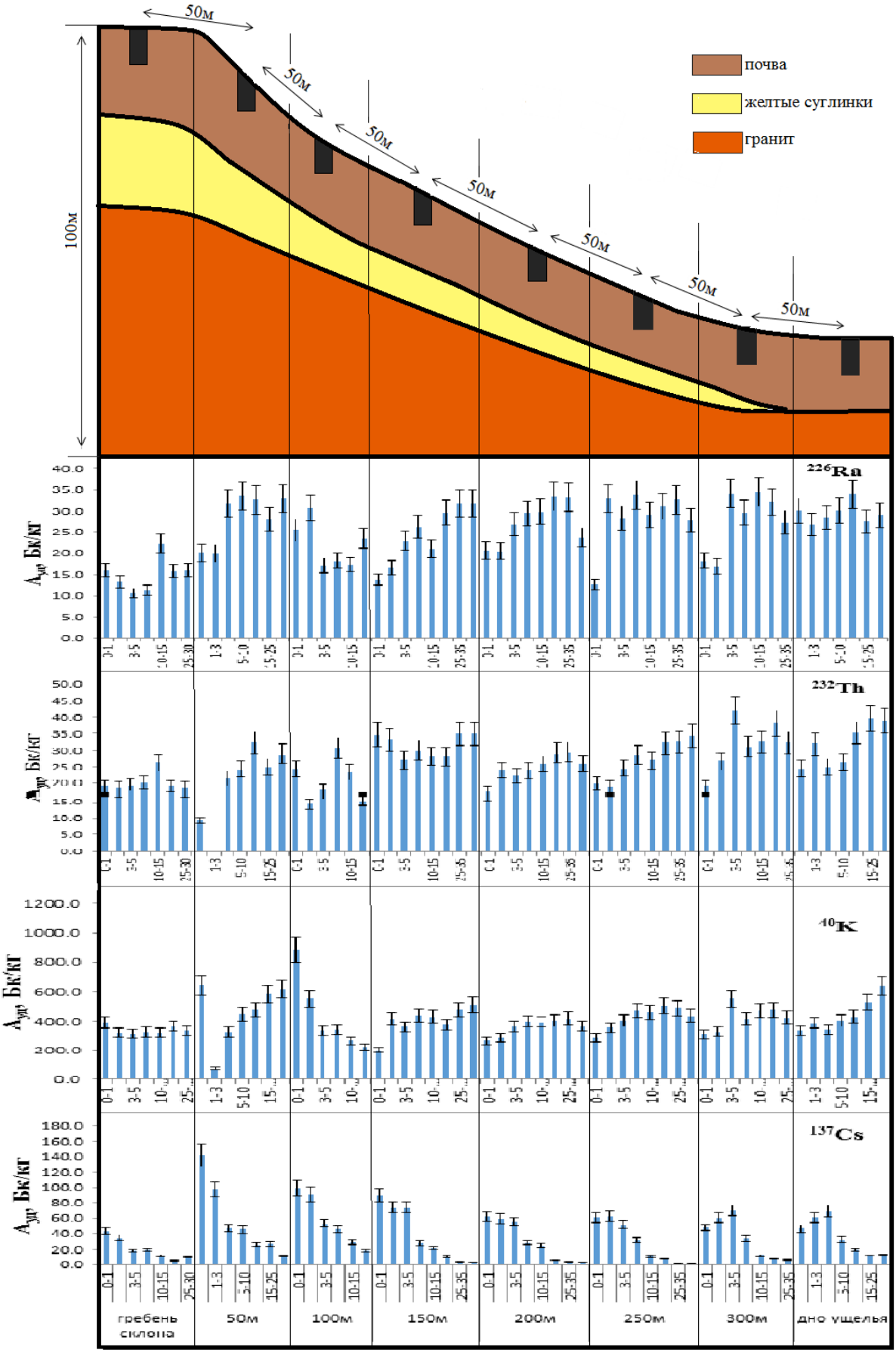



Рисунок 6.22 – Распределение радионуклидов на почвах, сформированных на гранитах. Склон северо-западной экспозиции

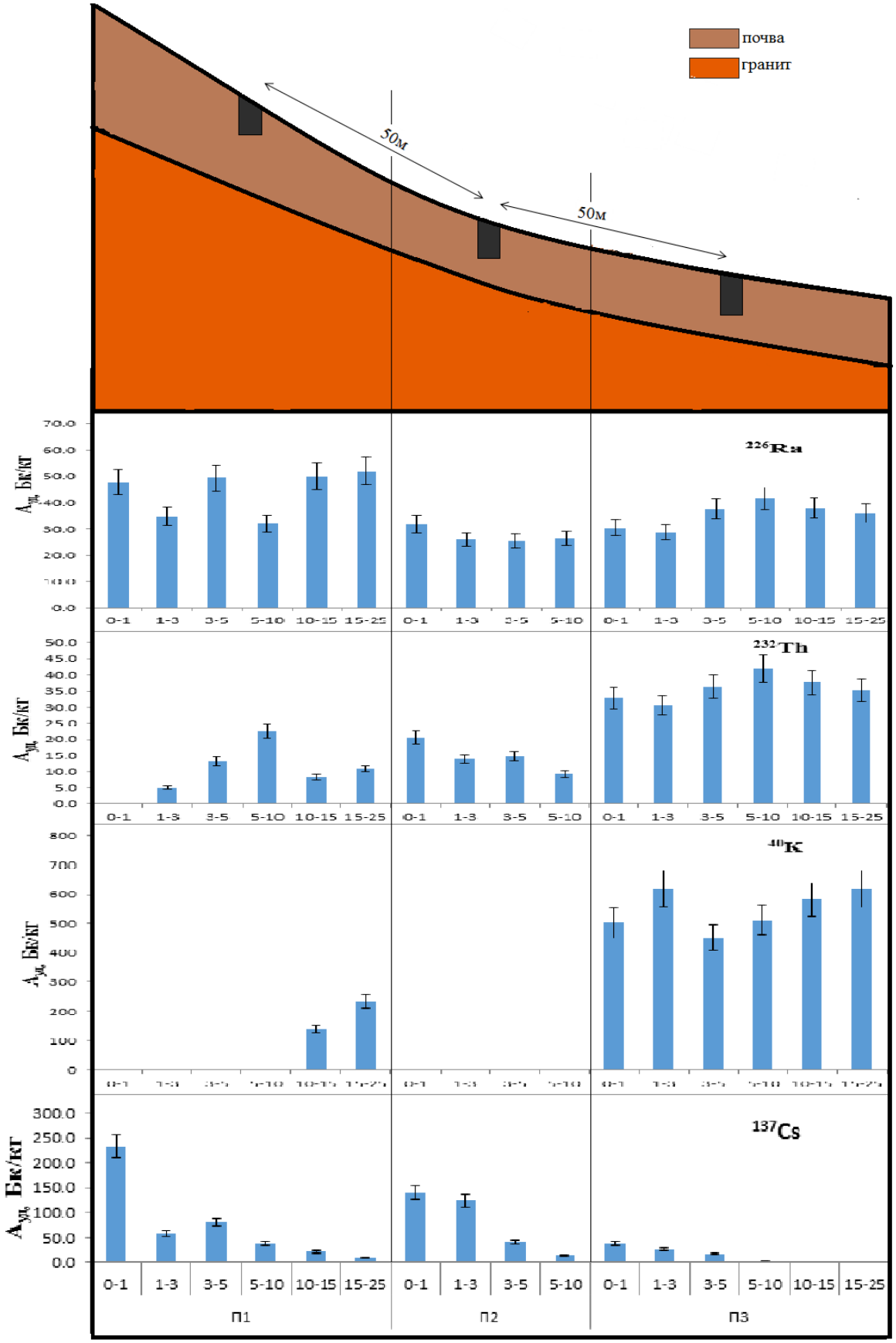



Рисунок 6.23 – Распределение радионуклидов на почвах, сформированных на гранитах. Склон юго-восточной экспозиции.

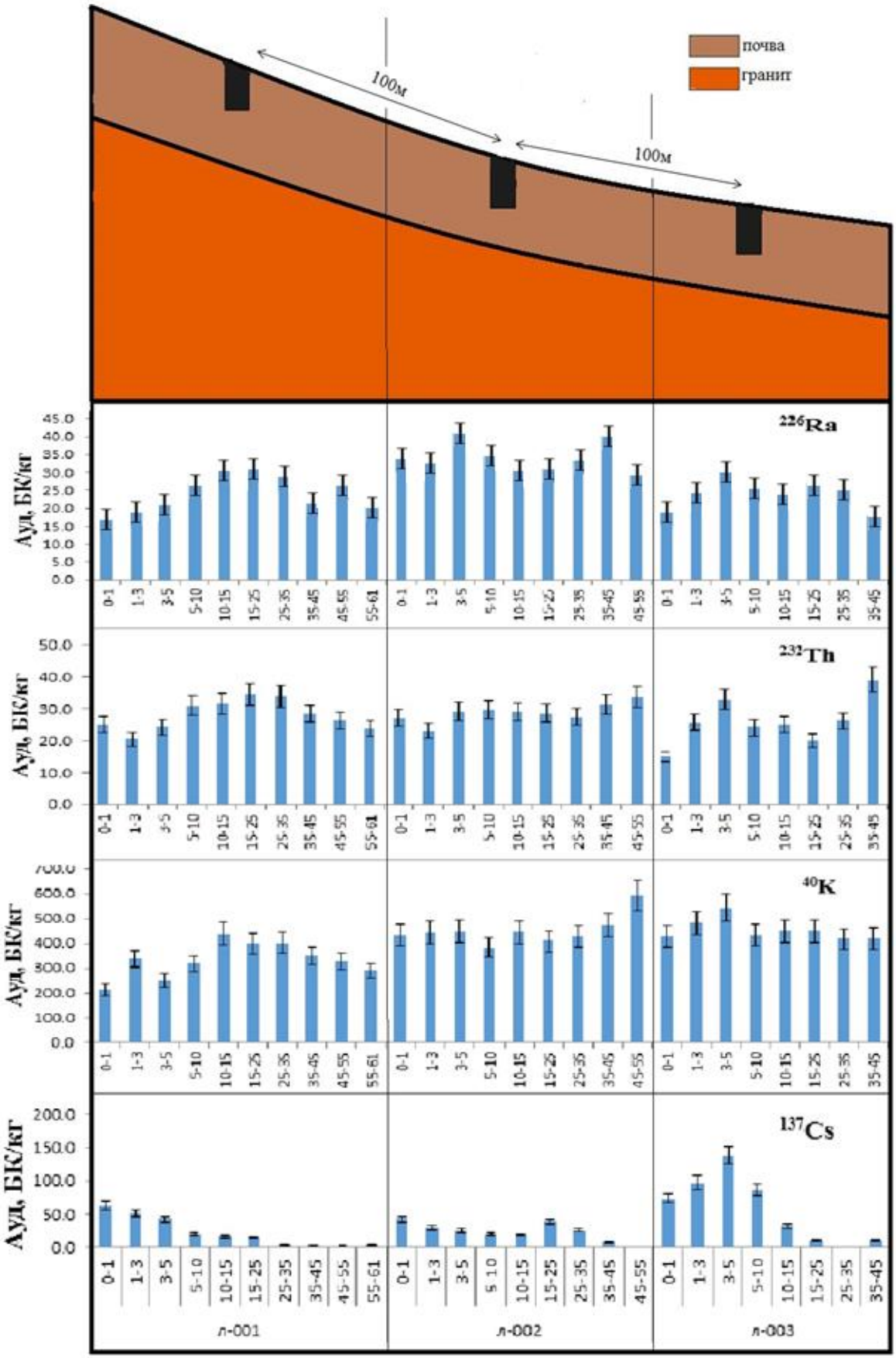



Рисунок 6.24 – Распределение радионуклидов на почвах, сформированных на гранитах. Склон северо-восточной экспозиции

В целом, большинство профилей распределения $^{226}Ra$ и $^{232}Th$ (рис. 6.22) отличаются увеличением их удельной активности (Бк/кг) с глубиной. Это обусловлено тем, что данные почвы сформированы на гранитах, отличающихся повышенным содержанием данных радионуклидов. Вертикальное распределение содержания $^{40}K$ – практически равномерное, с незначительными вариациями удельной активности по глубине почвенного слоя. При этом – в разрезе №3 (расположенном на расстоянии 100 м ниже от гребня) имеет место его накопление в верхних слоях почвы и снижение удельной активности данного радионуклида с глубиной. Это может быть связано с сорбционной способностью лесной подстилки (опада), развитой на данном разрезе.

Также, для $^{226}Ra$ и $^{232}Th$ характерно увеличение их удельной активности от гребня ко дну ущелья. Полученные данные объясняются интенсивным выщелачиванием 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.

Распределение $^{226}Ra$ по почвенному профилю на склонах юго-восточной (рис. 6.23) и северо-восточной экспозиции (рис. 6.24), в целом, равномерное. Имеют место незначительные колебания его удельной активности по глубине профиля. Отсутствует явная зависимость распределения этого радионуклида от высотного расположения участков отбора (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017).

Удельная активность $^{232}Th$ в почвенных профилях на склоне юго-восточной экспозиции возрастает на нижнем участке. В то время, как в его распределении нет высотной зависимости. При этом, по глубине, $^{232}Th$ также распределен равномерно, без значительных колебаний его содержаний по почвенному профилю (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017).

Поведение $^{40}K$ по склону юго-восточной экспозиции отличается резким увеличением его удельной активность на нижних участках. В целом, по почвенному профилю $^{40}K$ распределен равномерно. Данное поведение калия связано как с химическими свойствами данного радионуклида, так и с особенностями почвообразования данных участков (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017).

Распределение цезия по склону северо-западной экспозиции (рис. 6.22) отличается его повышенным содержанием в разрезах №2 (50 м) – №4(150 м). Профили распределения $^{137}Cs$ также изменяются со смещением максимума удельной активности в нижележащие слои.

При этом ожидаемое повышенное содержание данного радионуклида в профилях на дне ущелья неявное. Это может быть связано с интенсивным выщелачиванием $^{137}Cs$ из верхних почвенных горизонтов и перераспределением его удельной активности по глубине.

Также, значительное содержание $^{137}Cs$ получено для двух верхних разрезов на склоне юго-восточной экспозиции и разреза (рис. 6.23), расположенного на выходе из ущелья (рис. 6.24) (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

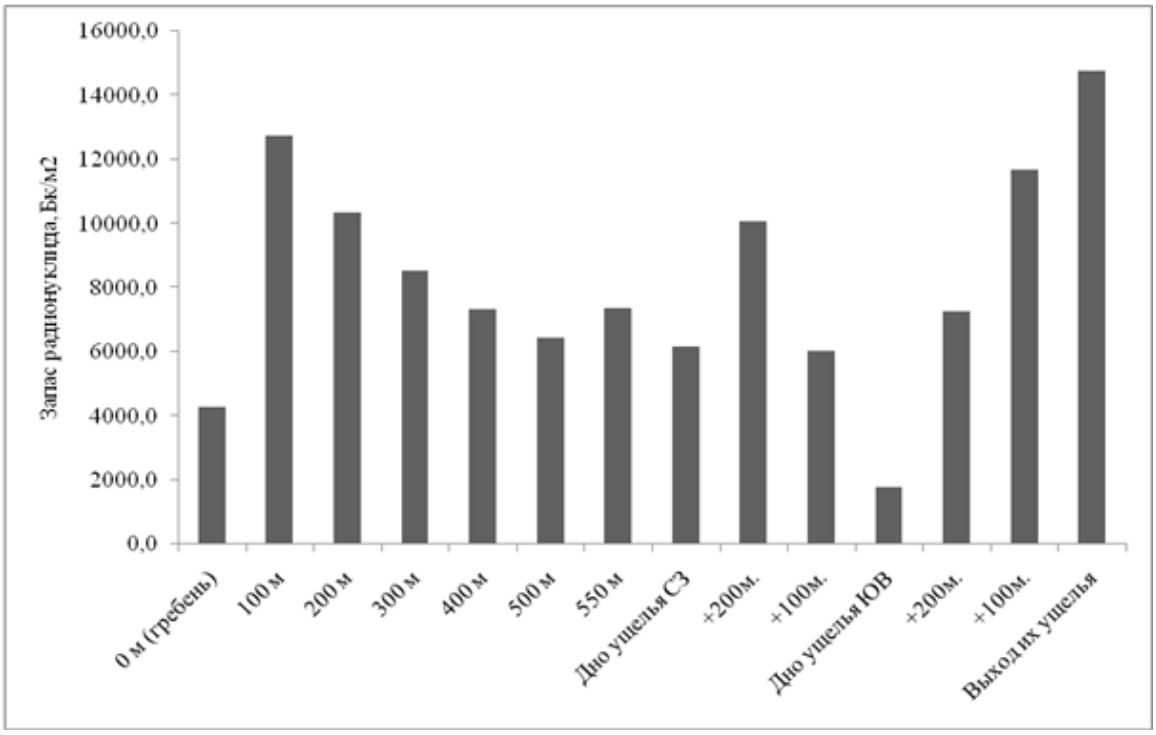



Рисунок 6.25 – Распределение запасов $^{137}Cs$ на склоновых территориях

Оценка суммарных запасов $^{137}Cs$ (Бк/м$^2$) в профилях почвы (рис. 6.25) показала увеличение полного содержания данного радионуклида на выходе их ущелья (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017).

В целом, на распределение искусственного $^{137}Cs$ в почвах территорий со сложным рельефом и склонов различной экспозиции могут оказывать совокупное влияние такие факторы как: увлажненность почвы и тип почвенного режима, крутизна склона, тип почвы, содержание гумуса и гранулометрический состав почвенных фракций. Необходимы дополнительные исследования для уточнения процессов, влияющих на горизонтальную и вертикальную миграцию радионуклидов на различных территориях (Аветисян и др., 2017; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и

др., 2011; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

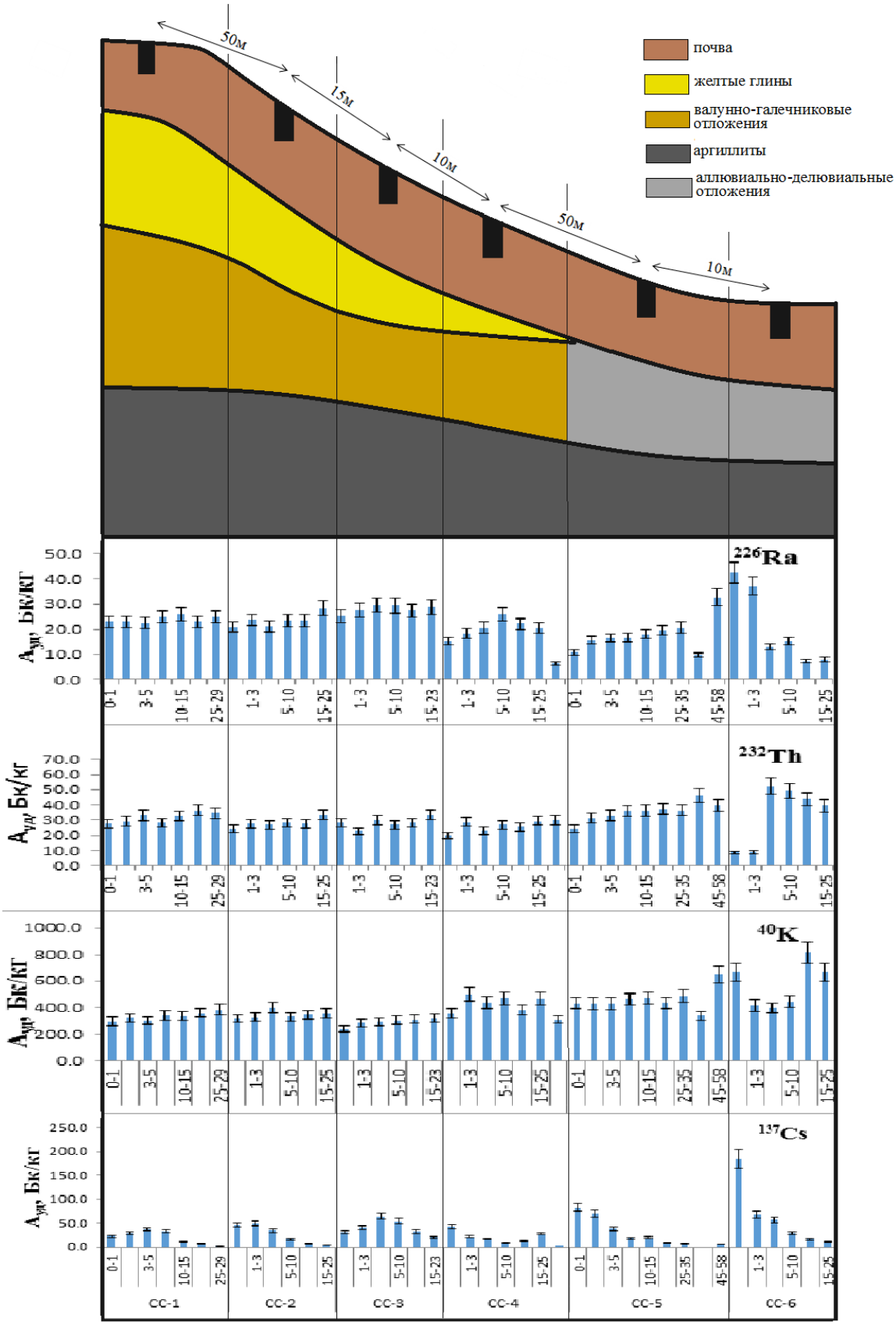



Рисунок 6.26 – Распределение радионуклидов на почвах, сформированных на аргиллитах (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017)

На рис. 6.26. представлены профили распределения и высотное поведение естественных и искусственных радионуклидов в бурых лесных почвах, сформированных на осадочных породах – аргиллитах.

На участках СС-1, СС-2, СС-3 вертикальное распределение удельной активности $^{226}$Ra равномерное, без значительных колебаний по глубине профиля. На участке СС-4 отмечается максимальная удельная активность $^{226}$Ra на глубине 5-10 см. На СС-5 в поведении $^{226}$Ra отмечаются 2 минимума, на глубине 0-1 см и 35-45 см. На участке СС-6 содержание данного радионуклида максимально в слое 0-3 см, далее идет резкое снижение его удельной активности. Вероятно, это связано с физико-химическими свойствами почвы, такими как гранулометрический состав - содержание гумуса, уровень кислотности и химическими свойствами $^{226}$Ra (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

В целом, в распределении $^{226}$Ra по склону – нет явной зависимости от высоты расположения контрольного участка (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

На участках СС-1, СС-2, СС-3, СС-4 и СС-5 $^{232}$Th по почвенному профилю распределен равномерно, с незначительными колебаниями его удельной активности. Распределение $^{232}$Th на участке СС-6 отличается минимумом в слое 0-3 см и резким увеличением его удельной активности на глубине 3-5 см. Очевидно, это также связано с физико-химическими свойствами почвы, такими как гранулометрический состав – содержание гумуса, уровень кислотности и химическими свойствами $^{232}$Th (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

В поведении $^{40}$К по профилю имеют место незначительные вариации его удельной активности на участках СС-1, СС-2, С-3, и СС-4. На участке СС-5 присутствует максимум на глубине 45-58 см. На участке СС-6 в распределении

содержания $^{40}K$ отмечаются максимумы на глубине 0-1 см и на глубине 10-15 см. Вероятно, это связано с физико-химическими свойствами $^{40}K$ – это легко окисляющийся щелочной металл, образующий хорошо растворимые соли. В первичных горных породах его содержание наибольшее в кислых вулканических породах (граниты и др.).

Из осадочных пород наибольшим содержанием $^{40}K$ обладают сланцы и песчаники (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

На участках СС-1 и СС-3 максимум $^{137}Cs$ отмечается на глубине 3-5 см. На участках СС-4 и СС-5 максимум данного радионуклида смешен в верхний слой 0-1 см. В целом, по склону наблюдается увеличение удельной активности $^{137}Cs$ в верхнем 0-1 см слое от 20 Бк/кг на КУ СС-1 до 200 Бк/кг на КУ СС-6 вследствие вымывания данного элемента из верхних участков в нижние.

Во всех почвенных профилях имеет место уменьшение удельной активности $^{137}Cs$ с глубиной отбора, что связано со скоростью миграции $^{137}Cs$ в данном типе почв. По спуску к реке Сюк максимальный запас $^{137}Cs$ имеет место в самом нижнем КУ – СС-6 (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019)..

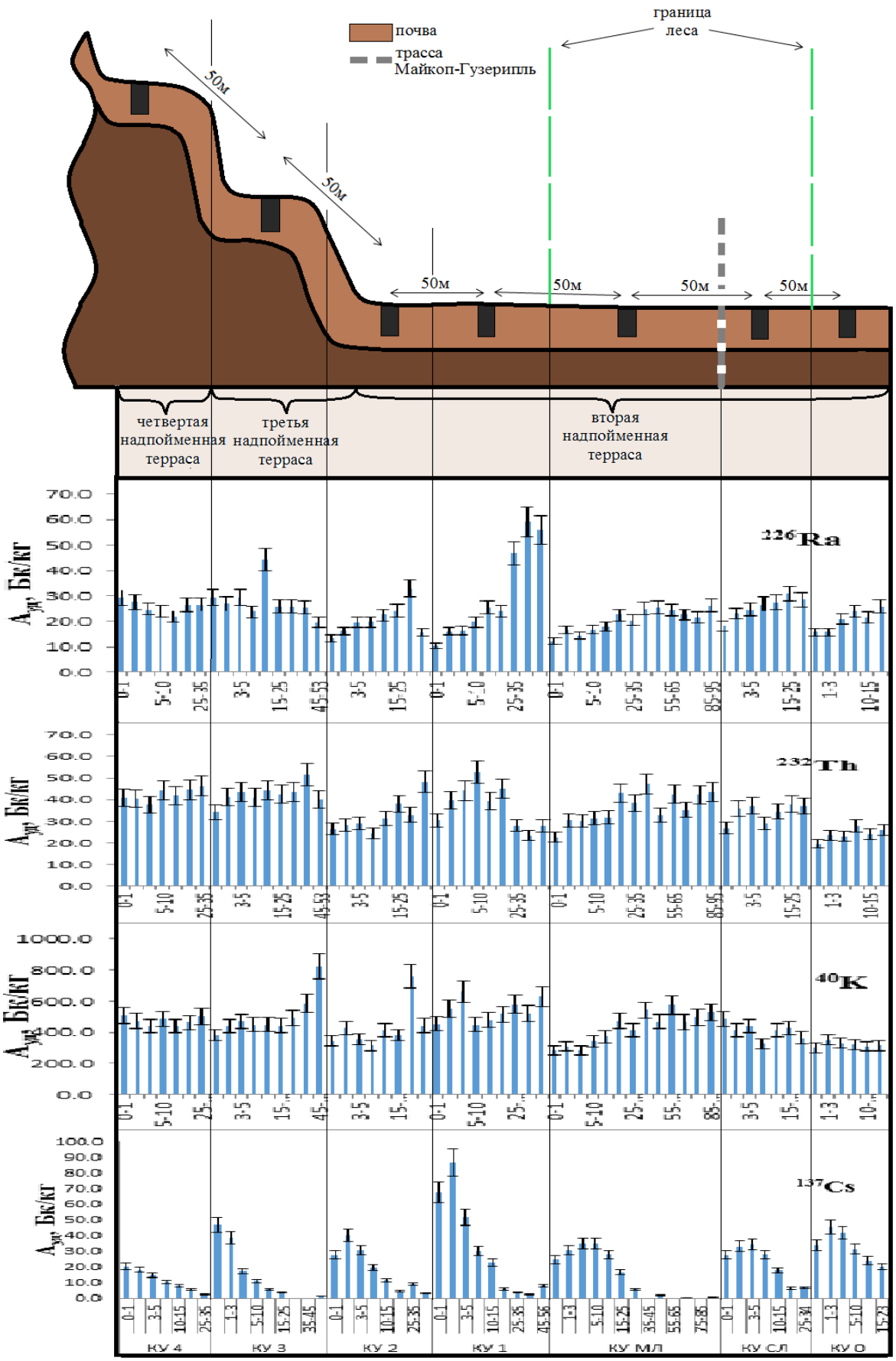



Рисунок 6.27 – Распределение радионуклидов в почвах надпойменных террас реки Белой

Подобное распределение $^{137}Cs$ на участках также связано с физико-химическими свойствами почвы, такими как гранулометрический состав - содержание гумуса, уровень кислотности и химическими свойствами $^{137}Cs$. Все соединения цезия водорастворимы, что в условиях промывного водного почвенного режима усиливает миграцию данного радионуклида как по профилю, так и на склоновых участках (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

В распределении естественных радионуклидов на участках, расположенных на надпойменных террасах реки Белой (рис. 6.27) отсутствует явная зависимость удельной активности радионуклидов от высоты расположения контрольных участков. Имеет место достаточно резкое увеличение удельной активности $^{226}Ra$ (до трех раз) на КУ 1 в нижних почвенных горизонтах. Вероятно это связано с особенностями почвенного режима данного участка – в последние годы происходит заболачивание данной территории, и, как следствие – достаточно сильное накопление радионуклида в результате процессов оглеения (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017; Антонова Ел. и др., 2021; Болдарев и др., 2015; Бураева и др., 2005б; Бураева и др., 2011б; Бураева и др., 2013е; Бураева и др., 2013ж; Бураева и

др., 2018д; Бураева и др., 2018е; Бураева и др., 2019б; Бураева и др., 2020г; Бураева и Ширяева, 2021; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и др., 2022б; Горшков и др., 2016; Давыденко и др., 2014; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016в; Дергачева и др., 2015; Долгополова и др., 2016а; Долгополова и др., 2016б; Жучков и др., 2012; Заруднев и др., 2015а; Заруднев и др., 2015б; Заруднев и др., 2016а; Заруднев и др., 2016б; Заруднев и др., 2017а; Заруднев и др., 2017б; Иванов и др., 2015; Колесников и др., 2017; Кубрина и др., 2016а; Неганова и др., 2014а; Неганова и др., 2014б; Неганова и др., 2014в; Неганова и др., 2015; Нефедов и др., 2011; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б; Триболина и др., 2013а; Триболина и др., 2013б; Шиманская и др., 2014а; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

Удельная активность $^{137}Cs$ максимальна также на КУ 1. Данный участок расположен на границе леса. Имеет место явное накопление данного радионуклида на этом участке (Аветисян и др., 2016б; Аветисян и др., 2017).

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

Ниже, в таблице 6.5 приведены отношения содержания $^{137}Cs$ (P, отн. ед.) в горизонтах Ad, Ad+A и ~~в~~ максимуме удельной активности радиоцезия в профиле почв степных территорий к полному содержанию данного радионуклида в зависимости от содержания гумуса (%) и уровня pH для трех типов почвы (каштановые, луговые и черноземы). Результаты оценки зависимости между удельной активностью радионуклидов в почвах от их физико-химических свойств отражены в коллективных работах автора (Бураева и Безуглова, 2022; Buraeva et al., 2015). Часть материала оформлена в виде баз[33] данных и приведена в Приложении 1, п. П1.2.

[33] **Физико-химический и элементный состав почв, прилегающих к Ростовской АЭС**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621569 РФ / Минкина Т.М., Сушкова С.Н., Бураева Е.А., Иванков Д.И., Карташев С.С., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621333; заявл. 07.08.2020 г.; дата гос. рег. 27.08.2020 г.

Таблица 6.5 – Агрохимические свойства почвы и отношения содержания $^{137}Cs$ в различных горизонтах к полному содержанию данного радионуклида (Бураева, 2005а; Бураева, 2005б; Бураева и Безуглова, 2022; Buraeva et al., 2015)

а) Содержание гумуса, %

| Почва | Гумус | Отношения содержания $^{137}Cs$ в различных почвенных горизонтах | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $P_{Ad}/\Sigma P_i$ | $P_{Ad+A}/\Sigma P_i$ | $P_{max}/\Sigma P_i$ |
| Каштановая | 3,89 | 0,93 | 1,00 | 0,45 |
| Каштановая | 3,71 | 0,39 | 0,93 | 0,31 |
| Каштановая | 3,75 | 0,35 | 0,95 | 0,31 |
| Луговая | 5,80 | 0,90 | 0,95 | 0,46 |
| Луговая | 4,50 | 0,78 | 1,00 | 0,41 |
| Луговая | 3,20 | 0,75 | 0,92 | 0,29 |
| Луговая | 2,93 | 0,66 | 0,81 | 0,29 |
| Луговая | 1,84 | 0,25 | 0,58 | 0,24 |
| Чернозем | 4,19 | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| Чернозем | 4,14 | 0,43 | 0,65 | 0,43 |
| Чернозем | 2,41 | 0,84 | 1,00 | 0,84 |

б) уровень pH

| Почва | pH | $P_{Ad}/\Sigma P_i$ | $P_{Ad+A}/\Sigma P_i$ | $P_{max}/\Sigma P_i$ |
|---|---|---|---|---|
| Каштановая | 7,50 | 0,93 | 1,00 | 0,45 |
| Каштановая | 7,90 | 0,39 | 0,93 | 0,31 |
| Каштановая | 8,40 | 0,35 | 0,95 | 0,31 |
| Луговая | 6,90 | 0,90 | 0,95 | 0,46 |
| Луговая | 6,95 | 0,78 | 1,00 | 0,41 |
| Луговая | 7,85 | 0,75 | 0,92 | 0,29 |
| Луговая | 7,95 | 0,14 | 1,00 | 0,35 |
| Луговая | 8,40 | 0,25 | 0,58 | 0,24 |
| Чернозем | 6,40 | 2,41 | 0,84 | 1,00 |
| Чернозем | 6,50 | 4,14 | 0,43 | 0,65 |
| Чернозем | 7,34 | 4,19 | 0,40 | 0,40 |

Как показано в наших ранних работах «…для региона исследования, как правило, удельная активность $^{137}Cs$ в различных горизонтах возрастает с ростом содержания гумуса и со снижением pH. Преобладающий механизм накопления

**Физико-химический и элементный состав почв, прилегающих к филиалу Южного территориального округа ФГУП РосРАО**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621509 РФ / Минкина Т.М., Бурачевская М.В., Бураева Е.А., Литвинов Ю.А., Иванков Д.И., Карташев С.С., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621332; заявл. 07.08.2020 г.; дата гос. рег. 21.08.2020 г.

радиоцезия в горизонтах Ad и A обусловлен органической компонентой, а не минеральной составляющей почвы… (Бураева и др., 2005а; Бураева и др., 2005б). Органические молекулы, сорбируясь на поверхности глинистых частиц, закрывают доступ $^{137}$Cs, препятствуя процессу его сорбции на сорбционных центрах минеральной матрицы (Frayed Edge Sites, FES) и диффузии внутрь кристаллической решетки (Санжарова и др., 2005).

При изменении величины pH может образовываться щелочной геохимический барьер и происходит резкое уменьшение количества водорастворимого $^{137}$Cs. Щелочной барьер не позволяет радиоактивному цезию мигрировать вниз по почвенному профилю, что увеличивает интенсивность его миграции по горизонтали, при наличии неровностей рельефа (Kuzmenkova et al., 2011; Gaspar & Navas, 2013).

Ниже, на рис. 6.28 и рис. 6.29 представлены диаграммы рассеяния, иллюстрирующие зависимость удельной активности $^{137}$Cs от содержания гумуса и уровня pH. На данных рисунках также приведены коэффициенты корреляции Пирсона (k).

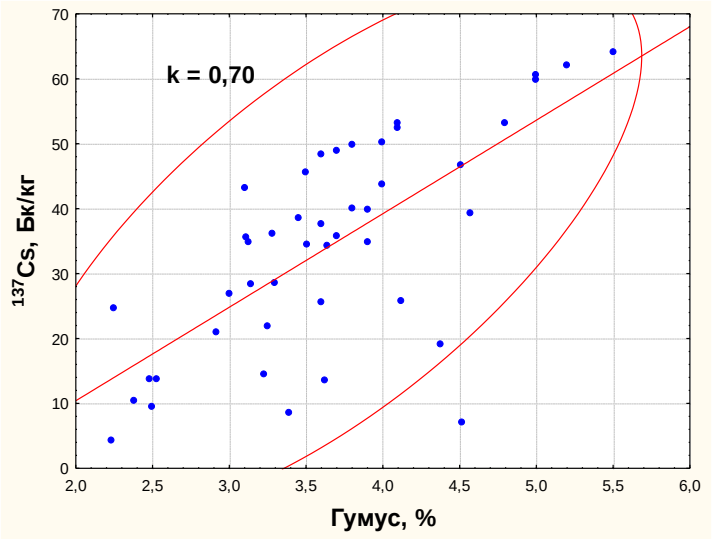



Рисунок 6.28 – Зависимость содержания $^{137}$Cs (слой 0-10 см) от гумуса во всех типах почвы (по данным 2013 года) (Бураева и Безуглова, 2022; Buraeva et al., 2015)

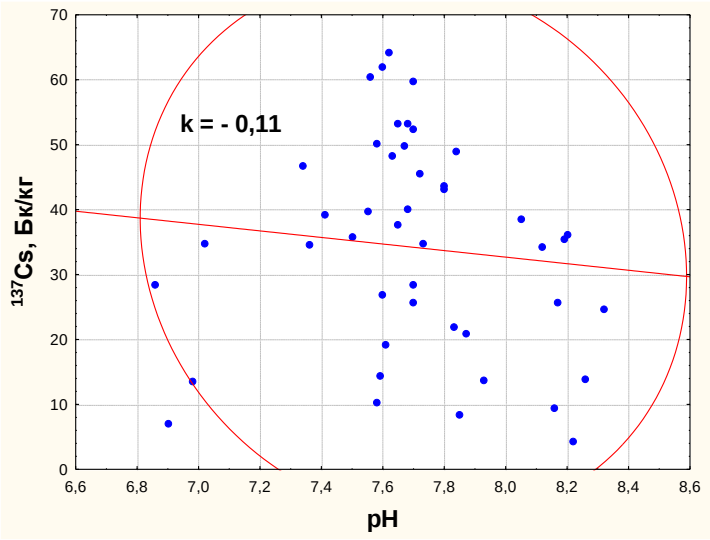



Рисунок 6.29 – Зависимость содержания $^{137}$Cs (слой 0-10 см) от уровня pH во всех типах почвы (по данным 2013 года) (Бураева и Безуглова, 2022; Buraeva et al., 2015)

Коэффициенты корреляции между содержанием $^{137}$Cs в верхнем слое почвы и гумусом и pH в степных условиях составляют 0,7 и -0,11 соответственно, что может подтверждать сорбционную активность гумуса по отношению к $^{137}$Cs (Бураева и Безуглова, 2022; Buraeva et al., 2015). При этом критическое значение корреляции Пирсона для 43 степеней свободы и уровне значимости P=0,01 составляет 0,39. Следовательно, можно сделать вывод о том, содержание гумуса может способствовать сорбции $^{137}$Cs в гумусовом горизонте. Отсутствует значимая связь между удельной активностью $^{137}$Cs и уровнем pH. Это может быть обусловлено малой выборкой диапазона pH (все исследуемые почвы отличались нейтральной или слабощелочной реакцией среды с уровнем pH от 6,9 до 8,4). Катионы цезия подвижные и слабоподвижные в окислительной обстановке, а щелочные барьеры препятствуют миграции $^{137}$Cs Kuzmenkova et al., 2011; Gaspar & Navas, 2013).

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. Это хорошо видно на примере луговых почв. Однако, для каштановых почв и черноземов эта зависимость не столь ярко выражена, что обусловлено, вероятно, особенностями водного режима. Каштановые почвы и черноземы формируются в условиях непромывного режима сухих и полусухих степей, тогда как луговые почвы – в условиях промывного или

выпотного. Кроме того, каштановые почвы, как и черноземы, характеризуются высоким содержанием карбонатов, которые также влияют на подвижность радионуклидов в почве. Судя по всему, для каштановых почв, вклад в сорбцию карбонатной составляющей сопоставим с вкладом гумусовых веществ. В общем случае наличие органического вещества снижает подвижность $^{137}Cs$ в почве (Бураева и Безуглова, 2022; Buraeva et al., 2015).

Отношения содержания $^{137}Cs$ (P, отн. ед.) в горизонтах Ad, Ad+A и ~~в~~ максимуме удельной активности радиоцезия в профиле почв горных территорий (на примере Майкопского района Республики Адыгея) к полному содержанию данного радионуклида в зависимости от содержания гумуса (%) и уровня pH в таблице 6.6.

Таблица 6.7 – Отношения содержания $^{137}Cs$ (P, отн. ед.) в горизонтах Ad, Ad+A и ~~в~~ максимуме удельной активности радиоцезия в профиле почв горных территорий к полному содержанию данного радионуклида в зависимости от содержания гумуса (%) и уровня pH (Бураева и Безуглова, 2022; Buraeva et al., 2015)

| Почва | Гумус в Ad, % | pH | Доли поглощения $^{137}Cs$ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | $P_{Ad}/\Sigma P_i$ | $P_{Ad+A}/\Sigma P_i$ | $P_{max}/\Sigma P_i$ |
| Бурая лесная многогумусная | 14,64 | 6,22 | 0,29 | 0,46 | 0,29 |
| Бурая лесная малогумусная | 4,07 | 6,56 | 0,37 | 0,55 | 0,37 |
| Горно-луговая альпийская | 10,1 | 4,70 | 0,83 | 0,83 | 0,83 |
| Луговая глеевая 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 |
| Ранкер лесной РЛ | 11,3 | 6,20 | 0,31 | 0,92 | 0,61 |
| Дерново-аллювиальная ПБ | 7,7 | 6,89 | 0,21 | 0,21 | 0,46 |

На рис. 6.30–6.32 представлены диаграммы рассеяния, демонстрирующие зависимость удельной активности $^{232}Th$, $^{226}Ra$ и $^{40}K$ от гумуса. На диаграммах также приведены коэффициенты корреляции Пирсона (k).

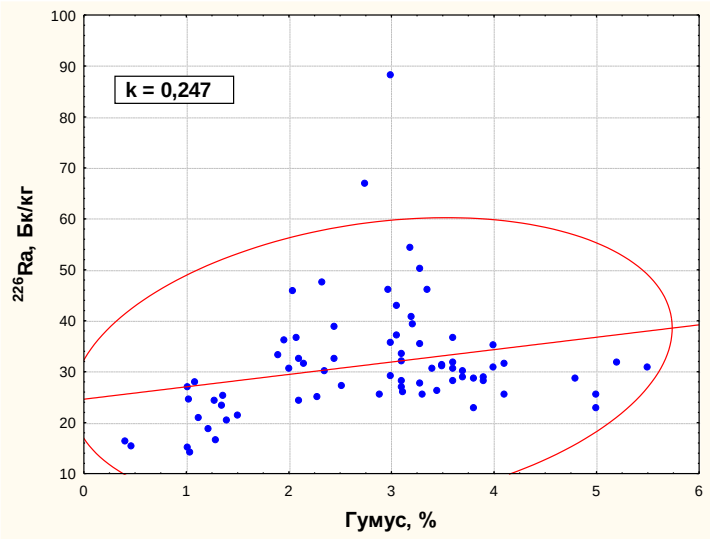



Рисунок 6.30 – Содержание гумуса и удельная активность $^{226}$Ra (Бураева и Безуглова, 2022; Buraeva et al., 2015)

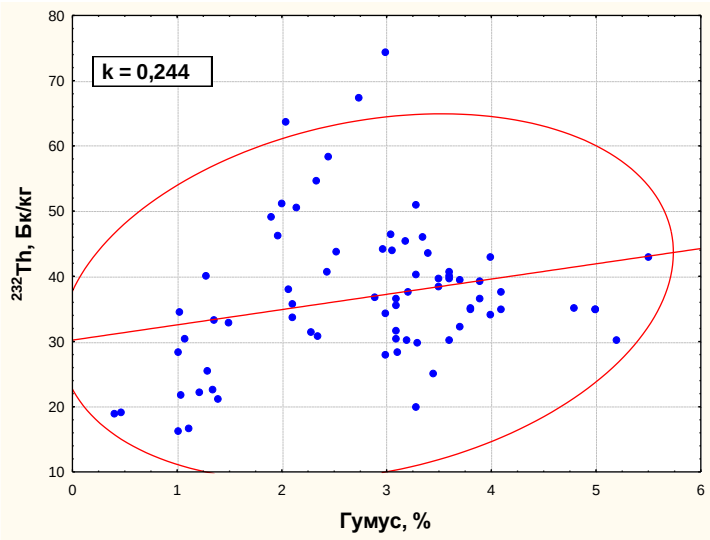



Рисунок 6.31 – Содержание гумуса и удельная активность $^{232}$Th (Бураева и Безуглова, 2022; Buraeva et al., 2015)

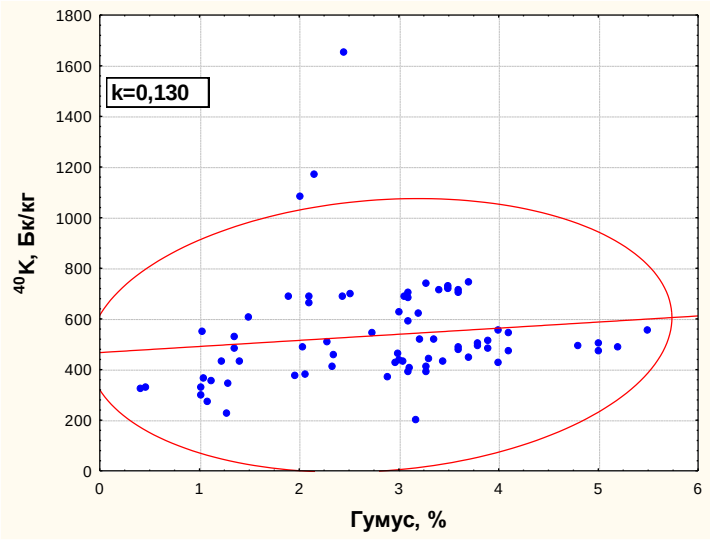



Рисунок 6.32 – Содержание гумуса и удельная активность $^{40}$K (Бураева и Безуглова, 2022; Buraeva et al., 2015)

На рис. 6.33–6.35 представлены диаграммы рассеяния, на которых показаны зависимости удельных активностей $^{232}$Th, $^{226}$Ra и $^{40}$K в почвах региона исследования от уровня pH. На диаграммах также приведены коэффициенты корреляции Пирсона (r).

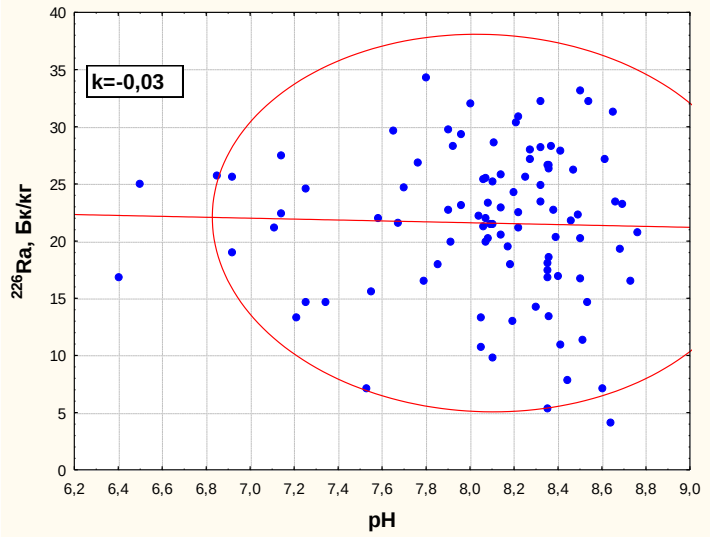



Рисунок 6.33 – Уровень pH и удельная активность $^{226}$Ra (Бураева и Безуглова, 2022)

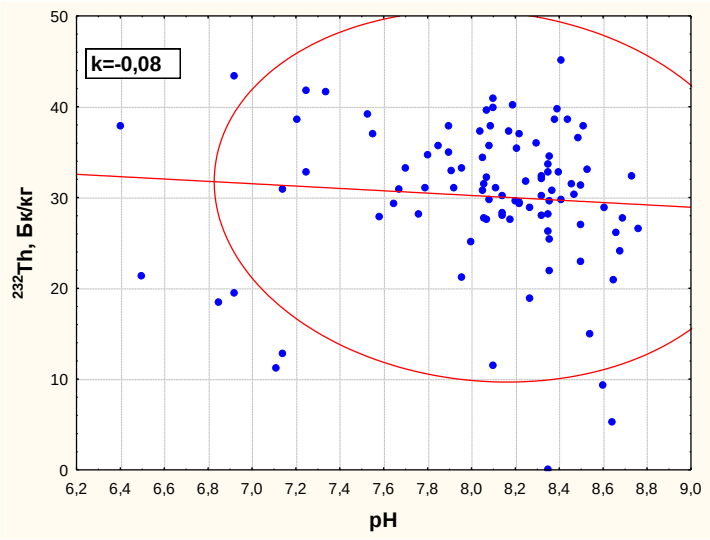



Рисунок 6.34 – Уровень pH и удельная активность $^{232}$Th (Бураева и Безуглова, 2022)

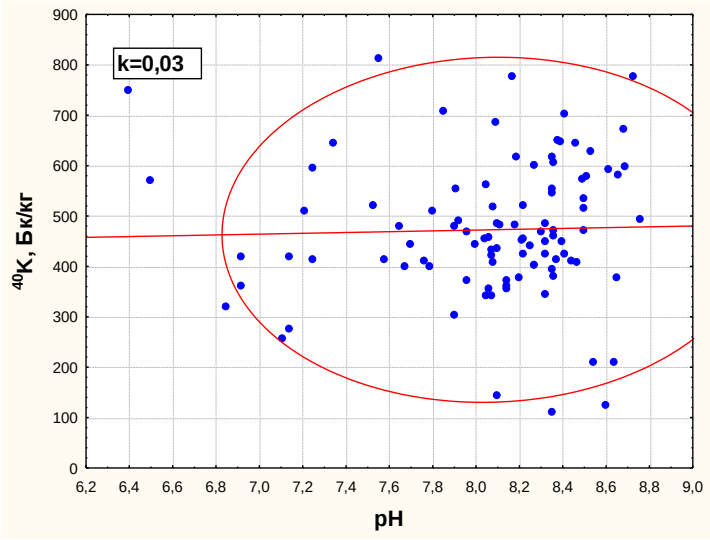



Рисунок 6.35 – Уровень pH и удельная активность $^{240}$K (Бураева и Безуглова, 2022)

Почвы степных регионов Ростовской области отличаются нейтральной и слабощелочной реакцией среды, что может оказывать слабое влияние на подвижность данных природных радионуклидов.

Для горных территорий зависимость коэффициента поглощения от наличия органического вещества очевидна, но далека от прямой пропорциональности, что вероятно, обусловлено разнокачественностью состава гумуса (Бураева и Безуглова, 2022). Так, в бурой лесной почве наблюдается уменьшение величины коэффициента поглощения с ростом гумусированности, что с нашей точки зрения, свидетельствует о превалировании в составе многогумусной бурой лесной почвы кислого грубого гумуса типа модер, в то время как в малогумусной почве гумус типа муль

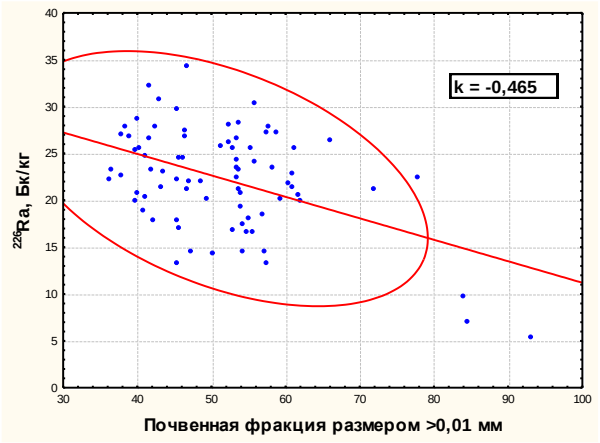
обеспечивает высокую поглотительную способность по отношению к токсикантам различной природы, в том числе и к цезию (Бураева и Безуглова, 2022).

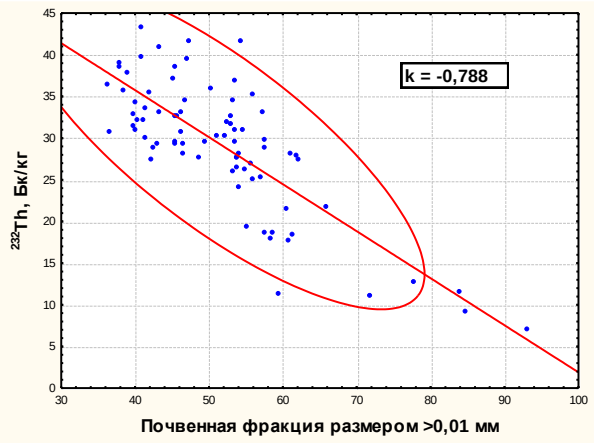
В то же время в горно-луговой альпийской, сформированной на элювии известняков, отмечено резкое увеличение коэффициента поглощения. Причина такого явления, скорее всего, кроется в особенностях фракционно-группового состава гумуса, характеризующегося значительно более высоким участием гуминовых кислот, и в частности, гуматов кальция, чем в гумусе бурой лесной почвы (Кутровский & Вальков, 2005).

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 на участке с луговыми почвами (Бураева и Безуглова, 2022).

Связь процессов поглощения с величиной pH более прямолинейная. Приведенные в табл.6.7 данные убедительно свидетельствуют, что кислая pH способствует росту коэффициента поглощения, а в нейтральных условиях коэффициент поглощения снижается (Бураева и Безуглова, 2022).

Ниже, на рис. 6.36–6.37 приведены диаграммы рассеяния для визуализации зависимостей удельный активностей $^{232}$Th, $^{226}$Ra и $^{40}$K от гранулометричекого состава почвы (Бураева и Безуглова, 2022).



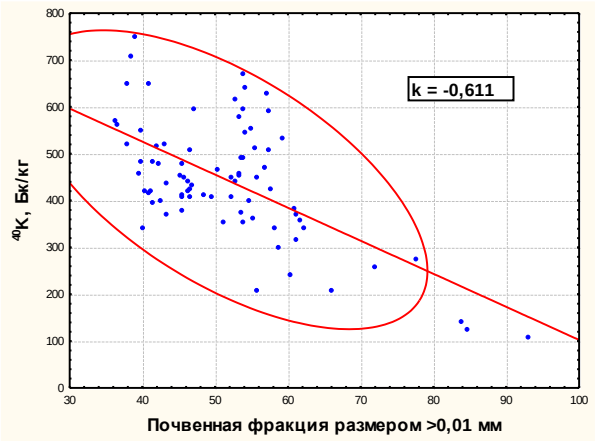



Рисунок 6.36 – Удельная активность естественных радионуклидов и почвенные фракции размером >1 мм (Бураева и Безуглова, 2022)

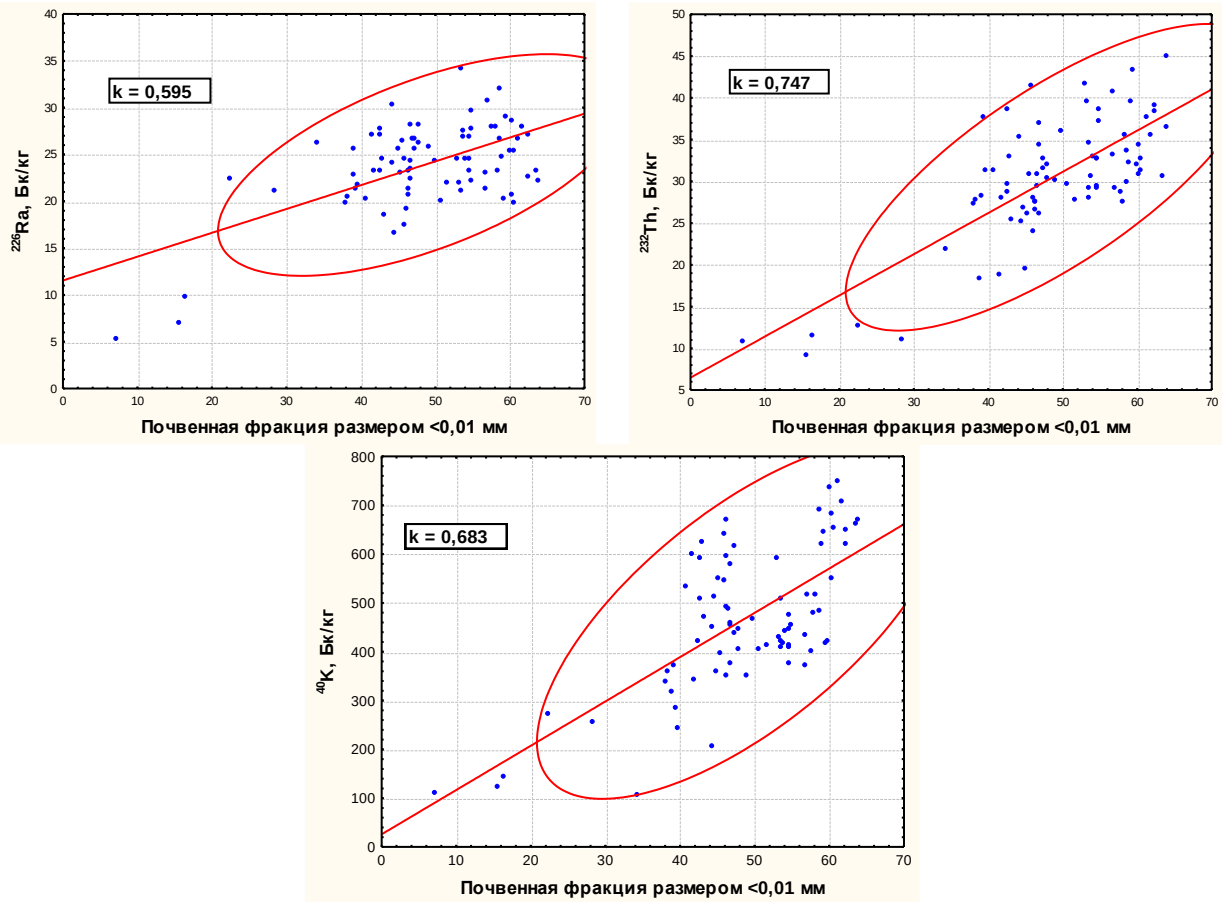



Рисунок 6.37 – Удельная активность естественных радионуклидов и почвенные фракции размером <1 мм (Бураева и Безуглова, 2022)

Как видно из диаграмм рассеяния имеет место устойчивая положительная зависимость между удельными активностями естественных радионуклидов и содержанием физической глины (Бураева и Безуглова, 2022). Это обусловлено высокими сорбционными способностями глинистых почвенных фракций. Ряд исследований, посвященных распределению ЕРН, в зависимости от свойств почвы

показал, что состав гранулометрических фракций оказывает заметное влияние на подвижность $^{226}$Ra. Установлен сходный характер распределения $^{226}$Ra и органического вещества в составе гранулометрических фракций (Носкова и Шуктомова, 2015). Высокое содержание в почвах, например, смектита и иллита, способных к межпакетной сорбции вещества, способствуют увеличению, как органического вещества, так и $^{226}$Ra (Носкова и Шуктомова, 2015). Более низкие коэффициенты корреляции между почвенными фракциями и удельной активностью $^{232}$Th (рис. 6.37) могут быть связаны с тем, что прочно сорбированный почвой торий, достаточно активно вовлекается в процессы иллювиирования (Рачкова и Шуктомова, 2015).

**В результате анализа и обобщения данных, представленных в Главе 6 можно сделать следующие выводы:**

– В распределении искусственного радиоцезия по глубине почвенного профиля и в горных и в степных районах можно выделить два типа: «диффузионный» – с максимумом удельной активности данного радионуклида в верхнем почвенном слое и «промывной» – максимум удельной активности смещен вглубь почвенного провиля. Часто встречаются «размытые» профили радиоцезия. Подобные «промывные» профили радиоцезия характерны для, например, влажных лугово-черноземных, лугово-каштановых, аллювиально-луговых почв степной зоны и большинства зональных и интразональных почв, сформированных в горных условиях.

– На распределение естественных радионуклидов в почвах значимое влияние оказывает гранулометрический состав – чередование глинистых и песчаных горизонтов, что особо ярко прослеживается в почвах, сформированных на песчаных аллювиальных отложениях. Выявлена сильная положительная взаимосвязь между удельной активностью ЕРН и содержанием физической глины и отрицательная связь с содержанием физического песка.

– Положение контрольного участка в рельефе влияет на перераспределение радиоцезия со временем по глубине почвенного профиля – особо ярко на

территориях со сложным рельефом и развитыми склоновыми процессами. Причем в условиях степей также значимую роль в процессах сорбции цезия играет содержание гумуса (почвы преимущественно тяжелосуглинистого гранулометрического состава), а в горных условиях – еще и ГМС.

# 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

Мхи зарекомендовали себя как хорошие индикаторы загрязненности приземного слоя воздуха (например: Vosel et.al., 2021; Movsisyan et.al, 2021), что особо актуально для урбанизированных территорий и, особенно, промышленных центров. Различные поллютанты (в том числе и радиоактивные элементы – радионуклиды) попадают во мхи в результате сухих и мокрых выпадений.

На степных территориях (особенно, в условиях сухих степей) ветровой подъем пыли с подстилающей поверхности может являться преобладающим источником загрязнения атмосферного воздуха (Махонько, 1992; Гаргер и Гаврилов, 1992; Hernandez et al., 2005, Karlsson et al., 2008). На урбанизированных территориях дополнительный вклад в загрязненность атмосферы вносят выхлопы автотранспорта, выбросы различных предприятий, эрозия (и коррозия) строительных конструкций и дорожных покрытий. Также аэрозольная пыль является переносчиком радионуклидов на значительные расстояния (Стыро, 1968; Ивлев и Довгалюк, 1999) что представляет собой опасность для населения и окружающей среды. В связи с вышесказанным, при биомониторинге также целесообразно оценивать и удельную активность радионуклидов в почвах территорий произрастания мха.

Оценку удельной активности радионуклидов во мхах проводили в 2009-2017 годах в степных регионах Ростовской области (высота над уровнем моря 0-100[34] м), в том числе и г. Ростове-на-Дону, Майкопской районе Республики Адыгея (высота над уровнем моря 550-600 м), в окрестностях села Терскол Республики Кабардино-Балкария (высота над уровнем моря 1800-1900м) и в Национальном парке Алания Республики Северная Осетия – Алания (высота над уровнем моря 2000-2200 м). Результаты по удельной активности радионуклидов во мхах оформлены в виде

[34] В работе указана высота над уровнем моря в районе размещения мониторинговых площадок (контрольных участков)

базы[35] данных и представлены в Приложении 1, п. П1.2. Исследования по концентрации и распределению радионуклидов и металлов во мхах, работы по оценке загрязненности и геностоксичности приземной атмосферы при помощи объектов бриофлоры отражены в серии коллективных публикаций автора (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Сазыкина и др., 2011; Сазыкина и др., 2013; Сазыкина и др., 2016; Шиманская, 2014г; Varduni et al., 2014; Чохели и др., 2016а; Чохели и др., 2016б).

Ниже, на рис. 7.1 и в таблице 7.1 приведены особенности распределения радионуклидов в почвенных образцах (слой 0–10 см) и во мхах (без дифференциации по регионам Северного Кавказа). Статистическая обработка радионуклидного состава почв и мхов проведена по всем регионам исследования (Ростовская область, Республики Северная Осетия – Алания, Кабардино-Балкария и Адыгея). Так как методики гамма-спектрометрического анализа удельной активности радионуклидов предполагают наличие определенной массы (объема) пробы, то в работе не проводился радионуклидный анализ разных видов мхов. Оценивались сводные пробы, в которые входили различные представители эпифитных мхов, произрастающие на контрольных участках.

[35] **Удельная активность радионуклидов в объектах бриофлоры Республики Адыгея в 2012-2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621421 РФ / Аветисян С.Р., Арысланова Ф.Ш., Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Кубрина В.К., Москалев Н.Н., Нефедов В. С., Стасов В.В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621152; заявл.23.08.2016; дата гос. рег. 21.10.2016.

**Удельная активность радионуклидов в объектах бриофлоры г. Ростова-на-Дону в 2009 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621423 РФ / Аветисян С.Р., Арысланова Ф. Ш., Бураева Е. А., Дергачева Е. В., Кубрина В.К., Москалев Н.Н., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621154; заявл.23.08.2016; дата гос. рег. 21.10.2016.

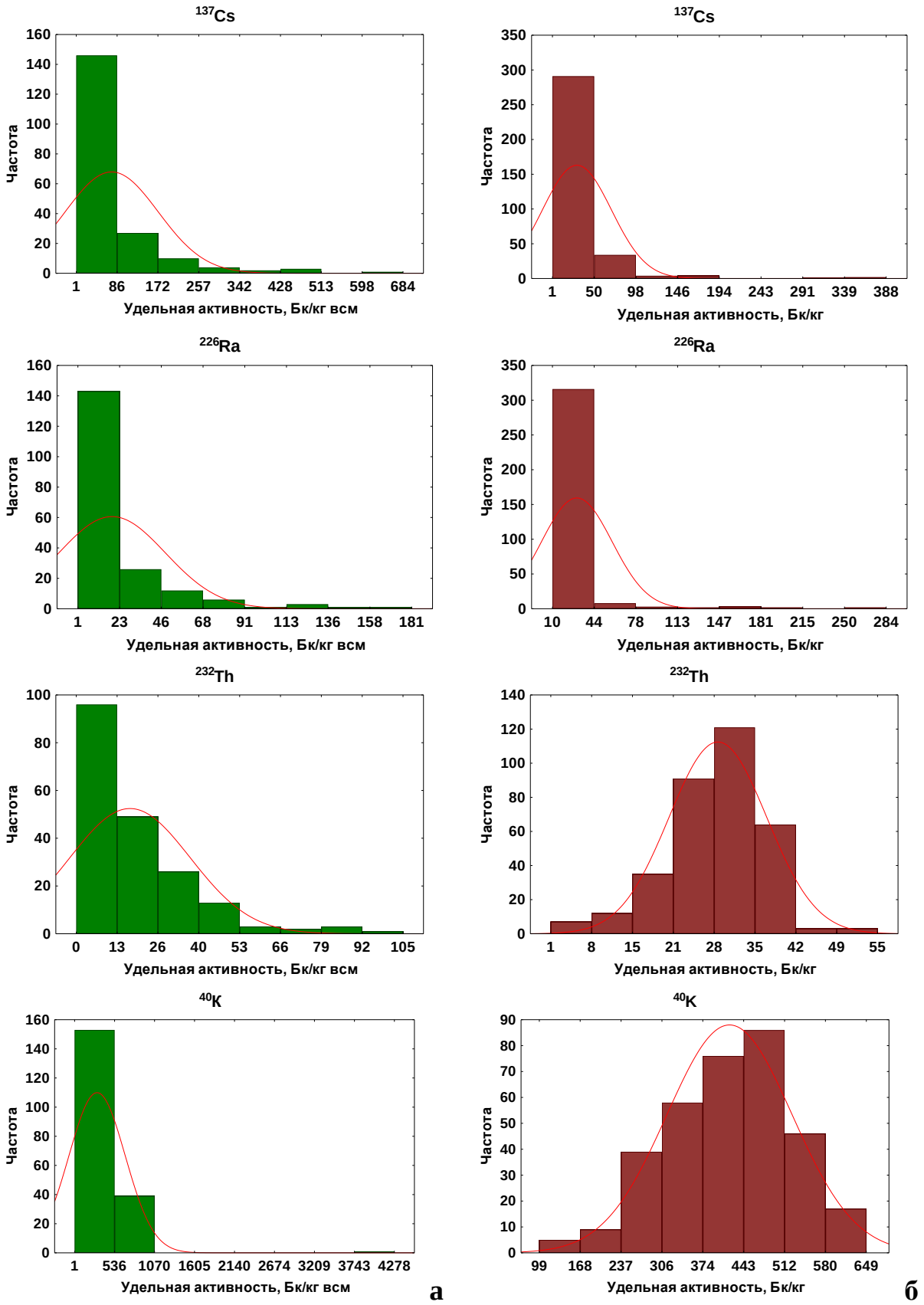



Рисунок 7.1 – Распределение радионуклидов во мхах (а) и в почвах (б) в регионах Северного Кавказа (без дифференциации по регионам Северного Кавказа)

Таблица 7.1 – Радионуклиды в образцах почвы и мохообразных (без дифференциации по регионам Северного Кавказа) (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Сазыкина и др., 2011; Сазыкина и др., 2013; Сазыкина и др., 2016; Шиманская, 2014г; Varduni et al., 2014)

| Параметр | Радионуклид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| ***Мох*** | | | | |
| 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 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг всм | 7,0 | 2,1 | 1,4 | 26,9 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг всм | 96,7 | 28,5 | 19,2 | 374,3 |
| Дисперсия выборки | 9349,5 | 813,4 | 369,2 | 140108,4 |
| Эксцесс | 12,0 | 9,2 | 4,0 | 66,0 |
| Асимметричность | 3,1 | 2,7 | 1,8 | 6,5 |
| Количество образцов, шт | 193 | | | |
| ***Почвы*** | | | | |
| Минимум, Бк/кг всм | 1,4 | 9,6 | 0,9 | 99,4 |
| Максимум, Бк/кг всм | 387,6 | 284,1 | 55,4 | 649,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг всм | **29,5** | **29,5** | **28,6** | **417,3** |
| Среднее геометрическое, Бк/кг всм | 19,1 | 25,2 | 26,9 | 402,0 |
| Медиана, Бк/кг всм | 18,5 | 24,8 | 29,5 | 429,0 |
| Мода, Бк/кг всм | 15,6 | 30,1 | 29,2 | 429,0 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг всм | 2,2 | 1,6 | 0,4 | 5,7 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг всм | 39,7 | 28,9 | 8,1 | 104,7 |
| Дисперсия выборки | 1576,9 | 832,6 | 66,0 | 10954,3 |
| Эксцесс | 42,1 | 38,5 | 0,8 | -0,2 |
| Асимметричность | 5,6 | 5,8 | -0,5 | -0,3 |
| Количество образцов, шт | 336 | | | |

Распределение радионуклидов во мхах и почвах неравномерное, обусловленное разнородностью контрольных участков – высота над уровнем моря, степень урбанизации, почвенных покров, материнские породы, климатические условия и запыленность приземной атмосферы. Средние арифметические удельные

активности естественных радионуклидов $^{226}Ra$, $^{232}Th$ и $^{40}K$ во мхах и почвах сопоставимы в пределах неопределенности измерений (30-35%), при этом во мхах средние геометрические удельные активности данных элементов в два-три раза ниже, чем в почвах (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Сазыкина и др., 2011; Сазыкина и др., 2013; Сазыкина и др., 2016; Шиманская, 2014г; Varduni et al., 2014).

Это может быть обусловлено тем, что данные радионуклиды поступают во мхи с пылью (все образцы отбирались со стволов деревьев на высоте от поверхности земли до полутора метров). Как правило, в горных районах мхи произрастают на нижней части стволов деревьев, на выступающих корнях. Также не исключено загрязнение мха радионуклидами в результате сухих выпадений аэрозольной пыли (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Сазыкина и др., 2011; Сазыкина и др., 2013; Сазыкина и др., 2016; Шиманская, 2014г; Varduni et al., 2014).

Искусственный радионуклид $^{137}Cs$ выпадал на поверхность почвы неравномерно, образуя пятна и полосы (Атлас, 1998; Атлас, 2009). В условиях сильно-расчлененного рельефа усиливается миграция данного радионуклида по склонам с накоплением в понижениях рельефа, ущельях, долинах, овражно-балочных системах.

Отмечаются и существенные вариации данного радионуклида, обусловленные развитым микрорельефом местности. Ямки, кочки, бугорки – формируют в пределах модельной площадки градиенты температур и влаги, что приводит к значимым колебаниям удельной активности радиоцезия на достаточно небольших участках (в пределах 1 га и меньше) (Линник, 2008; Линник и др., 2017).

### 7.1.2. Распределение радионуклидов во мхах на различной высоте над уровнем моря

В данном разделе представлены особенности распределения естественных радионуклидов и искусственного радиоцезия в образцах мхов в различных регионах Северного Кавказа и, как следствие, в разных условиях произрастания (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Сазыкина и др., 2011; Сазыкина и др., 2013; Сазыкина и др., 2016; Шиманская, 2014г; Varduni et al., 2014).

Ниже (на рис. 7.2 и в табл. 7.2) приведены особенности распределения удельной активности радионуклидов во мхах на контрольных участках, расположенных в Ростовской области и Республиках Адыгея. Северная Осетия – Алания и Кабардино-Балкария.

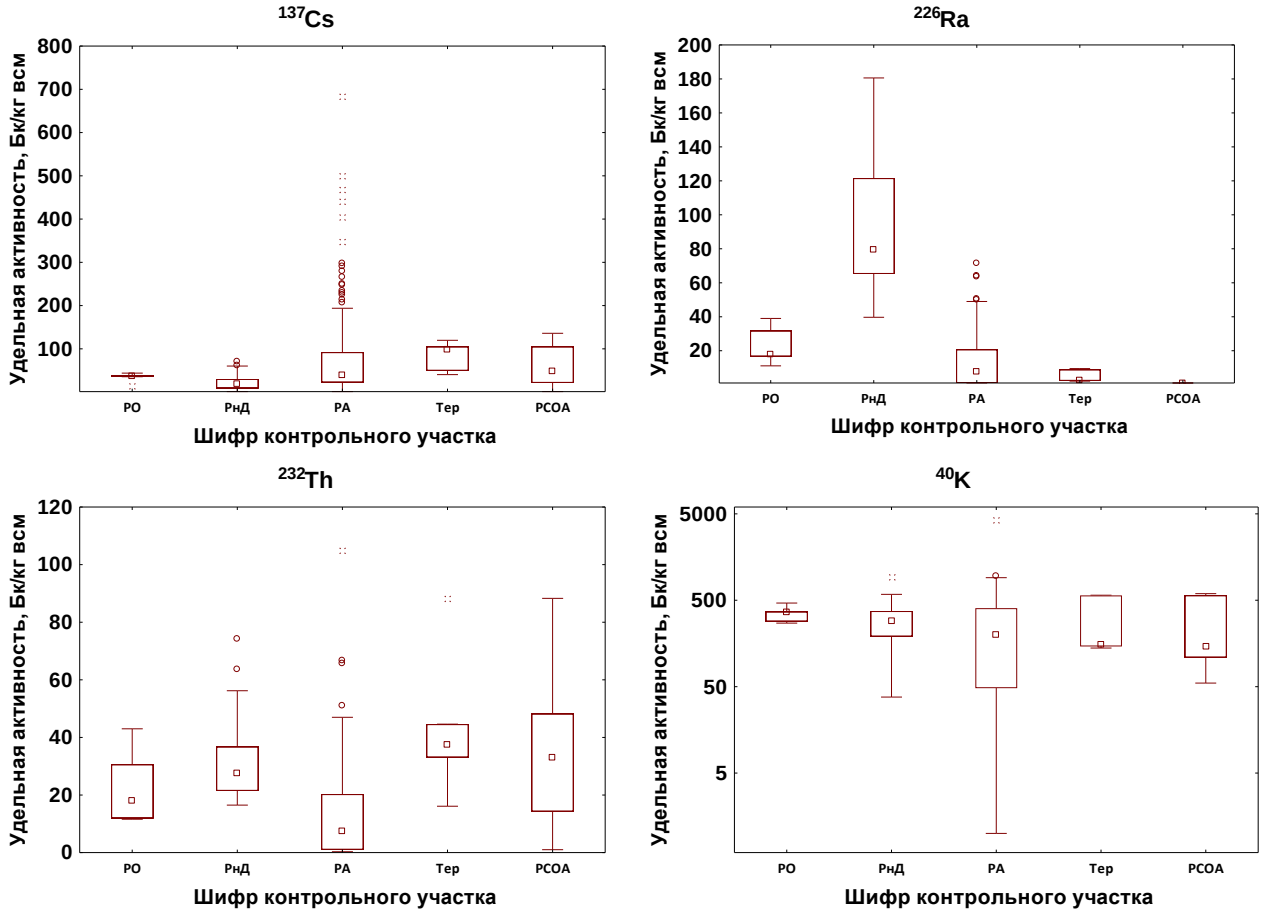


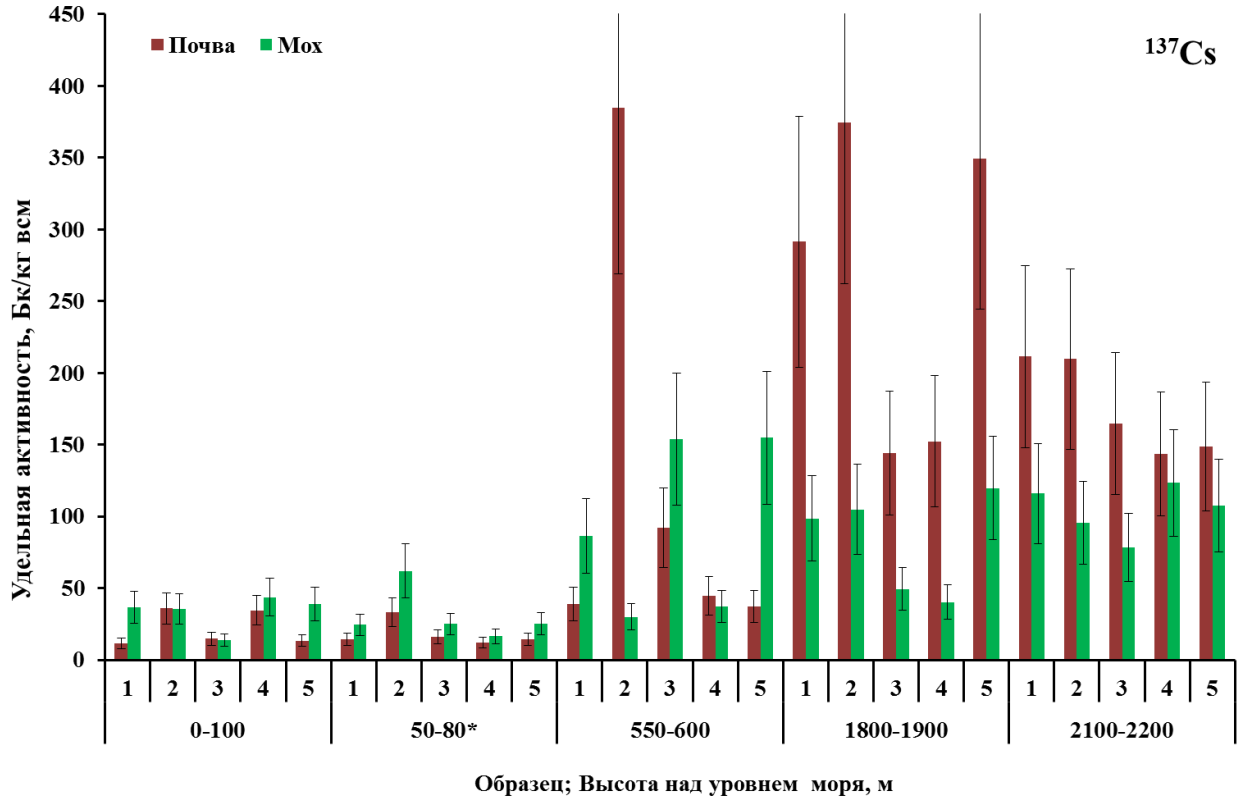

Рисунок 7.2 – Распределение радионуклидов во мхах в регионах Северного Кавказа

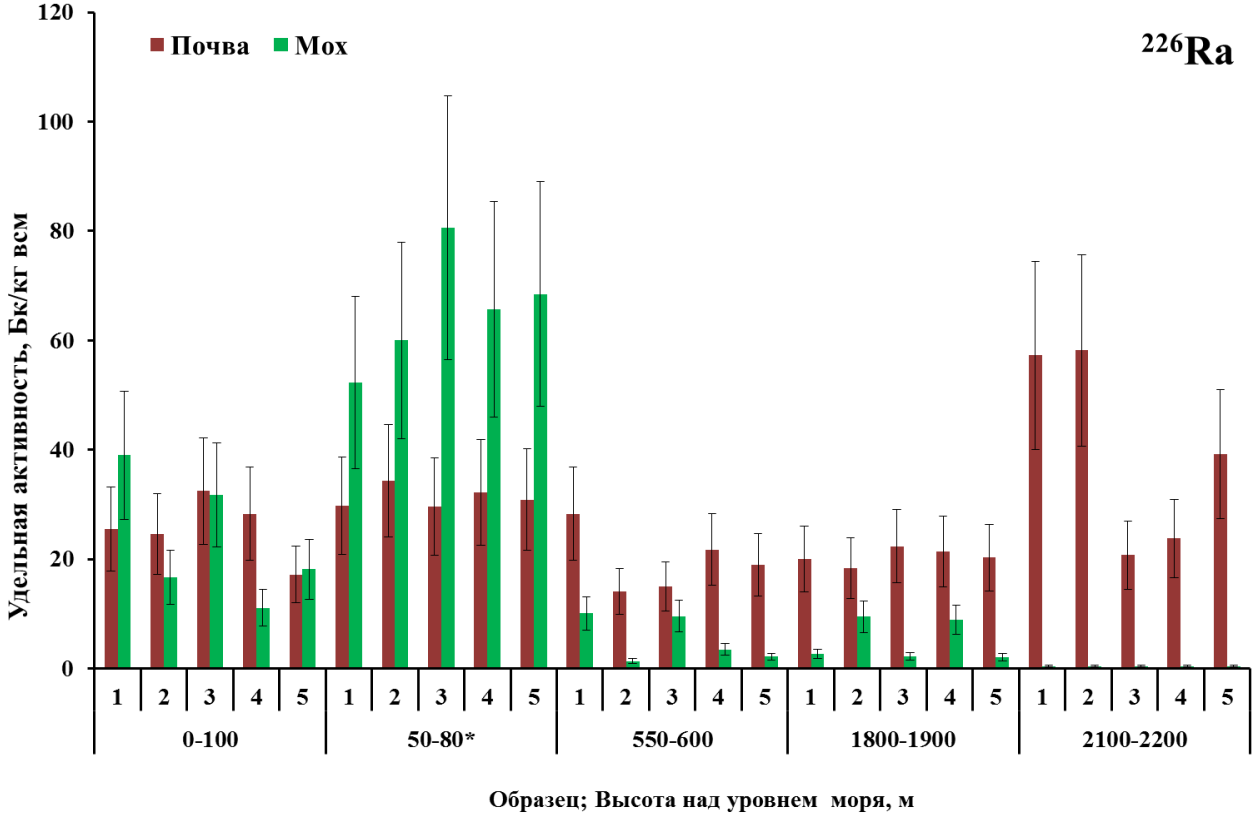
Таблица 7.2 – Удельная активность радионуклидов во мхах в регионах Северного Кавказа (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Сазыкина и др., 2011; Сазыкина и др., 2013; Сазыкина и др., 2016; Шиманская, 2014г; Varduni et al., 2014)

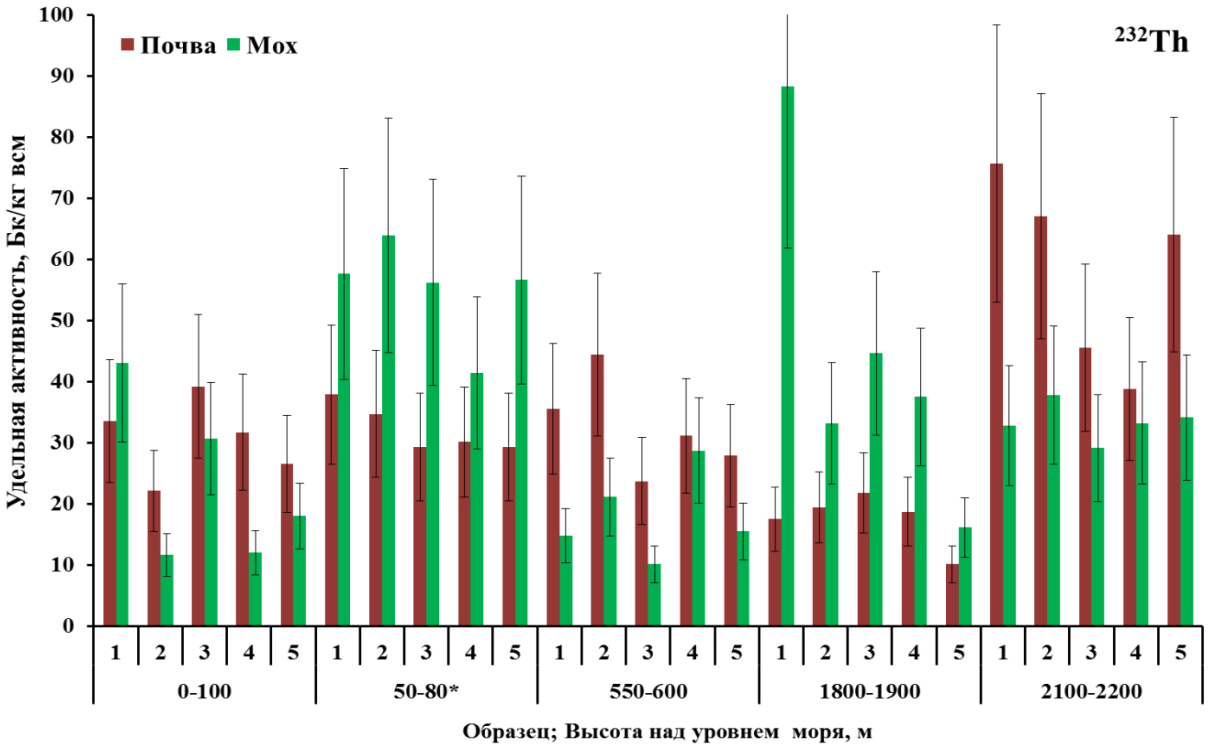
| Параметр | Радионуклид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| ***Ростовская область*** | | | | |
| Минимум, Бк/кг всм | 14,1 | 11,1 | 11,6 | 271,7 |
| Максимум, Бк/кг всм | 43,8 | 39,0 | 43,0 | 464,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг всм | **33,9** | **23,3** | **23,0** | **350,0** |
| Среднее геометрическое, Бк/кг всм | 17,0 | 84,9 | 30,3 | 268,1 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг всм | 11,5 | 11,6 | 13,5 | 77,2 |
| Коэффициент вариации, % | 33,9 | 49,6 | 58,8 | 22,0 |
| Количество образцов, шт | 5 | | | |
| ***г. Ростов-на-Дону*** | | | | |
| Минимум, Бк/кг всм | 1,0 | 39,7 | 16,5 | 37,9 |
| Максимум, Бк/кг всм | 71,4 | 180,6 | 74,4 | 948,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг всм | **25,5** | **92,0** | **33,4** | **327,1** |
| Среднее геометрическое, Бк/кг всм | 17,0 | 84,9 | 30,3 | 268,1 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг всм | 21,4 | 39,0 | 16,9 | 213,0 |
| Коэффициент вариации, % | 84 | 42 | 51 | 65 |
| Количество образцов, шт | 16 | | | |
| ***Республика Адыгея*** | | | | |
| Минимум, Бк/кг всм | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 10,0 |
| Максимум, Бк/кг всм | 683,6 | 71,5 | 105,0 | 4278,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг всм | **81,4** | **13,5** | **13,3** | **293,8** |
| Среднее геометрическое, Бк/кг всм | 44,7 | 5,7 | 5,6 | 129,5 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг всм | 105,1 | 15,7 | 15,9 | 405,4 |
| Коэффициент вариации, % | 129 | 116 | 120 | 138 |
| Количество образцов, шт | 155 | | | |
| ***Республика Кабардино-Балкария*** | | | | |
| Минимум, Бк/кг всм | 40,4 | 2,1 | 16,1 | 140,0 |
| Максимум, Бк/кг всм | 119,8 | 9,5 | 88,3 | 572,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг всм | **82,7** | **5,1** | **43,9** | **316,4** |
| Среднее геометрическое, Бк/кг всм | 75,7 | 4,1 | 37,9 | 252,7 |
| Стандартное отклонение | 35,4 | 3,8 | 26,9 | 232,0 |
| Коэффициент вариации, % | 43 | 74 | 61 | 73 |
| Количество образцов, шт | 5 | | | |
| ***Республика Северная Осетия - Алания*** | | | | |
| Минимум, Бк/кг всм | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 55,0 |
| Максимум, Бк/кг всм | 136,0 | 1,0 | 88,3 | 597,0 |

| Параметр | Радионуклид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| Среднее арифметическое, Бк/кг всм | **62,8** | **1,0** | **36,2** | **301,2** |
| Среднее геометрическое, Бк/кг всм | 27,2 | 1,0 | 19,8 | 206,3 |
| Стандартное отклонение | 49,5 | 0,0 | 29,5 | 240,5 |
| Коэффициент вариации, % | 79 | 0 | 81 | 80 |
| Количество образцов, шт | 12 | | | |

Ниже, на рис. 7.3 представлено высотное распределение радионуклидов в отдельных образцах мхов и почв, отобранных в различных регионах Северного Кавказа. Для сравнения пробы отбирались в лесополосах Ростовской области, в Майкопском районе Республики Адыгея, районе поселка Терскол (Республика Кабардино-Балкария) и в высокогорных районах Ирафского района в Национальном парке Алания (Республика Северная Осетия). Отдельно вынесены данные по г. Ростову-на-Дону (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Сазыкина и др., 2011; Сазыкина и др., 2013; Сазыкина и др., 2016; Шиманская, 2014г; Varduni et al., 2014).


Почва
Мох
137Cs
Удельная активность, Бк/кг всм
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5
0-100
50-80*
550-600
1800-1900
2100-2200
Образец; Высота над уровнем моря, м


Почва
Мох
226Ra
Удельная активность, Бк/кг всм
120
100
80
60
40
20
0
1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5 1 2 3 4 5
0-100
50-80*
550-600
1800-1900
2100-2200
Образец; Высота над уровнем моря, м



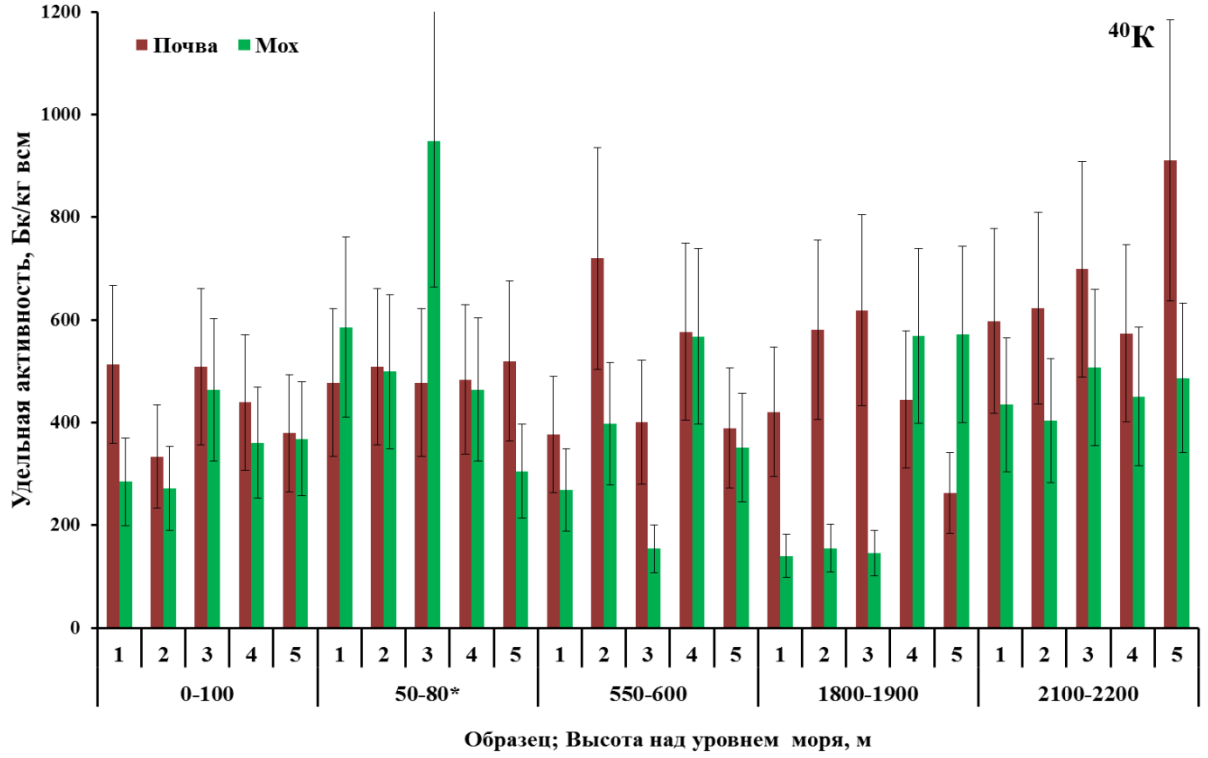




Рисунок 7.3 – Высотное распределение удельной активности радионуклидов во мхах и почве. *г. Ростов-на-Дону

Высокие удельные активности искусственного $^{137}$Cs установлены в почвах и мхах в горных условиях Северного Кавказа (табл. 7.2, рис. 7.2 и 7.3). Это, как подчеркивалось ранее, обусловлено положением контрольных участков в рельефе,

неравномерным выпадением данного радионуклида после аварии на Чернобыльской АЭС и особенностями радиальной и латеральной миграции радиоцезия в разных климатических условиях и на территориях со сложным сильно расчлененным рельефом (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Сазыкина и др., 2011; Сазыкина и др., 2013; Сазыкина и др., 2016; Шиманская, 2014г; Varduni et al., 2014).

Стоит отметить максимально широкие вариации удельной активности радиоцезия во мхах горной Адыгеи (рис. 7.2), обусловленный, в первую очередь длительностью исследований (и, как следствие, значительным фактическим материалом) и разнородностью контрольного участка в пределах региона – точки отбора расположены в поймах рек, на склонах и на дне ущелий (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Сазыкина и др., 2011; Сазыкина и др., 2013; Сазыкина и др., 2016; Шиманская, 2014г; Varduni et al., 2014).

Повышенные содержания естественного радионуклида $^{226}$Ra во мхах отмечаются для условий города Ростова-на-Дону (урбанизированная территория). Подобное распределение удельной активности $^{226}$Ra в образцах мхов территорий г. Ростова-на-Дону может быть связано с работой промышленных предприятий, использующих углеводородное топливо и выхлопами автотранспорта (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Varduni et al., 2014).

Достаточно высокие удельные активности $^{232}$Th и $^{40}$K во мхах высокогорий могут быть обусловлены накоплением радионуклидов как в результате сухих выпадений аэрозольной пыли, так и наличием почв и пород с высоким содержанием данных радионуклидов (Уткин и др., 2010; Жучков и др., 2012; Павленко и др., 2021;

Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б).

Для оценки особенностей концентрации радионуклидов во мхах в зависимости от положении контрольного участка в рельефе на примере Майкопского района Республики Адыгея были проведены дополнительные исследования удельной активности данных поллютантов.

На рис. 7.4 и в таблице 7.3 представлены данные по содержанию радионуклидов в почвах горной Адыгеи на разных контрольных участках (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Сазыкина и др., 2011; Сазыкина и др., 2013; Сазыкина и др., 2016; Шиманская, 2014г; Varduni et al., 2014).

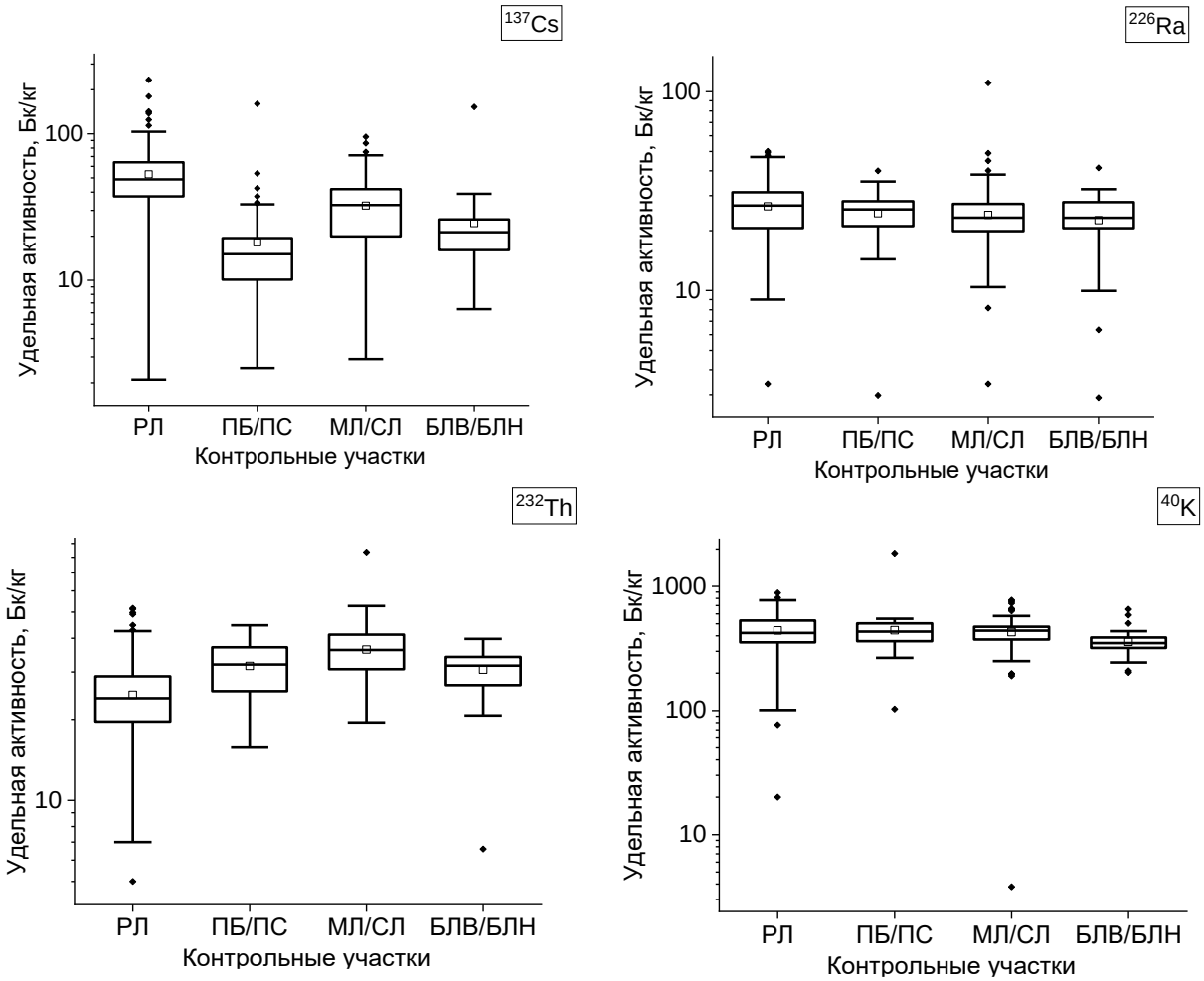



Рисунок 7.4 – Распределение радионуклидов в почвах Майкопского района, Республика Адыгея на различных контрольных участках

Таблица 7.3 – Распределение радионуклидов в почвах Майкопского района, Республика Адыгея на различных контрольных участках (Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019)

| Параметр | Шифр участка | | | |
|---|---|---|---|---|
| | РЛ | ПБ/ПС | МЛ/СЛ | БЛВ/БЛН |
| ***$^{137}Cs$*** | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 2,1 | 2,5 | 2,9 | 6,3 |
| Максимум, Бк/кг | 233,8 | 160,2 | 95,4 | 152,7 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | **52,9** | **18,1** | **32,3** | **24,5** |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 45,7 | 14,3 | 28,1 | 21,2 |
| Медиана, Бк/кг | 48,85 | 15,0 | 32,6 | 21,2 |
| Мода, Бк/кг | 60,4 | 10,18 | 24,5 | 19,9 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 2,0 | 2,2 | 1,3 | 2,8 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 28,7 | 19,1 | 15,8 | 20,0 |
| Коэффициент вариации, % | 54 | 106 | 49 | 82 |
| Количество проб, шт | 206 | 74 | 148 | 50 |
| ***$^{226}Ra$*** | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 3,4 | 3,0 | 3,4 | 2,9 |
| Максимум, Бк/кг | 50,1 | 40,0 | 110,7 | 41,4 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | **26,5** | **24,5** | **24,0** | **23,5** |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 25,1 | 23,9 | 22,6 | 22,0 |
| Медиана, Бк/кг | 26,8 | 25,6 | 23,2 | 23,22 |
| Мода, Бк/кг | 26,9 | 25,8 | 24,8 | – |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 8,0 | 6,3 | 9,7 | 6,7 |
| Коэффициент вариации, % | 30 | 26 | 40 | 29 |
| Количество проб, шт | 206 | 74 | 148 | 50 |
| ***$^{232}Th$*** | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 5,0 | 15,7 | 19,5 | 6,6 |
| Максимум, Бк/кг | 51,7 | 44,7 | 83,6 | 39,8 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | **24,7** | **31,5** | **36,3** | **30,5** |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 23,4 | 30,7 | 35,4 | 29,8 |
| Медиана, Бк/кг | 23,9 | 32,0 | 36,18 | 31,7 |
| Мода, Бк/кг | 30,8 | – | 39,8 | – |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 0,8 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 7,9 | 7,0 | 8,4 | 5,8 |
| Коэффициент вариации, % | 32 | 22 | 23 | 19 |
| Количество проб, шт | 206 | 74 | 148 | 50 |
| ***$^{40}K$*** | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 20,0 | 103,0 | 3,8 | 203,0 |
| Максимум, Бк/кг | 886,0 | 1855,0 | 774,0 | 654,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | **441,4** | **443,6** | **427,7** | **357,4** |

| Параметр | Шифр участка | | | |
|---|---|---|---|---|
| | РЛ | ПБ/ПС | МЛ/СЛ | БЛВ/БЛН |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 412,3 | 422,2 | 407,3 | 349,8 |
| Медиана, Бк/кг | 421,8 | 432,5 | 440,0 | 349,0 |
| Мода, Бк/кг | 338,0 | 510,0 | 438,0 | 349,0 |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 10,5 | 21,6 | 8,1 | 11,03 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 146,8 | 186,2 | 98,2 | 78,0 |
| Коэффициент вариации, % | 33 | 42 | 23 | 22 |
| Количество проб | 206 | 74 | 148 | 50 |

Вариации радионуклидов в почвах на разных контрольных участках составляют от 20% до 100% и более (табл. 7.3), что обусловлено, в первую очередь, положением КУ в рельефе (Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014). КУ РЛ расположен на дне ущелья и отличается высокими содержаниями радионуклидов, почвы – ранкер лесной на элювии гранитов. Остальные КУ заложены на выровненных участках, причем ПБ/ПС (СС-6) – в поймах рек Белая и Сюк (почвы – дерново-аллювиальные, причем на ПБ на аллювиальных отложениях, ПС – на элювии гранитов), БЛВ/БЛН – бурые лесные почвы, пологий склон в ущелье реки Сюк; МЛ/СЛ – луговые почвы на валунно-галечниковых отложениях различного генезиса, участок расположен на второй надпойтенной террасе реки Белая. Почвы разного гранулометрического состава, с разным содержанием гумуса, кислые и, как следствие, отличаются различной сорбционной способностью (Вальков и др., 2002; Вальков и др., 2008; Бураева и Безуглова, 2022; Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019)).

На всех участках достаточно явно выражен и микрорельеф – ямки, впадины, промоины, бугорки, что также может увеличивать коэффициенты вариации радионуклидов в пределах контрольного участка.

Почвообразующие породы – от достаточно высокоактивных гранитов, до низкоактивных аргиллитов – могут оказывать влияние на концентрацию естественных радионуклидов. Все почвы в разной степени каменистые, и мельчайщие фрагменты пород могут обуславливать в отдельных пробах высокие

удельные активности ЕРН (до пяти раз превышают средние концентрации радионуклидов по КУ) (Уткин и др., 2010; Жучков и др., 2012; Павленко и др., 2021; Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в; Попов и др., 2015б).

Стоит отметить, что минимальные коэффициенты вариации радионуклидов в почвах в пределах контрольного участка для всех КУ (табл. 7.4) получены для $^{232}$Th, что может быть обусловлено как химическими свойствами данного элемента, так и с его низкими (по сравнению с содержанием $^{226}$Ra и $^{40}$K) удельными активностями в материнских породах (Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2015; Дергачева и др., 2016а; Бураева и др., 2018е).

Ниже на рис. 7.5 и в таблице 7.4 представлены данные по содержанию радионуклидов во мхах на контрольных участках горной Адыгеи.

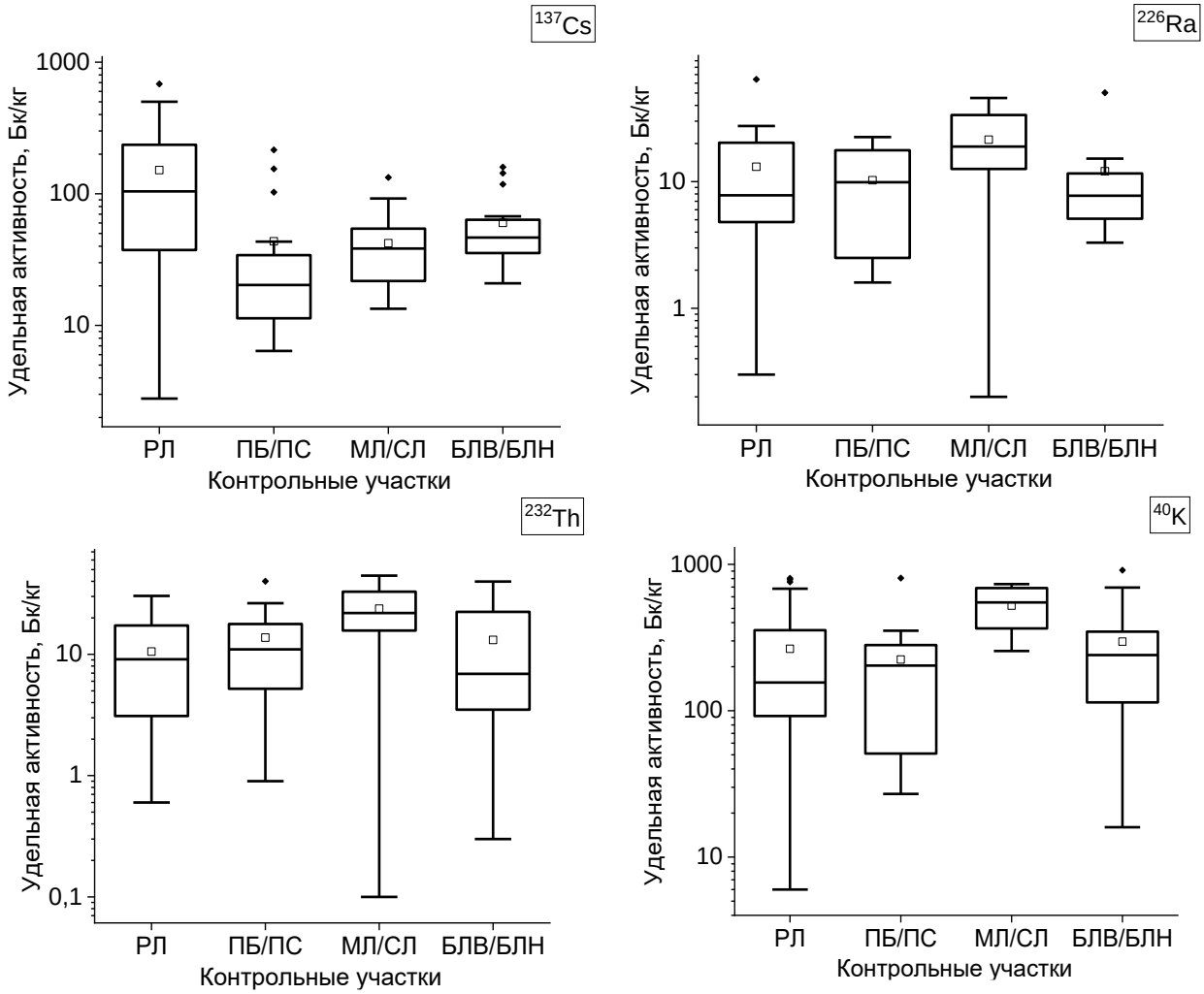



Рисунок 7.5 – Распределение радионуклидов во мхах Майкопского района, Республика Адыгея (Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014)

Таблица 7.4 – Распределение радионуклидов во мхах Майкопского района, Республика Адыгея (Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014)

| Параметр | Шифр участка | | | |
|---|---|---|---|---|
| | РЛ | ПБ/ПС | МЛ/СЛ | БЛВ/БЛН |
| $^{137}Cs$ | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 2,7 | 6,4 | 13,4 | 20,9 |
| Максимум, Бк/кг | 683,6 | 215,4 | 133,2 | 159,6 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 151,2 | 43,5 | 42,1 | 60,0 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 86,6 | 23,9 | 35,7 | 50,6 |
| Медиана, Бк/кг | 104,3 | 20,3 | 38,4 | 46,5 |
| Мода, Бк/кг | 235,7 | – | 66,8 | – |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 20,2 | 14,2 | 4,9 | 9,9 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 147,7 | 58,8 | 26,5 | 41,0 |
| Коэффициент вариации, % | 98 | 135 | 63 | 68 |
| Количество проб | 53 | 17 | 29 | 17 |
| $^{226}Ra$ | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 0,3 | 1,6 | 0,2 | 3,3 |
| Максимум, Бк/кг | 64,2 | 22,5 | 45,8 | 50,3 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 13,1 | 10,2 | 21,4 | 12,0 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 7,9 | 6,9 | 16,1 | 8,5 |
| Медиана, Бк/кг | 7,8 | 9,9 | 18,9 | 7,7 |
| Мода, Бк/кг | 27,5 | – | 39,1 | – |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 2,8 | 2,4 | 2,4 | 4,4 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 13,8 | 8,0 | 12,2 | 13,9 |
| Коэффициент вариации, % | 105 | 78 | 57 | 116 |
| Количество проб | 53 | 17 | 29 | 17 |
| $^{232}Th$ | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 0,6 | 0,9 | 0,1 | 0,3 |
| Максимум, Бк/кг | 30,3 | 40,1 | 44,6 | 39,8 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 10,5 | 13,7 | 23,7 | 13,1 |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 7,1 | 9,0 | 15,3 | 6,3 |
| Медиана, Бк/кг | 9,1 | 11,0 | 21,9 | 6,9 |
| Мода, Бк/кг | 17,3 | – | 13,7 | – |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 1,3 | 3,5 | 2,6 | 3,8 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 7,8 | 11,6 | 12,8 | 12,9 |
| Коэффициент вариации, % | 74 | 85 | 54 | 98 |
| Количество проб | 53 | 17 | 29 | 17 |
| $^{40}K$ | | | | |
| Минимум, Бк/кг | 6,0 | 27,0 | 256,0 | 16,0 |
| Максимум, Бк/кг | 804,0 | 806,0 | 733,0 | 913,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг | 264,6 | 223,6 | 522,8 | 296,7 |

| Параметр | Шифр участка | | | |
|---|---|---|---|---|
| | РЛ | ПБ/ПС | МЛ/СЛ | БЛВ/БЛН |
| Среднее геометрическое, Бк/кг | 171,1 | 148,8 | 496,4 | 194,9 |
| Медиана, Бк/кг | 156,0 | 203,5 | 550,0 | 240,0 |
| Мода, Бк/кг | 86,0 | – | 623,0 | – |
| Стандартная ошибка, Бк/кг | 35,3 | 53,5 | 33,2 | 70,5 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 231,7 | 200,4 | 159,4 | 263,9 |
| Коэффициент вариации, % | 88 | 90 | 30 | 89 |
| Количество проб | 53 | 17 | 29 | 17 |

Удельная активность радионуклидов во мхах варьирует в достаточно широких пределах на всех КУ (рис. 7.5, табл. 7.4). Причем минимальные коэффициенты вариации данных элементов получены для контрольного участка МЛ/СЛ (табл. 7.4), что, скорее всего, может быть обусловлено расположением данного КУ на выровненной террасе. В местах сбора образцов не зафиксированы абразионно-оползневые процессы, участок достаточно влажный, почва прикрыта либо листовым опадом, либо мхом. Отсутствуют выходы пород. В это препятствует значительному пылению почвы в засушливые периоды и вероятность загрязнения мхов частицами грунта незначительная (Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014). Необходимо отметить, что на данном участке минимальные коэффициенты вариации радионуклидов и в почвах (табл. 7.3) (Бураева и Ширяева, 2021; Ширяева и Бураева, 2021а; Ширяева и Бураева, 2021б; Ширяева и Бураева, 2021в; Ширяева и Бураева, 2020; Ширяева и Бураева, 2019; Shiryaeva, Buraeva, 2019).

Несмотря на значительные вариации радионуклидов во мхах Северного Кавказа, особенности накопления радионуклидов образцами мха, в зависимости от высоты над уровнем моря, не изменяются (таблица 7.3).

Для оценки поступления поллютантов в растительные исследователи широко используют различные коэффициенты и факторы. Наиболее часто используется отношение удельной активности (концентрации) радионуклида в растении (или его отдельном органе) к удельной активности данного радионуклида в почве (или заданном почвенном слое). Получаемые коэффициенты авторы, в зависимости от решаемых задач, определяют как коэффициенты накопления (Velasco and Anjos,

2021), коэффициенты перехода, коэффициенты переноса и др. (Михайловская и др., 2020; Ugbede, Okhuomaruyi and Osahon, 2021; Ramadan et.al., 2021b; Semioshkina and Voigt, 2021; Sabyasachi Rout et.al., 2021; Larionova et.al., 2021; Velasco and Anjos, 2021). При этом методики подготовки растительных проб, как правило, не предполагают отмывание растений (кроме корней) от пыли и почвы (Михайловская и др., 2020; Ugbede, Okhuomaruyi and Osahon, 2021; Ramadan et.al., 2021b; Semioshkina and Voigt, 2021; Sabyasachi Rout et.al., 2021; Larionova et.al., 2021; Velasco and Anjos, 2021). И подобные коэффициенты не дают ответ на вопрос о том, какое количество радионуклида попало в растение или адсорбировано на поверхности растения. Ниже представлены коэффициенты, полученные как отношение удельной активности радионуклида в образце мха, к удельной активности радионуклида в почве, отобранной в пределах произрастания данного объекта бриофлоры.

Таблица 7.5 – Отношение радионуклидов во мхах и почве

| Высота над уровнем моря, м | Повторность образца | Отношение радионуклидов во мхах и почве, отн. ед. | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| 0-100 | 1 | 3,2 | 1,5 | 1,3 | 0,6 |
| | 2 | 1,0 | 0,7 | 0,5 | 0,8 |
| | 3 | 1,0 | 1,0 | 0,8 | 0,9 |
| | 4 | 1,3 | 0,4 | 0,4 | 0,8 |
| | 5 | 2,9 | 1,1 | 0,7 | 1,0 |
| 50-80* | 1 | 1,7 | 1,8 | 1,5 | 1,2 |
| | 2 | 1,9 | 1,7 | 1,8 | 1,0 |
| | 3 | 1,5 | 2,7 | 1,9 | 2,0 |
| | 4 | 1,4 | 2,0 | 1,4 | 1,0 |
| | 5 | 1,7 | 2,2 | 1,9 | 0,6 |
| 550-600 | 1 | 2,2 | 0,4 | 0,4 | 0,7 |
| | 2 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 0,6 |
| | 3 | 1,7 | 0,6 | 0,4 | 0,4 |
| | 4 | 0,8 | 0,2 | 0,9 | 1,0 |
| | 5 | 4,1 | 0,1 | 0,6 | 0,9 |
| 1800-1900 | 1 | 0,3 | 0,1 | 5,0 | 0,3 |
| | 2 | 0,3 | 0,5 | 1,7 | 0,3 |

| Высота над уровнем моря, м | Повторность образца | Отношение радионуклидов во мхах и почве, отн. ед. | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| | 3 | 0,3 | 0,1 | 2,0 | 0,2 |
| | 4 | 0,3 | 0,4 | 2,0 | 1,3 |
| | 5 | 0,3 | 0,1 | 1,6 | 2,2 |
| 2100-2200 | 1 | 0,5 | 0,2 | 0,4 | 0,7 |
| | 2 | 0,5 | 0,3 | 0,6 | 0,6 |
| | 3 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,7 |
| | 4 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,8 |
| | 5 | 0,7 | 0,4 | 0,5 | 0,5 |

Несмотря на то, что мхи являются эпифитами и основная масса поллютантов в данные объекты флоры поступает в результате сухих и мокрых выпадений из атмосферы, все же исключать поступление радионуклидов с частицами аэрозольной пыли, поднятой с поверхности почвы не стоит. Это особенно актуально для степных территорий Ростовской области, где основная масса аэрозольной пыли формируется в результате ветрового подъема мельчайших частиц почвы (Вардуни и др., 2014; Вардуни и др., 2015; Москалев и др., 2017; Москалев и др., 2016а; Москалев и др., 2016б; Москалев и др., 2016в; Москалев и др., 2015а; Москалев и др., 2015б; Москалев и др., 2014; Омельченко и др., 2013; Омельченко и др., 2012; Омельченко и др., 2011а; Омельченко и др., 2011б; Сазыкина и др., 2011; Сазыкина и др., 2013; Сазыкина и др., 2016; Шиманская, 2014г; Varduni et al., 2014).

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

Для условий г. Ростова-на-Дону был дополнительно оценен радионуклидный состав атмосферных аэрозолей (Авдиенко и др., 2006а; Авдиенко и др., 2006б; Бураева и др., 2006в; Бураева и др., 2006г; Бураева и др., 2007а; Бураева и др., 2011а; Бураева и др., 2012а; Бураева и др., 2012б; Бураева и др., 2013а; Бураева и др., 2013в; Бураева и др., 2013г; Бураева и др., 2020д; Долгополов и др., 2015а; Долгополов и др., 2015б; Долгополов и др., 2016; Зорина и др., 2007а; Зорина и др., 2007б; Зорина и др., 2008а; Зорина и др., 2008б; Зорина и др., 2008в; Зорина и др., 2008д; Зорина и др., 2010; Иванов и др., 2015а; Иванов и др., 2015б; Иванов и др., 2016; Кащаева и

др., 2018а; Кащаева и др., 2018б; Кащаева и др., 2019а; Кащаева и др., 2019б; Ляхова и др., 2019а; Ляхова и др., 2019б; Машаров и др., 2020; Машаров и др., 2021; Михайлова и др., 2021; Морозов и др., 2007; Мысак и др., 2006; Нефедов и др., 2014б; Нефедов и др., 2014в; Орлова и др., 2006; Рогов и др., 2011; Саевский и др., 2018; Стасов и др., 2007; Стасов и др., 2013; Стасов, 2013а; Стасов, 2013б; Buraeva et al, 2007a; Buraeva et al, 2013a; Buraeva et al, 2013b; Buraeva et al, 2021; Kashchaeva et al., 2018; Kashchaeva et al., 2019; Lyakhova et al., 2019; Mikhailova et al., 2021), отбиравшихся на аспирационной станции НИИ физики Южного федерального университета. Объемная активность радионуклидов и элементный состав атмосферных аэрозолей в приземном слое воздуха г. Ростова-на-Дону оформлены в виде баз[36] данных и приведены в Приложении 1, п. П1.2. В таблице 7.6 представлены результаты определения объемной активности радионуклидов в приземном воздухе г. Ростова-на-Дону.

Таблица 7.6 – Объемная активность радионуклидов в приземном слое воздуха г. Ростова-на-Дону (Mikhailova et al., 2021)

| Радионуклид | Объемная активность | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Минимум | Максимум | Среднее | Стандартное отклонение |
| $^{226}$Ra, мкБк/м$^3$ | 2,52 | 21,73 | 11,15 | 5,49 |
| $^{210}$Pb, мБк/м$^3$ | 0,72 | 4,33 | 1,64 | 0,86 |
| $^{232}$Th, мкБк/м$^3$ | 0,49 | 11,03 | 4,21 | 2,69 |
| $^{224}$Ra, мкБк/м$^3$ | 1,86 | 10,31 | 3,55 | 2,95 |
| $^{40}$K, мкБк/м$^3$ | 8,12 | 104,13 | 39,9 | 22,39 |
| $^{7}$Be, мБк/м$^3$ | 1,86 | 12,83 | 6,07 | 2,97 |
| $^{137}$Cs, мкБк/м$^3$ | 0,07 | 4,21 | 1,34 | 1,08 |

Достаточно широкая вариация объемной активности радионуклидов, в первую очередь обусловлена сезонным изменением метеопараметров (количеством осадков, температурой воздуха, скоростью и направлением ветра и др), а для космогенного $^{7}$Be еще и солнечной активностью (Buraeva et al, 2007a; Стасов, 2013а; Стасов,

[36] **Удельная активность радионуклидов в приземном слое воздуха города Ростова-на-Дону**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620289 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Данилова А.А., Малышевский В.С., Стасов В.В., Давыденко А.М., Аветисян С.Р.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621832; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 17.02.15.

**Элементный состав атмосферных аэрозолей**: свид. о гос. рег. базы данных № 2019620151 РФ / Бураева Е.А., Глазунова Е.В., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А., Пронина Е.В., Проценко В.В., Саевский А.И.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019620066; заявл. 18.01.2019 г.; дата гос. рег. 24.01.2019 г.

2013б; Sýkora et al., 2017; Mikhailova et al., 2021), которая выражается в количестве солнечных пятен (числа Вольфа). Полученные данные характерны для урбанизированных европейских стран с присущей им городской запыленностью (Sýkora et al., 2017). При этом для ряда естественных радионуклидов земного происхождения ($^{40}$K, $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{210}$Pb) имеет место и вклад от антропогенных источников. Например, высокая величина выхлопов автотранспорта, усиленная работой ТЭЦ и ТЭС в отопительный сезон (Chham, 2017), а также скорость и направление ветра (Grossi et al., 2016; Chham, 2017) влияют на содержание $^{210}$Pb (и, возможно, на объемную активность $^{226}$Ra и $^{232}$Th), в приземном слое атмосферы исследуемой области (Chham, 2017).

Искусственный $^{137}$Cs поступал а атмосферу в результате испытания ядерного оружия во второй половине 20 века и аварии на Чернобыльской АЭС (Атлас, 1998; Атлас, 2009). Также в некоторых странах было зафиксировано увеличение количества радиоцезия после аварии на АЭС Фукусима в 2011 году (Carvalho et al., 2012). В настоящее время основным источником радиоцезия в атмосферных аэрозолях является ветровой подъем пыли с подстилающей поверхности (Sýkora et al., 2017). В целом, объемная активность радионуклидов в атмосферных аэрозолях г. Ростова-на-Дону сопоставима с литературными данными и характерна как для умеренных широт (Grossi et al., 2016; Sýkora et al., 2017), так и для промышленных центров (Sýkora et al., 2017).

Мхи отбирали преимущественно с деревьев и зданий, расположенных вдоль некоторых наиболее оживленных улиц Западного жилого массива г. Ростова-на-Дону. Все пробы отбирались на высоте 1,0-2,0 м от поверхности почвы. Для оценки возможности использования брио- и лихенофлоры крупного города в качестве биоиндикаторов дополнительно исследовались: радионуклидный состав более 100 образцов почвы (0-2 см слой) города Ростова-на-Дону, удельная загрязненность и радиоактивность приземного слоя воздуха (более 300 образцов). Данные по радионуклидному составу изученных образцов приведены в таблице 7.7:

Таблица 7.7 – Сравнительный анализ удельной активности радионуклидов во мхах (без разделения по видам), почвах и приземном слое воздуха г. Ростова-на-Дону (Бураева и др., 2011а)

| 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 |
| $^{7}Be$ | 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 | – |

Содержание радионуклидов в аэрозольной пыли приземного слоя воздуха $A_{ап}$ (Бк/кг) определено из объемной активности его в аэрозолях $A_{оа}$ (Бк/м$^3$) с учетом запыленности атмосферы (m, г/м$^3$) (Бураева и др., 2011а).

Средние содержания $^{234}Th$ во мхах, почвах и аэрозольной пыли совпадают в пределах погрешности определения (20%). Концентрация $^{210}Pb$, $^{226}Ra$, $^{224}Ra$, $^{232}Th$, $^{40}K$, $^{7}Be$ в бриофлоре 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 $^{7}Be$ ситуация обратная – в приземном воздухе их содержание в ~7 и 50 раз больше, чем в мхах (лишайниках). В отдельных образцах мхов (лишайников) был также определен $^{241}Am$ глобального происхождения (продукт распада $^{241}Pu$) (Бураева и др., 2011а).

## *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)

Удельная активность радионуклидов в травянистых растениях Ростовской области оформлены в виде базы[37] данных и приведена в Приложении 1, п. П1.2.

[37] **Удельная активность радионуклидов в растительных объектах Ростовской области в 2003-2005 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621705 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М.,

Результаты оценки радионуклидов в растениях Ростовской области, в том числе и в условиях полусухих степей представлены в серии коллективных публикаций автора (Аветисян и др., 2015; Бураева и др., 2014в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Колесников и др., 2015а; Пронина и др., 2019; Самойленко и др., 2010; Buraeva et al., 2023).

Ниже представлены результаты оценки удельной активности радионуклидов в растениях природно-техногенных территорий сухостепных регионов Ростовской области (Аветисян и др., 2015; Бураева и др., 2014в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Колесников и др., 2015а; Пронина и др., 2019; Самойленко и др., 2010; Buraeva et al., 2023). В качестве фитоиндикаторов были выбраны наиболее распространенные представители флоры региона – полынь австрийская (*Artemisia austriaca*) и шалфей остепненный (*Salvia tesquicola*). Эти данные (рис.7.6) четко продемонстрировали общие закономерности: полынь более предрасположена к накоплению радионуклидов, чем шалфей, особенно это справедливо в отношении $^{40}$К. Причем максимальная концентрация этого изотопа калия в полыни обнаруживается на каштановой солонцеватой почве. В целом можно составить ряды по удельной активности радионуклидов в вегетативной массе растений: $^{40}$K > $^{226}$Ra ≥$^{232}$Th >$^{137}$Cs. Следует отметить, что радиоцезий в растениях был обнаружен не на всех контрольных участках, что связано не только с неравномерностью выпадения этого элемента с осадками. Так, в растениях полыни на темно-каштановой солонцеватой почве $^{137}$Cs присутствует, а в шалфее – нет. И наоборот: в каштановой солонцеватой на лессовидных суглинках в полыни $^{137}$Cs не обнаружен (как и $^{232}$Th), а в шалфее эти радионуклиды присутствуют. Эти факты свидетельствуют об избирательности поглощения радионуклидов растениями, которая определяется их физиологическими особенностями (Аветисян и др., 2015; Бураева и др., 2014в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Колесников и др., 2015а; Пронина и др., 2019; Самойленко и др., 2010; Buraeva et al., 2023).

---

Данилова А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621273; заявл. 15.10.15; дата гос. рег. 26.11.15.

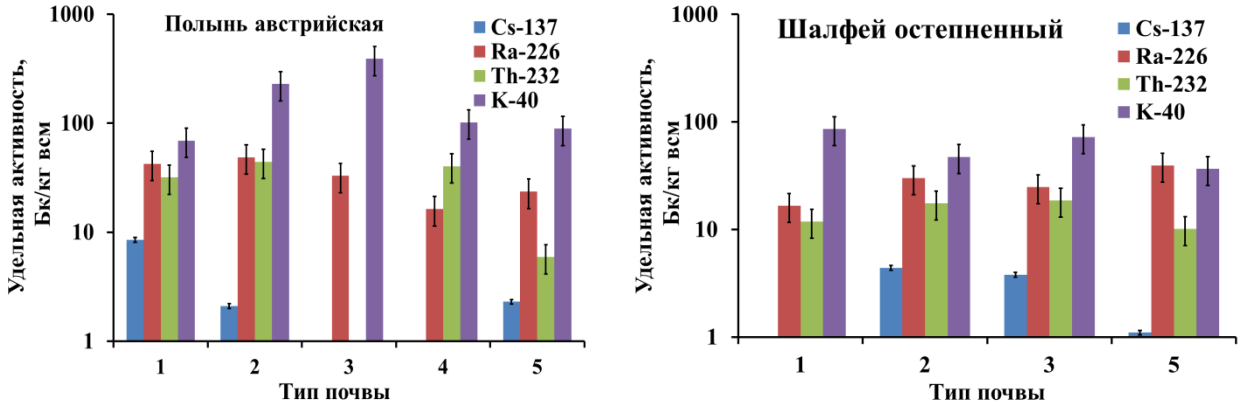



Рисунок 7.6 – Распределение радионуклидов в травянистых растениях, произрастающих на разных почвах: 1 – Темно-каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 2 – Лугово-каштановая мощная тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 3 – Каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на лессовидных суглинках, 4 – Аллювиально-луговая легкосуглинистая на аллювиальных погребенных отложениях, 5 – Каштановая солонцеватая тяжелосуглинистая на желто-бурых глинах

В таблице 7.8 представлены особенности распределения радионуклидов в растительной массе (без разделения на виды растений) (Аветисян и др., 2015; Бураева и др., 2014в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Колесников и др., 2015а; Пронина и др., 2019; Самойленко и др., 2010; Buraeva et al., 2023).

Таблица 7.8 – Удельная активность радионуклидов в растительной массе и почвах природно-техногенных территорий сухостепной зоны Ростовской области (Аветисян и др., 2015; Бураева и др., 2014в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Колесников и др., 2015а; Пронина и др., 2019; Самойленко и др., 2010; Buraeva et al., 2023)

| Параметр | Радионуклид | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Растения | | | | Почвы | | | |
| | $^{137}$Cs | $^{226}$Ra | $^{232}$Th | $^{40}$K | $^{137}$Cs | $^{226}$Ra | $^{232}$Th | $^{40}$K |
| Минимум, Бк/кг всм | 1,2 | 10,3 | 10,9 | 28,0 | 1,0 | 10,1 | 7,4 | 255,4 |
| Максимум, Бк/кг всм | 49,5 | 82,0 | 98,3 | 515,8 | 39,1 | 34,7 | 37,7 | 631,0 |
| Среднее арифметическое, Бк/кг всм | 13,2 | 21,2 | 24,8 | 149,4 | 13,4 | 22,0 | 27,1 | 468,5 |
| Медиана, Бк/кг всм | 9,5 | 26,2 | 26,7 | 81,7 | 12,3 | 23,0 | 28,8 | 474,0 |
| Мода, Бк/кг всм | – | 37,1 | 13,8 | 455,4 | 11,3 | 25,4 | 33,0 | 493,0 |
| Стандартное | 5,4 | 7,5 | 7,4 | 61,4 | 7,4 | 5,3 | 7,2 | 96,9 |

| Параметр | Радионуклид | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Растения | | | | Почвы | | | |
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| отклонение, Бк/кг всм | | | | | | | | |
| Коэффициент вариации, % | 101,4 | 59,2 | 70,1 | 94,6 | 55,1 | 24,0 | 26,4 | 20,7 |
| Количество образцов, шт. | 55 | | | | 105 | | | |

Данные, представленные в таблице 7.8 показывают, что удельная активность радиоцезия, тория и радия в растительной массе и почве сопоставимы в пределах стандартного отклонения. Содержание $^{40}K$ в растениях примерно в три раза ниже, чем в почвах. Обусловлено это, вероятно, тем, что почвы в основном хорошо обеспечены доступным обменным калием, представленным более легким изотопом, и растениям нет острой необходимости поглощать из почвы более тяжелый изотоп (Аветисян и др., 2015; Бураева и др., 2014в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Колесников и др., 2015а; Пронина и др., 2019; Самойленко и др., 2010; Buraeva et al., 2023).

На большинстве КУ удельные активности $^{137}Cs$ и $^{40}K$ в травянистых растениях (без разделения на виды) сопоставимы с удельной активностью данных радионуклидов в почвах. Отмечаются единичные двукратные превышения ЕРН в растительности. Удельная активность $^{226}Ra$ и $^{232}Th$ в растениях, в среднем, в два раза ниже, чем в почвах и, вероятно обусловлена механическим загрязнением растений частицами почвы (загрязнение растений частицами почвы актуально в периоды сильных ливней) (Аветисян и др., 2015; Бураева и др., 2014в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Колесников и др., 2015а; Пронина и др., 2019; Самойленко и др., 2010; Buraeva et al., 2023).

В растениях коэффициенты вариации $^{137}Cs$ (рис. 7.8) достаточно высокие (60–100%), что обусловлено способностью растений селективно поглощать необходимые элементы в случае их недостатка (Аветисян и др., 2015; Бураева и др., 2014в; Бураева и др., 2019а; Бураева и др., 2021а; Колесников и др., 2015а; Пронина и др., 2019; Самойленко и др., 2010; Buraeva et al., 2023). Комплексность почвенного

покрова предопределяет разную степень доступности калия – этого важнейшего, особенно в засушливых условиях, элемента питания.

Содержание ЕРН в почвах в основном зависит от почвообразующих пород, которые являются источником $^{40}$К. Поэтому этот изотоп относительно равномерно распределен по всему почвенному профилю. В то же время, будучи биогенным элементом, он накапливается в поверхностных слоях с относительно высокой биологической активностью (El-Arabi, 2007). ИРН, такие как $^{137}$Cs, попадают на поверхность почвы с радиоактивными выпадениями и мигрируют по почвенному профилю в виде солей, так как цезий, в силу своей очень высокой реакционной способности, активно реагирует со многими неметаллами и растворяется почти во всех кислотах, образуя соли (Парамонова и Мамихнин, 2017; Парамонова и др., 2017).

Не исключено и его передвижение по профилю с тонкими илистыми частицами, так как большинство почв региона в той или иной степени солонцевато (Безуглова и Хырхырова, 2008; Вальков и др., 2008; Вальков и др., 2002), а, как известно, внедрение натрия в ППК сопровождается пептизацией минеральных коллоидов. Существует вероятность миграции радиоцезия по профилю и в виде комплексных соединений с гуминовыми веществами (Хелаль и др., 2007).

Тем не менее, выпотной или периодически-выпотной тип водного режима способствует тому, что большая часть радиоцезия сосредоточивается в поверхностных горизонтах. Это происходит как за счет необменной сорбции глинистыми минералами, так и путем образования малоподвижных комплексных соединений с ГК и сорбции его гумином. Обычно в черноземах и тёмно-каштановых почвах с мощным гумусовым горизонтом активность радиоцезия резко уменьшается с глубиной (Buraeva et al., 2015).

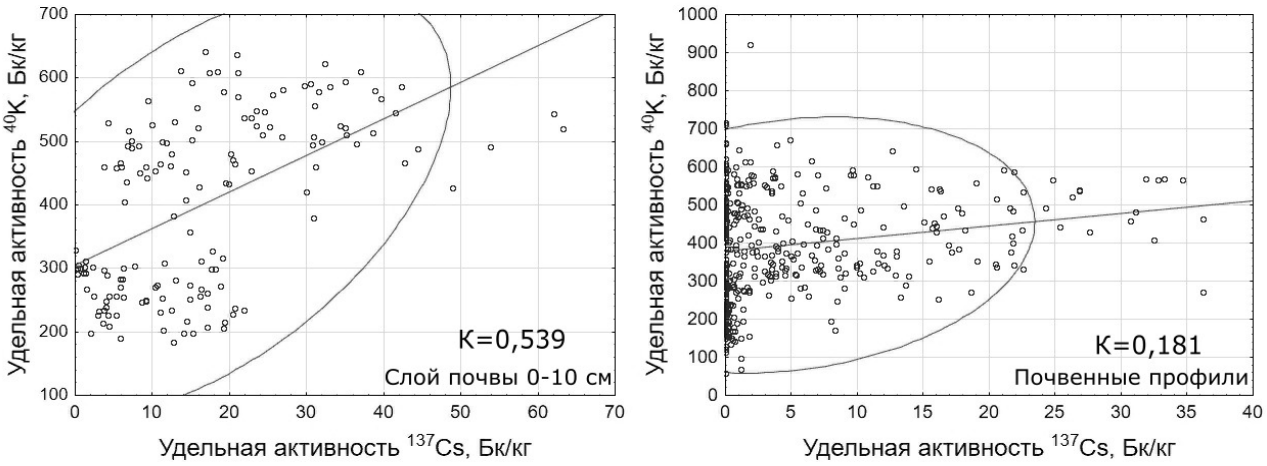



Рисунок 7.7 – Зависимость удельной активности $^{137}$Cs от $^{40}$K в почвах (Бураева и др., 2021а)

Поэтому зависимость содержания $^{137}$Cs от $^{40}$K наиболее четко отображается в верхнем слое (0–10 см) почвы, где присутствуют оба радионуклида (рис. 7.7). Коэффициент корреляции (K) в этом случае равен 0,539. Для степеней свободы F=964 критическое значение K≈0,06 при уровне статистической значимости 0,05 (Бураева и др., 2021а). Тем самым взаимосвязь удельных активностей $^{40}$K и $^{137}$Cs в поверхностном слое почвы является статистически значимой. По глубине почвенного профиля также прослеживается прямая линейная зависимость содержания $^{40}$K и $^{137}$Cs. При критическом значении K=0,11 для степеней свободы F=304 (уровень значимости 0,05) полученный K=0,181. Эта величина также является статистически значимой (Бураева и др., 2021а).

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

Результаты по удельной активности радионуклидов в растениях природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС оформлены в виде базы[38] данных и представлены в Приложении 1, п. П1.2. Часть результатов отражены в коллективных публикациях автора (Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б;

[38] **Удельная активность радионуклидов в растениях природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621444 РФ / Аветисян С.Р., Арысланова Ф. Ш., Бураева Е. А., Дергачева Е. В., Кубрина В.К., Москалев Н.Н., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621176; заявл.31.08.2016; дата гос. рег. 26.10.2016.

Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б).

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. 7.8). Так, при увеличении концентрации одного радионуклида (например, $^{137}$Cs) (относительно его же концентраций на других участках) на данном контрольном участке относительная концентрация второго (например, $^{40}$K) понижается и наоборот (Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б).

Такой характер распределения радионуклидов (и их содержания) объясняется тем, что щелочные металлы калий и цезий обладают схожими химическими свойствами, легко растворяются в воде и, соответственно, активно мигрируют в почве и особенно в растениях. Это приводит к конкурентному характеру взаимодействия данных элементов, в том числе и при поступлении в растения (Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б).

Также принято считать, что поступление $^{137}$Cs из почвенного раствора в клетки корней происходит по тем же мембранным каналам, что и поступление калия. Не стоит исключать влияние удельной поверхности корней на сорбцию $^{137}$Cs (и других радионуклидов), в том числе и за счет «пленочных эффектов», детально описанных в работе (Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б).

На рис. 7.9 представлено распределение $^{226}$Ra в органах некоторых видов растений, произрастающих на исследуемых контрольных точках.

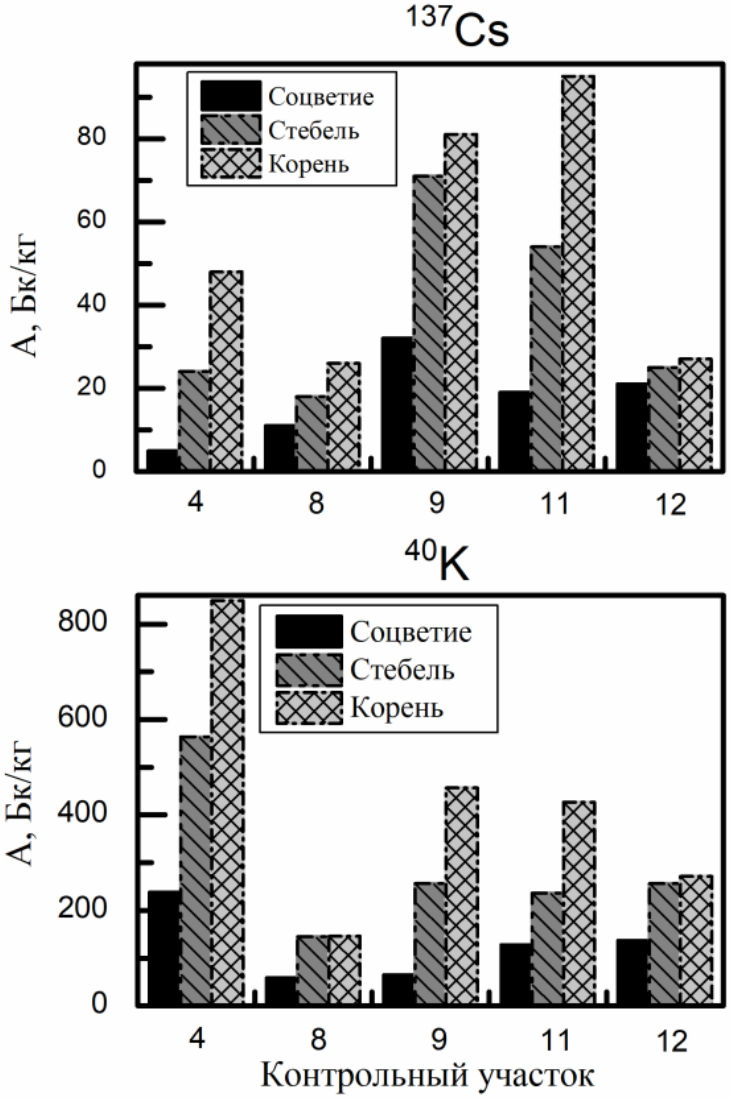



Рисунок 7.9 – Распределение $^{137}Cs$ и $^{40}K$ в органах полыни австрийской (Artemisia austriaca) (Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б)

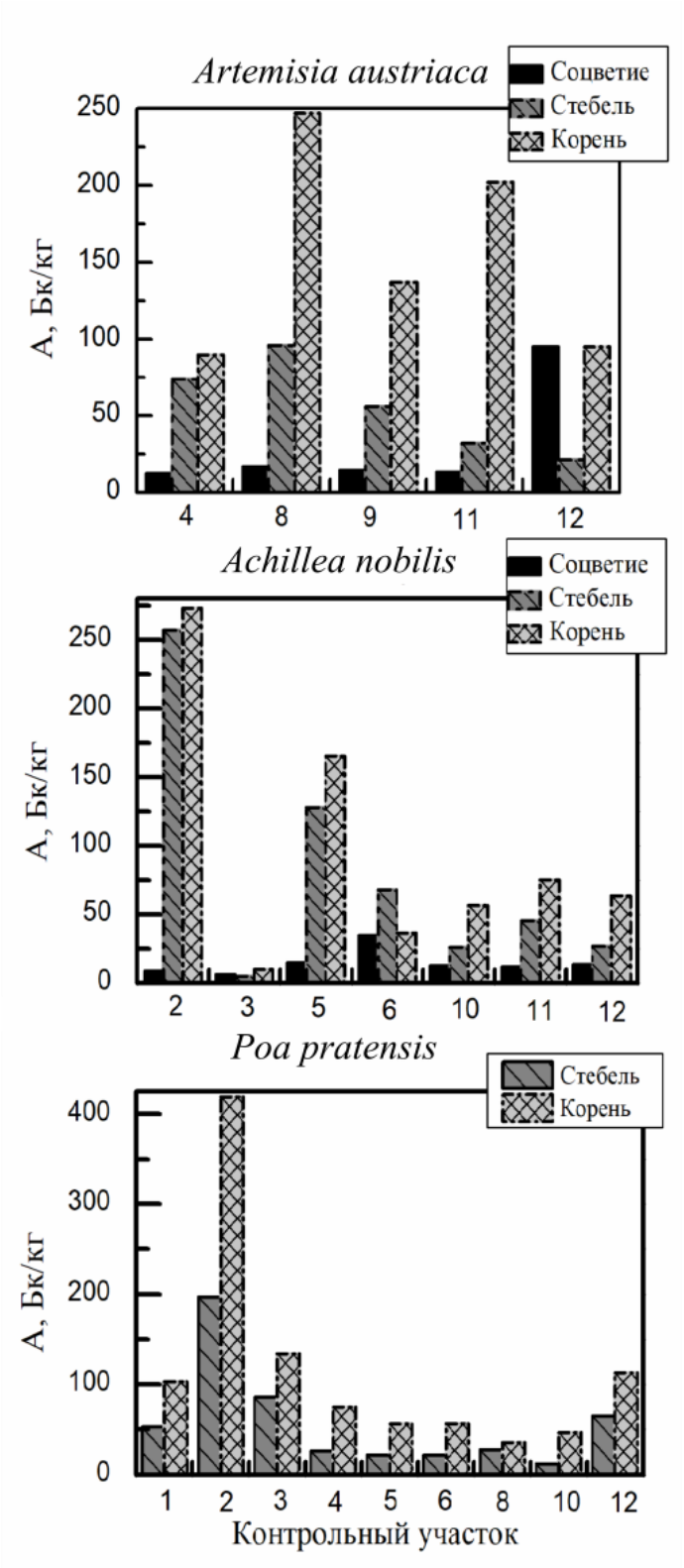



Рисунок 7.9 – Распределение $^{226}$Ra в травянистых растениях (Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б)

На соцветиях и листьях радионуклиды задерживаются слабо, так как они могут смываться и выветриваться с поверхности данных частей растений, что может свидетельствовать о зависимости содержания радиоактивных элементов от метеоусловий. При этом, в растениях с гладкими листьями (мятлик луковой), как правило, удельная активность радия ниже, чем в растениях с ворсистыми листьями (например, в полыни австрийской). Достаточно высокое содержание $^{226}$Ra в травянистых растениях территории Новочеркасской ГРЭС может быть связано с преобладающим фолиарным типом загрязнения в результате деятельности данного предприятия (Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б).

Максимумы концентраций $^{226}$Ra в растительности природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС, в основном, наблюдаются на участках, располагающихся вдоль «генерального» северо-восточного направления ветра (Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б). В таком случае очевидна роль прямого загрязнения, в первую очередь, поверхности растений данным радионуклидом. Это может происходить как простым переносом частиц атмосферных выбросов предприятия по воздуху, так и при осаждении их из воздуха и ветровом подъеме поверхности почвы (вторичное загрязнение). Важно также отметить, что в каждом из растений концентрация $^{226}$Ra в корневой части превышает его концентрацию в стебле и соцветии, что говорит о почве как о главном источнике поступления данного радионуклида. В таком случае значительную роль в миграции радионуклидов в системе почва-растение начинают играть особенности свойств самой почвы (Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б).

В пробах стеблей и корней мятлика лугового (*Poa pratensis*) и тысячелистника благородного (*Achillea nobilis*) на КУ 2 наблюдаются максимумы концентрации $^{226}$Ra (250–280 Бк/кг всм и 200–420 Бк/кг всм, соответственно (Рис. 7.8). При этом в

аллювиальных почвах концентрация данного радионуклида составляла всего 7–15 Бк/кг. Для данного типа почв характерен активный водный режим, что приводит к миграции радионуклидов как в системе почва-растение, так и по почвенному профилю. В связи с вышесказанным, необходимо оценивать как воздушное, так и почвенное поступление радионуклидов (в частности $^{226}$Ra) в растения в районе расположения предприятий топливной энергетики (Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б).

Таблица 7.9 — 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 растительности территории Новочеркасской ГРЭС содержание естественных $^{226}$Ra в 20 раз и $^{232}$Th в два раза выше, чем в растениях Ростовской АЭС (таблица 7.9). Двукратные различия для $^{137}$Cs могут быть обусловлены неравномерностью его выпадения после аварии на Чернобыльской АЭС. Высокое содержание $^{226}$Ra и $^{232}$Th в растительной массе территории Новочеркасской ГРЭС, может быть связано с преобладающим листовым и флоральным загрязнением, в результате деятельности данного предприятия. При сжигании угля происходит выброс в окружающую среду некоторых естественных радионуклидов, основная часть которых выбрасываются вместе с остатками летучей золы (Арысланова и др., 2016а; Арысланова и др., 2016б; Арысланова и др., 2016в; Арысланова и др., 2016г; Бураева и др., 2018б; Бураева и др., 2019г; Бураева и др., 2020б).

### *7.3. Распределение радионуклидов в грибах*

Одними из важнейших биоиндикаторов загрязненности почвы являются объекты микофлоры (грибы, в особенности, плодовые тела грибов), так как они способны в значительных количествах накапливать различные поллютанты в том числе и радионуклиды. С учетом того, что во многих регионах как Российской

Федерации, так и в разных странах мира дикорастущие грибы активно собираются для употребления в пищу, то оценка удельной активности радионуклидов в плодовых телах грибов является достаточно актуальной задачей.

На рис. 7.10 и в таблице 7.10 приведены результаты измерений удельной активности радионуклидов в плодовых телах съедобных и условно съедобных грибов, отобранных на различных КУ Майкопского района Республики Адыгея. Результаты по удельной активности радионуклидов в плодовых телах грибов оформлены в виде базы[39] данных и представлены в Приложении 1, п. П1.2.

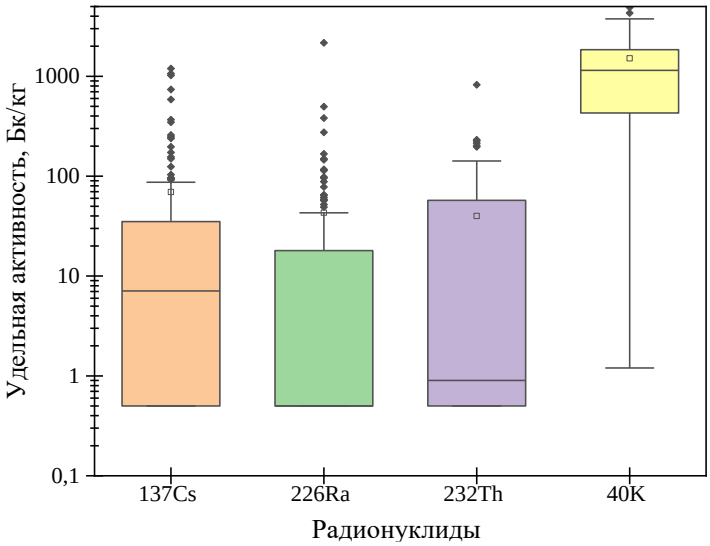



Рисунок 7.10 – Удельная активность радионуклидов в плодовых телах грибов Майкопского района Республики Адыгея (Антонова Ел. и др., 2021)

Таблица 7.10 – Удельная активность радионуклидов (в высушенной массе, всм) в плодовых телах грибов Майкопского района Республики Адыгея (без разделения по видам) (Антонова Ел. и др., 2021)

| 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* |

[39] **Удельная активность радионуклидов в грибах Северного Кавказа с 2012 по 2014 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 2019622401 РФ / Бураева Е.А., Андрюшина И.Н., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А., Пронина Е.В., Ширяева А.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019622323; заявл. 06.12.2019 г.; дата гос. рег. 17.12.2019 г.

| Параметр | Радионуклиды | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| **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 (рис. 7.10 табл. 7.10) распределена крайне неравномерно (коэффициенты вариации более 100%). При этом средние геометрические, модальные и медианные значения удельной активности радиоцезия, $^{226}Ra$ 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 (Антонова Ел. и др., 2021). $^{40}K$ – биогенный элемент и наряду с радиоцезием может достаточно хорошо поглощаться плодовыми телами грибов. В целом результаты по удельной активности радионуклидов в плодовых телах грибов, полученные в данной работе сопоставимы с данными о радионуклидом составе плодовых тел грибов в разных регионах Российской Федерации (Барсуков и др., 2011; Болсуновский и др., 2006; Варфоломеева, 2015; Густова и др., 2021; Кадука и др., 2008; Матишов и др., 2014; Переволоцкий и Переволоцкая, 2013)

### *7.4. Распределение радионуклидов в степной и лесной подстилках*

Результаты определения удельной активности радионуклидов в подстилке оформлены в виде базы[40] данных и представлены в Приложении 1, п. П1.2. Часть результатов по распределению радионуклидов в лесной и степной подстилках (опаде) отражены в коллективных публикациях автора (Бураева и др., 2021а;

[40] **Удельная активность радионуклидов в лесной подстилке горных районов Республики Адыгея с 2011 по 2017 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 2019622324 РФ / Бураева Е.А., Глазунова Е.В., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А., Пронина Е.В., Ширяева А.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019622221; заявл. 26.11.2019 г.; дата гос. рег. 10.12.2019 г.

Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и Бураева, 2021; Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020).

**Радионуклиды в степной подстилке.** Подстилка степных регионов (особенно зонах наблюдения АЭС) служит буфером на пути поступления радионуклидов в почвы. Ниже, в таблице 7.11 представлены результаты определения удельной активности радионуклидов в степной подстилке, отобранной на КУ в зоне наблюдения Ростовской АЭС.

Таблица 7.11 – Распределение радионуклидов в степной подстилке

| Почвы | Радионуклид | Среднее арифметическое Бк/кг | Стандартное отклонение |
|---|---|---|---|
| Лугово-каштановые | $^{137}$Cs | 27,3 | 27,5 |
| | $^{226}$Ra | 0,0 | 0,0 |
| | $^{232}$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 |

Концентрации радиоцезия и $^{40}$K в подстилке сопоставимы с их содержанием в почвах (удельная активность радия и тория в подстилке в 2–5 раз ниже чем в почве) (Бураева и др., 2021а). В таблице 7.12 приведены примеры содержания радионуклидов на участках со степной (КУ 75а) и луговой растительностью (КУ 12) в различные годы.

Таблица 7.12 – Содержание радионуклидов в почве (слой 0-2 см), подстилке (травяном войлоке) и растительной массе (Бураева и др., 2021а)

| Год | Объект | Удельная активность радионуклида | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $^{137}$Cs | $^{226}$Ra | $^{232}$Th | $^{40}$K | $^{137}$Cs | $^{226}$Ra | $^{232}$Th | $^{40}$K |
| | | Лугово-каштановая почва, Контрольный участок 12 | | | | Темно-каштановая почва, Контрольный участок 75а | | | |
| 2014 | Почва, Бк/кг | 15,0 | 21,5 | 25,5 | 501,0 | 19,7 | 21,9 | 30,1 | 488,0 |
| | Подстилка, Бк/кг всм | <1.0 | <1.0 | <1.0 | 312,6 | 3,3 | 5,7 | <1.0 | 104,0 |

| Год | Объект | Удельная активность радионуклида | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| | | Лугово-каштановая почва, Контрольный участок 12 | | | | Темно-каштановая почва, Контрольный участок 75а | | | |
| | Растительность, Бк/кг всм | 1,5 | <1.0 | <1.0 | 568,2 | <1.0 | 28,2 | 14,1 | 101,0 |
| 2015 | Почва, Бк/кг | 10,3 | 29,4 | 24,2 | 503,0 | 25,8 | 27,1 | 24,8 | 515,0 |
| | Подстилка, Бк/кг всм | 2,8 | <1.0 | <1.0 | 59,0 | <1.0 | 12,3 | <1.0 | 403,0 |
| | Растительность, Бк/кг всм | <1.0 | <1.0 | <1.0 | 213,0 | <1.0 | <1.0 | 58,0 | 119,0 |
| 2016 | Почва, Бк/кг | 3,1 | 27,4 | 21,2 | 456,0 | 9,7 | 20,7 | 26,0 | 481,0 |
| | Подстилка, Бк/кг всм | 22,2 | <1.0 | 3,0 | <10.0 | <1.0 | 18,1 | 11,5 | 82,0 |
| | Растительность, Бк/кг всм | 16,1 | <1.0 | <1.0 | 15,0 | 4,6 | <1.0 | 33,0 | 666,0 |
| 2017 | Почва, Бк/кг | 17,4 | 13,0 | 32,8 | 745,0 | 6,4 | 14,9 | 36,0 | 663,0 |
| | Подстилка, Бк/кг всм | 57,0 | <1.0 | 49,0 | 1132,0 | 17,6 | <1.0 | 10,8 | 255,0 |
| | Растительность, Бк/кг всм | 24,7 | <1.0 | <1.0 | 1349,0 | 26,1 | <1.0 | 31,8 | 381,2 |

Для оценки накопления и переноса радионуклидов растениями активно используются коэффициенты накопления (Кн, отн. ед) (Парамонова и др., 2017; Парамонова и Мамихин, 2017) и коэффициенты перехода (Кп, м$^2$/кг) (Санжарова и др., 2009). Коэффициент перехода, Кп – это отношение содержания радионуклида в растительной массе (Бк/кг) к плотности загрязнения почвы на единицу площади (Бк/м$^2$), коэффициент накопления – отношение содержания радионуклида в растительной массе (Бк/кг) к содержанию радионуклида в почве (Бк/кг). На рисунке 7.11 представлены примеры Кп за различные годы для участков с луговой (КУ 12) и степной растительностью (КУ 75а).

Накопление радионуклидов растениями зависит от множества факторов, таких как: климатические особенности региона произрастания, тип почвы, биологические особенности растений (Бураева и др., 2021а; Кузнецов и др., 2007; Судас и др., 1996; Anisimov et al., 2016; Lebedyte et al., 2003). Не стоит исключать и фоновое содержание естественных радионуклидов в почвах, а также плотность выпадения искусственного радиоцезия в результате аварии на Чернобыльской АЭС и наличие

предприятий топливной энергетики (особенно, работающих на угле) (Clemenza et. al., 2012;. Stoulos et. al., 2012).

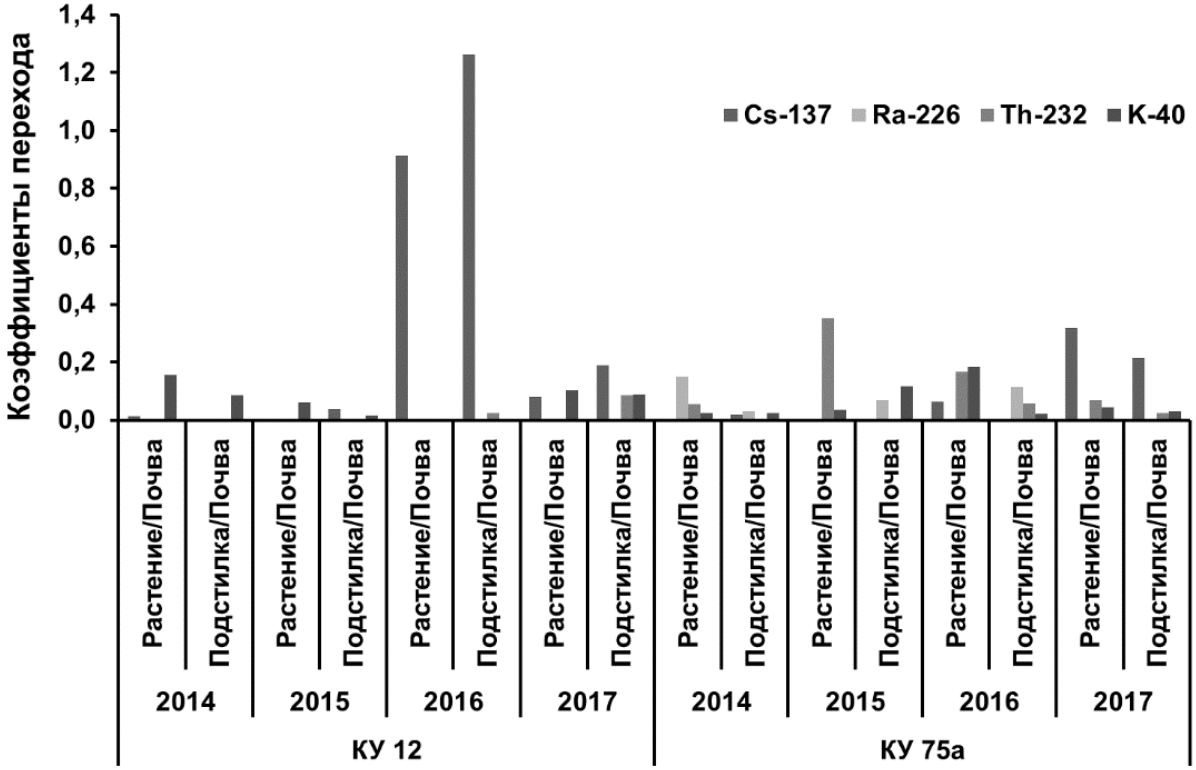



Рисунок 7.11 – Коэффициенты перехода радионуклидов (Кп, м$^2$/кг) (Бураева и др., 2021а)

Достаточно высокие температуры воздуха и умеренный порывистый ветер в периоды отбора могут создавать условия для пыления почвы (особенно после уборки урожая) и, хотя все участки отбора расположены на целинных и залежных землях, но среди сельскохозяйственных угодий (Buraeva et al., 2015). Сильные кратковременные ливни могут приводить к забрызгиванию растений частицами почвы. Несмотря на то, что отбор почвы и растительной массы проводился в сухой период, в отдельные годы фиксировались противоречивые результаты. На участках со степной растительностью радионуклиды обнаружены и в растительной массе, и в подстилке. При этом коэффициенты перехода для всех радионуклидов составляли, в основном, менее 0,4 м$^2$/кг (Бураева и др., 2021а).

На участках с луговой растительностью содержания радионуклидов в растительной массе и в подстилке выше, как следствие, и коэффициенты перехода для $^{137}$Cs выше, причем значения больше 1,0 м$^2$/кг фиксировались в периоды отбора

после кратковременных ливней. Принято считать, что радиоцезий слабо мигрирует в растения (Парамонова и др., 2017), 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, весьма характерными для этой зоны (Бураева и др., 2021а).

**Радионуклиды в лесной подстилке.** Лесная подстилка является одним из основных компонентов, куда поступают как естественные, так и искусственные радионуклиды. Ниже, на рис. 7.12 и в таблице 7.13 представлены результаты статистического анализа и обобщения данных по определению радионуклидов в лесной (листовой) подстилке, отобранной на констрольных участках в Майкопском районе Республики Адыгея.

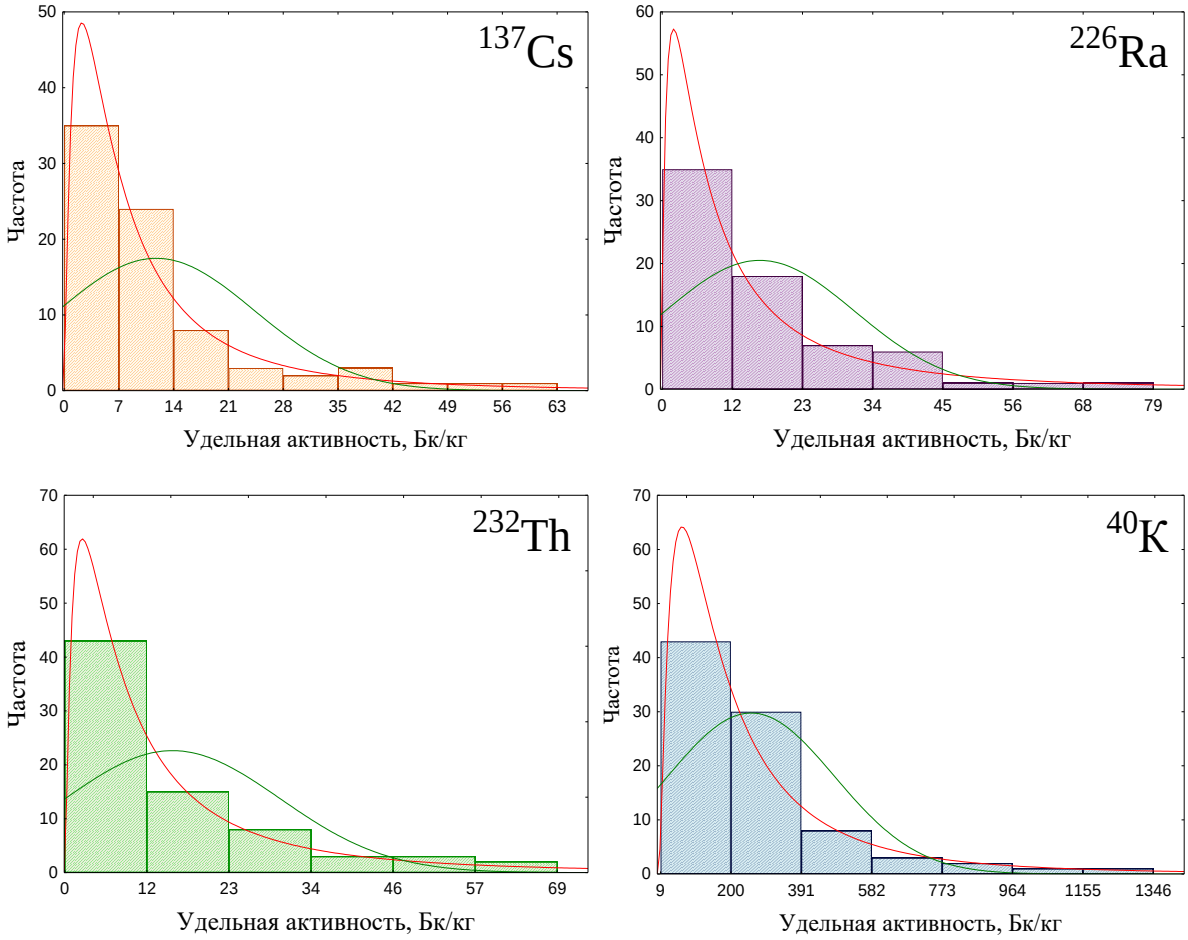



Рисунок 7.12 – Удельная активность $^{137}Cs$, $^{226}Ra$, $^{232}Th$, $^{40}K$ в лесной подстилке (Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и Бураева, 2021; Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020)

Таблица 7.13 – Удельная активность радионуклидов в лесной (листовой) подстилке (Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и Бураева, 2021; Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020)

| 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 |
| *Среднее арифметическое в почвах, Бк/кг* | *35,7* | *25,0* | *30,3* | *425,1* |
| **Среднее геометрическое, Бк/кг** | **7,4** | **9,3** | **9,1** | **172,4** |
| Медиана, Бк/кг | 8,0 | 10,9 | 9,8 | 209,5 |
| Мода, Бк/кг | 3,8 | 0,6 | 16,3 | 95,0 |
| Стандартное отклонение, Бк/кг | 1,4 | 1,8 | 1,7 | 24,0 |
| Коэффициент вариации, % | 12 | 11 | 11 | 9 |
| Количество измерений, шт | 107 | | | |

В среднем удельная активность радионуклидов в листовой подстилке в два раза ниже, чем в почвах (таблица 7.13) (Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и Бураева, 2021; Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020).

При этом в отдельных пробах подстилки фиксируются удельные активности радионуклидов в 3–5 раз выше, чем в почвах (Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и Бураева, 2021; Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020). Это может быть обусловлено расположением КУ в рельефе – низинные участки могут загрязняться за счет смыва поллютантов по склонам с осадками, площадки в поймах рек – за счет привноса радионуклидов в период паводков (Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и Бураева, 2021; Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020).

В целом, удельная активность радионуклидов в почвах и подстилке зависят от расположения КУ (МП) в рельефе местности, что особо актуально для территорий с сильно расчлененным рельефом местности. Например, в горных условиях в понижениях рельефа фиксируется высокое содержание $^{137}Cs$ как в почвах, так и в

лесной подстилке (Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и Бураева, 2021; Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020). Не стоит исключать и механическое загрязнение подстилки частицами почвы, пылью, мелкими обломками пород (Сидорина и Бураева, 2022; Сидорина и Бураева, 2021; Сидорина и др., 2021а; Сидорина и др., 2021б; Сидорина и др., 2020).

**По результатам исследования особенности распределения радионуклидов в компонентах экосистем на примере Майкопского района Республики Адыгея выявлена закономерность, иллюстрируемая таблицей 7.14.**

Таблица 7.14 – Удельная активность радионуклидов в почвах (слой 0–10 см), мхах, грибах и подстилке на примере Республики Адыгея

| Параметр | Радионуклид | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $^{137}Cs$ | $^{226}Ra$ | $^{232}Th$ | $^{40}K$ |
| **Почва.** Среднее арифметическое, Бк/кг всм | 35,7 | 25,0 | 30,3 | 425,1 |
| **Лесная подстилка.** Среднее геометрическое, Бк/кг | 7,4 | 9,3 | 9,1 | 172,4 |
| **Мох.** Среднее геометрическое, Бк/кг всм | 4,2 | 6,6 | 7,6 | 147,7 |
| **Грибы (плодовые тела).** Среднее геометрическое, Бк/кг | 0,5 | 1,9 | 1,0 | 100,0 |

В компонентах экосистем горных районов Республики Адыгея радионуклиды распределены следующим образом: почва> лесная подстилка> мхи> грибы (плодовые тела).

# ГЛАВА 8. ВКЛАД В ГОДОВУЮ ЭФФЕКТИВНУЮ ДОЗУ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОТКРЫТОЙ МЕСТНОСТИ

При расчете годовой эффективной дозы от естественных источников ионизирующих излучений, получаемой населением, проживающим на конкретной территории, складывают все компоненты, рассчитанные в соответствии с характеристиками этой территории: годовая эффективная доза от естественных радионуклидов $^{226}$Ra, $^{232}$Th and $^{40}$K в почвах, годовая эффективная доза от искусственного $^{137}$Cs в почвах, годовая эффективная доза от радиоактивного природного газа $^{222}$Rn и годовая эффективная доза от космического излучения.

В соответствии с действующими на территории Российской Федерации правилами при расчете учитываются перечисленные выше источники; в составе космического излучения приминается в расчёт только ионизирующая компонента для населения, проживающего на различной высоте над уровнем моря (СанПиН 2.6.1.2800–10; СанПиН 2.6.1.2523–09; СП 2.6.1.2612–10). Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения и дозовые нагрузки в регионах Российской Федерации контролируется не только различными государственными службами (Ежегодник, 2022; Региональными Управлениями Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека), но и сторонними исследователями (Карпенко и др., 2012; Карпенко и др., 2009).

При этом *in situ* измерения МАЭД методами полевой дозиметрии не показывают вклада в радиационный фон ни природных, ни искусственных источников излучения в отдельности, что осложняет задачу оперативной оценки радиационного загрязнения территории на основании расчета годовой эффективной дозы. Для территорий со сложным геологическим строением и вариациями геоморфологических и ландшафтных условий, к которым относится и Северный Кавказ, оценка роли естественных источников, определяющих фоновую радиацию, является актуальной задачей.

### *8.1. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на различной высоте над уровнем моря*

На рис. 8.1 и в Таблице 8.2 приведены результаты статистической обработки данных по *in situ* измерению МАЭД (МЭД) гамма-излучения на различных площадках в регионах Северного Кавказа, расположенных на разной высоте над уровнем моря.

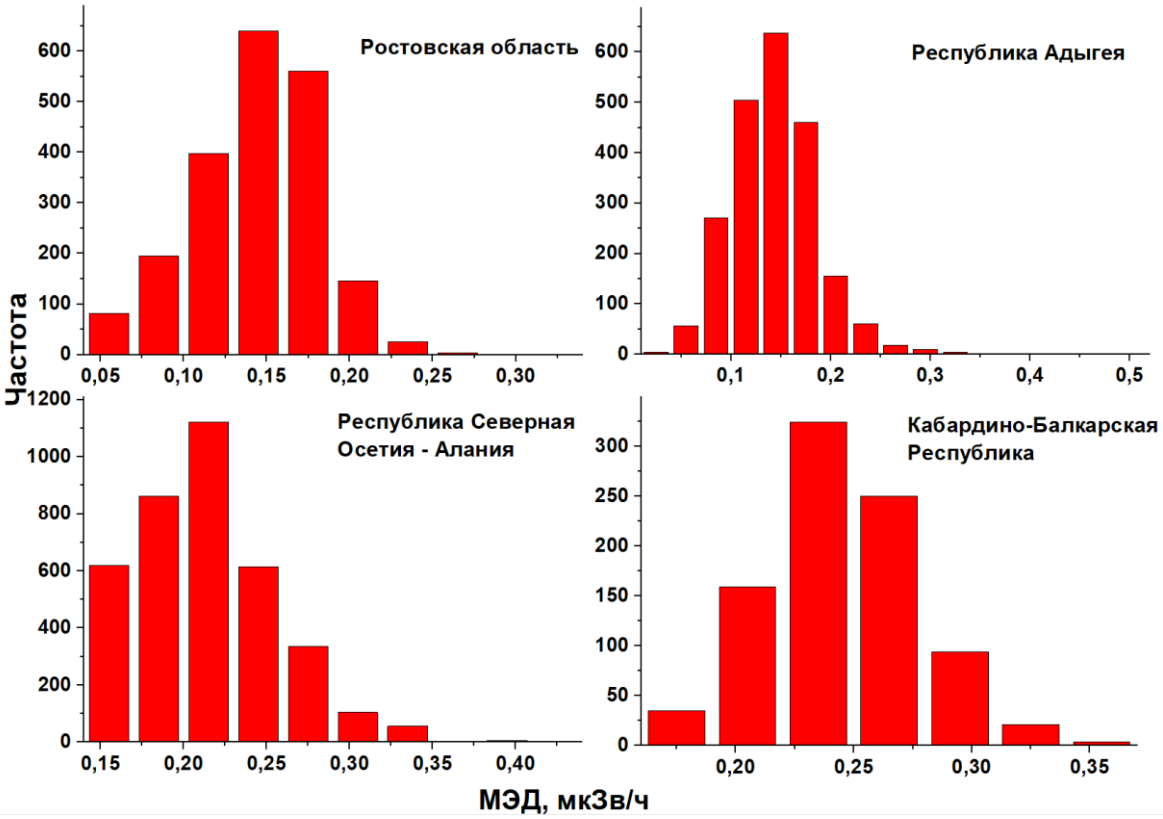



Рисунок 8.1 – Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на различной высоте над уровнем моря

Таблица 8.1 – Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на различной высоте над уровнем моря, мкЗв/ч

| Параметр | Ростовская область | Республика Адыгея | Республика Северная Осетия-Алания | Республика Кабардино-Балкария |
|---|---|---|---|---|
| Минимум | 0,04 | 0,01 | 0,14 | 0,16 |
| Максимум | 0,32 | 0,51 | 0,43 | 0,59 |
| **Среднее арифметическое** | **0,13** | **0,14** | **0,21** | **0,26** |
| Медиана | 0,14 | 0,14 | 0,22 | 0,24 |
| Мода | 0,14 | 0,14 | 0,22 | 0,24 |
| Стандартное отклонение | 0,035 | 0,045 | 0,039 | 0,06 |
| Количество измерений (n) | 2049 | 2191 | 3722 | 1298 |

Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на Северном Кавказе приближается к нормальному (рис. 8.1), средние и модальные значения (табл. 8.1), не превышают гамма-фон, установленный Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009 Российской Федерации (0.30 мкЗв/ч). В целом, полученные значения соответствуют вариациям, установленных в других регионах мира (0,100–0,200 мкЗв/ч) (Vysokoostrovskaya et al., 1996; Wang et al., 2005; Song et al., 2012).

Для Ростовской области наблюдаются незначительные превышения (0,250–0,290 мкЗв/ч) средней МЭД, что объясняется геоморфологическими особенностями: повышенные значения приурочены, как правило, к овражно-балочным системам (повсеместно распространенным в Ростовской области), на дне которых происходит накопление почвенного $^{222}$Rn.

Для Республики Адыгея мощность эквивалентной дозы гамма-излучения находится в пределах 0,100–0,200 мкЗв/ч. Значения асимметричности и эксцесса (табл 8.1) отражают значительную неоднородность выборки, связанную главным образом с геологическим строением территории. В пределах модельной площадки, характеризующейся сложным тектоническим строением, мозаично обнажаются генетически разнородные горные породы. При этом даже на небольших участках массивов кристаллических пород отмечены значительные вариации величин МЭД и удельной активности естественных радионуклидов, объясняемые исходным составом и перераспределением элементов в ходе нескольких этапов наложенных метасоматических преобразований (Попов и др., 2014). Для осадочных комплексов значительные вариации связаны с присутствием стратиграфических горизонтов, характеризующихся аномальными концентрациями урана. На изученной территории расположены гидротермальные урановое Даховское месторождение и ряд рудопроявлений радиоактивных элементов, связанные с раннеюрским этапом развития территории (Волкодав, 2007).

Эманации радона отмечаются по зонам тектонических нарушений (достигая аномально высоких значений – до 1245,7 (±20%) Бк м$^{-3}$ - на участках их пересечения

подземными горными выработками) и в дренажах подземных водах, связанных с обогащёнными ураном стратиграфическими горизонтами.

Ирафский район расположен в западной лесостепной и частично предлесной зоне горной части Республики Северная Осетия-Алания. Модельные площадки данного региона исследования расположены на участках, сложенных трещиноватыми гранитоидами, для которых характерны повышенные относительно региональных фоновых значений содержания естественных радионуклидов (Аветисян и др., 2015), что формирует довольно высокий радиационный фон (табл 8.1).

Радиационный фон исследуемых природных территорий Республики Кабардино-Балкария (модельные площадки на пиках Чегет и Терскол) также отличается высокими значениями (таблица 8.1), в среднем близкими к значению 0.30 мкЗв/ч (НРБ-99/2009). Модельные площадки данного региона расположены в зоне кристаллического метаморфического комплекса, прорванного разновозрастными интрузивными породами, что в сочетании с высокогорными условиями (высокий вклад космогенного излучения в формирование γ-фона) относит данные территории к зонам с повышенным γ-фоном (Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в).

### *8.2. Активность радона в воздухе*

Объемная активность радона в воздухе на открытой местности зависит от множества факторов. В первую очередь, на эманацию радона в воздухе влияет геологическое строение территории – содержание урана в породах, наличие радиоактивной минерализации, определяемая разломной тектоникой и развитием экзогенных процессов проницаемость пород (Орлова и др., 2006; Гончаренко и др., 2009; Дергачева и Бураева, 2014в; Куликов и др., 2015; Бураева и др., 2016; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016б; Дергачева и др., 2017б; Горбунов и др., 2019; Джура и др., 2021; Бураева и др., 2022). Часть результатов определения

объемной активности радона в окружающей среде в регионах Северного Кавказа оформлена в виде баз[41] данных и представлена в Приложении 1, п. П1.2.

Климатические условия региона (температура воздуха, скорость ветра, наличие осадков и пр.) могут способствовать изменению объемной активности радона не только в течение года, но и в течение одного дня. На некоторых территориях существенное значение имеют техногенные источники поступления радона – при сжигании угля, как на предприятиях топливной энергетики, так и населением при отоплении частных домов (Сердюкова и Капитанов, 1975; Орлова и др., 2006; Гончаренко и др., 2009; Дергачева и Бураева, 2014в; Куликов и др., 2015; Бураева и др., 2016; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016б; Дергачева и др., 2017б; Горбунов и др., 2019; Джура и др., 2021; Бураева и др., 2022а).

Таблица 8.2 – Объемная активность радона в воздухе, Бк/м$^3$

| Контрольный участок | Минимум | Максимум | Среднее арифметическое | Относительная погрешность |
|---|---|---|---|---|
| Ростовская область, Цимлянский и Дубовский районы | 10,0 | 189,2 | 64,4 | 10,1 |
| Республика Адыгея, Майкопский район | 14,0 | 111,0 | 49,6 | 5,0 |
| Республика Северная Осетия – Алания, Ирафский район | 15,0 | 123,0 | 54,9 | 7,0 |
| Республика Кабардино-Балкария, пики Чегет и Терскол | 6,0 | 25,0 | 17,2 | 0,8 |

В Ростовской области модельные площадки расположены в районе региональных глубинных разломов земной коры (Цимлянский, Дубовский районы),

[41] **Содержание радона (Rn-222) в объектах окружающей среды на территории Ростовской области в 2001 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621619 РФ / Бураева Е. А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е. В., Долгополов А.В., Кубрина В.К., Малышевский В.С., Нефедов В. С., Стасов В. В., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621196; заявл.06.09.2016; дата гос. рег. 29.11.16.

**Содержание радона (Rn-222) в объектах окружающей среды на территории Республики Адыгея в 2013 – 2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621489 РФ / Бураева Е. А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е. В., Долгополов А.В., Кубрина В.К., Малышевский В.С., Нефедов В. С., Стасов В. В., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621276; заявл.29.09.2016.; дата гос. рег. 07.11.2016.

что способствует повышенной эманации радона с поверхности почвы. Распространенные в данных районах темнокаштановые почвы отличаются довольно высоким содержанием естественных радионуклидов, в частности $^{226}$Ra (до 40 Бк/кг (Аветисян и др., 2015а), что усиливает эманацию радона с поверхности почвы. Также, в некоторых населенных пунктах Ростовской области до сих пор использует уголь при отоплении частных домов, что вносит дополнительный вклад в объемную активность радона в воздухе на территории исследования (Орлова и др., 2006; Гончаренко и др., 2009; Дергачева и Бураева, 2014в; Куликов и др., 2015; Бураева и др., 2016; Дергачева и др., 2016а; Дергачева и др., 2016б; Дергачева и др., 2017б; Горбунов и др., 2019; Джура и др., 2021; Бураева и др., 2022а).

На остальных модельных площадках, расположенных на северном склоне Большого Кавказа, наряду с геологическим строением, важнейшую роль играет ветровой режим: этот фактор определяет наиболее низкие значения на высокогорных площадках в Кабардино-Балкарии и на площадке в Адыгее, значительная часть которой относится к участку долины р. Белая, образующему каньон в гранитоидном массиве (табл. 8.2). При этом гранитоидные породы характеризуются довольно высокими значениями удельной активности $^{226}$Ra (~30-110 Бк/кг), изменяющимися в зависимости от вариаций исходного минерального состава и метасоматической переработки (Попов и др., 2013; Попов и др., 2014а; Попов и др., 2014б; Попов и др., 2014в)

### *8.3. Дозы облучения населения от различных источников*

Расчеты дозовых нагрузок от различных природных источников ионизирующих излучений представлены в цикле коллективных публикаций автора (Горбунов и др., 2019; Дергачева и др., 2021а; Дергачева и др., 2017а; Дергачева и др., 2017б; Дергачева и др., 2017в; Дергачева и др., 2017г; Дергачева и др., 2017д; Михайлова и др., 2017; Проценко и др., 2018; Шаповалова и др., 2016а; Шаповалова и др., 2016б; Шаповалова и др., 2016в; Dergacheva et al., 2017a; Dergacheva et al., 2017b; Dergacheva et al., 2017c; Dergacheva et al., 2017d; Martynenko et al., 2019; Sivtsov et al., 2018).

**Доза от естественных радионуклидов.** На рисунке 8.2 и в таблице 8.3 представлены вариации годовой эффективной дозы от основных естественных радионуклидов в почвах Северного Кавказа.

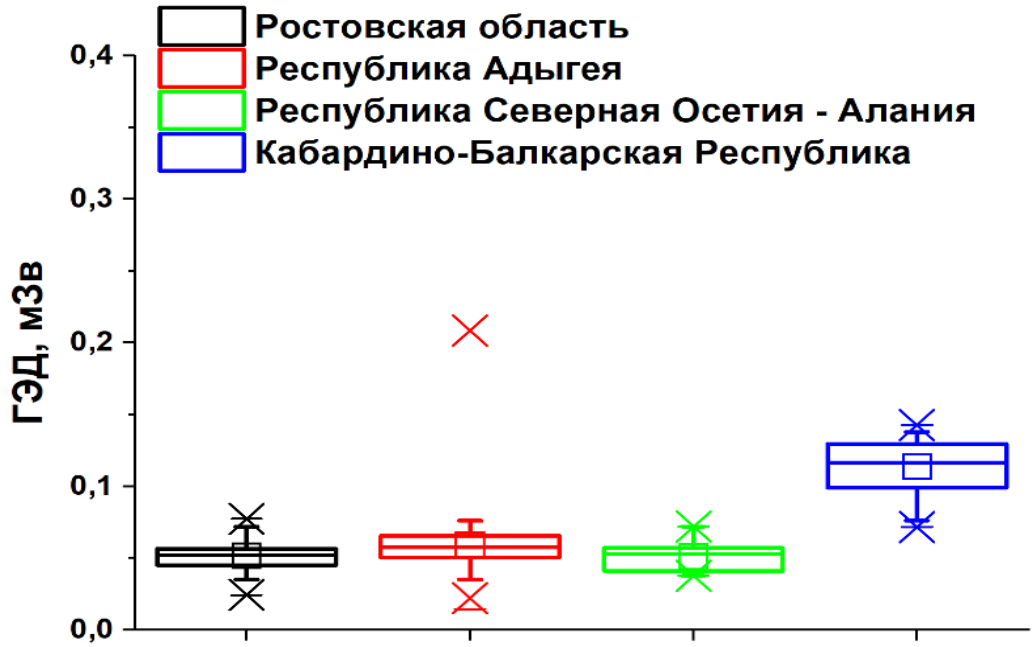



Рисунок 8.2 – Годовая эффективная доза от $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K

Таблица 8.3 – Годовая эффективная доза от $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K, мЗв

| Контрольный участок | Минимум | Максимум | Среднее арифметическое | Относительная погрешность |
|---|---|---|---|---|
| Ростовская область | 0,024 | 0,077 | 0,052 | 0,010 |
| Республика Адыгея | 0,014 | 0,381 | 0,059 | 0,030 |
| Республика Северная Осетия - Алания | 0,038 | 0,072 | 0,051 | 0,010 |
| Республика Кабардино-Балкария | 0,072 | 0,143 | 0,114 | 0,020 |

Анализ значений годовой эффективной дозы от $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$K на модельных площадках выявляет наиболее высокие значения в Республики Кабардино-Балкария и значительный разброс значений для Адыгеи, что объясняется приведенными выше особенностями геологического строения.

В целом, годовая эффективная доза от естественных радионуклидов $^{226}Ra$, $^{232}Th$ и $^{40}K$ на различных территориях Юга России составляет от 0.0517 до 0.1136 мЗв.

**Доза от $^{137}Cs$.** На рисунке 8.3 и в таблице 8.4 представлены рассчитанные значения годовой эффективной дозы от $^{137}Cs$ для трех групп населения: взрослых, школьников и дошкольников, в соответствии с 20%-м нахождением человека на открытой местности (UNSCEAR, 1993).

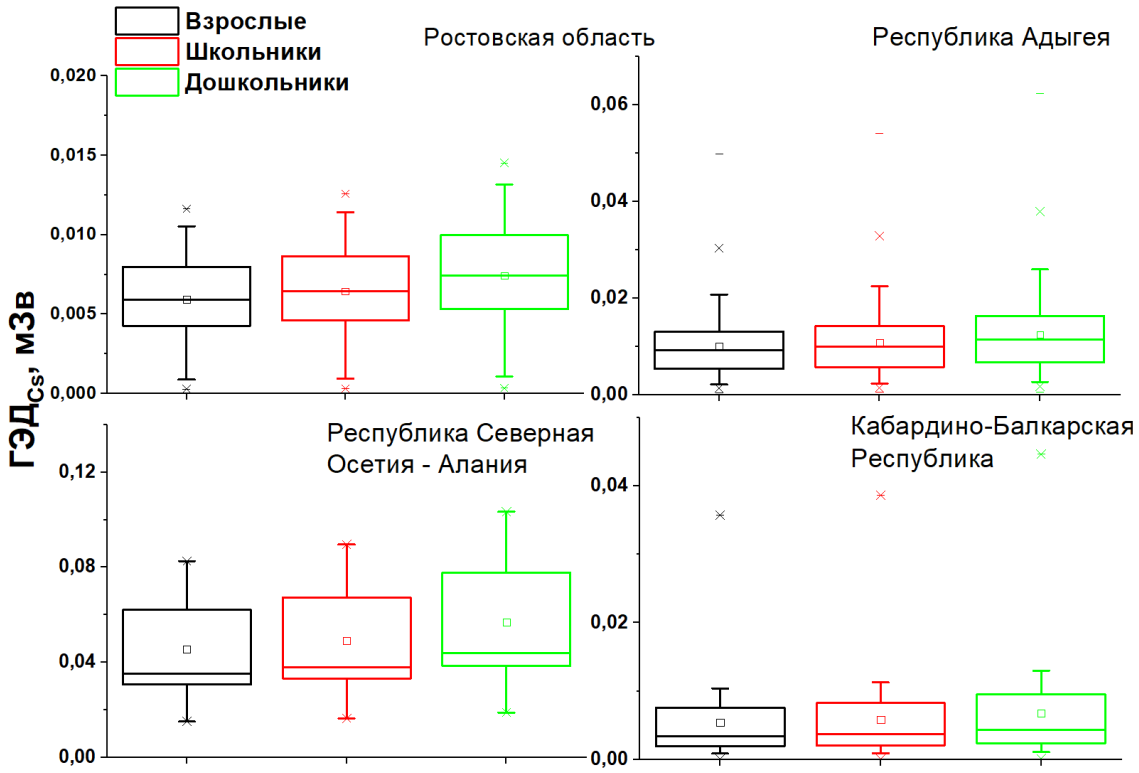



Рисунок 8.3 – Годовая эффективная доза от $^{137}Cs$ в почвах для взрослых, школьников и дошкольников ($H_{Cs}$, мЗв)

Таблица 8.4 – Годовая эффективная доза от $^{137}Cs$ для взрослых, мЗв

| Контрольный участок | Минимум | Максимум | Среднее арифметическое | Относительная погрешность |
|---|---|---|---|---|
| Ростовская область | 0,0003 | 0,0116 | 0,0059 | 0,0003 |
| Республика Адыгея | 0,0005 | 0,0499 | 0,0100 | 0,0004 |
| Республика Северная Осетия - Алания | 0,0152 | 0,0827 | 0,0455 | 0,0057 |
| Республика Кабардино-Балкария | 0,0001 | 0,0357 | 0,0054 | 0,0015 |

Годовая эффективная доза облучения населения от радиоцезия, в среднем, на два порядка ниже измеренной годовой эффективной дозы, ввиду достаточно малого содержания $^{137}Cs$ в почвах региона исследования. Доза облучения от радиоцезия трех групп населения на различных территориях исследования изменяется в соответствии с содержанием $^{137}Cs$ в почвах и дозовым коэффициентом для расчета среднегодовой эффективной дозы при облучении человека от подстилающей поверхности. Наибольшую дозу от $^{137}Cs$ получают все три группы населения Республики Северная Осетия-Алания (рисунок 8.3).

**Доза от радона.** На рисунке 8.4 и в таблице 8.5 представлены результаты расчета дозы от радона в воздухе на исследуемых территориях.

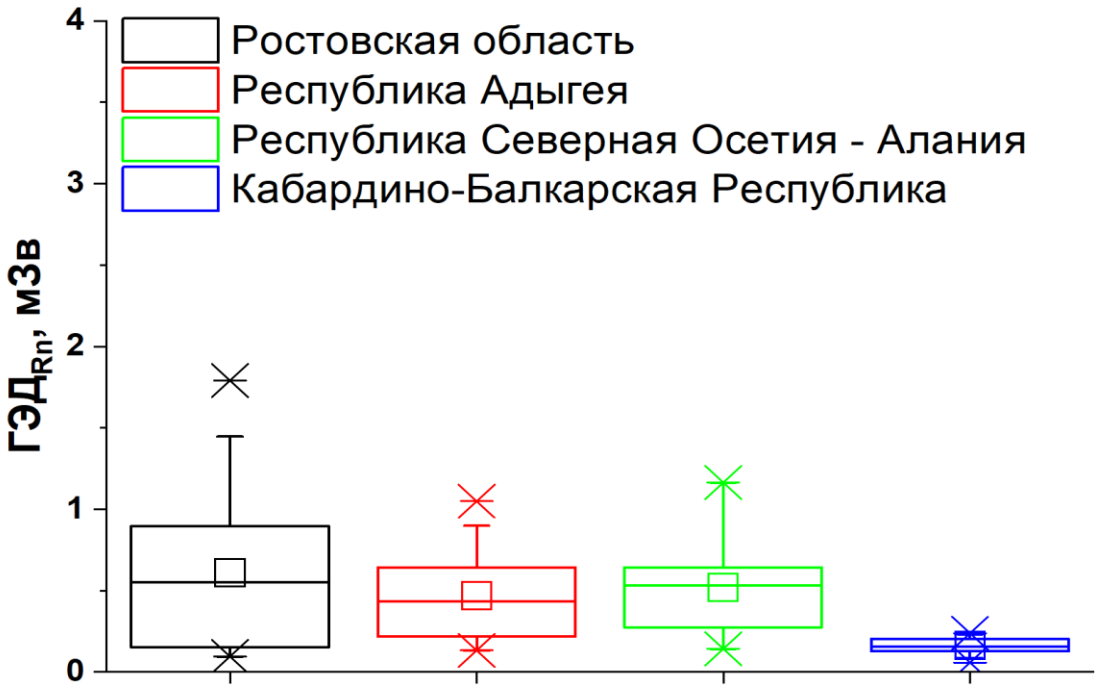



Рисунок 8.4 – Годовая эффективная доза от радона

Таблица 8.5 – Годовая эффективная доза от радона, мЗв

| Контрольный участок | Минимум | Максимум | Среднее | Ошибка |
|---|---|---|---|---|
| Ростовская область | 0.15 | 1.62 | 0.81 | 0.425 |
| Республика Адыгея | 0.20 | 0.73 | 0.47 | 0.217 |
| Республика Северная Осетия - Алания | 0.14 | 1.16 | 0.52 | 0.274 |
| Республика Кабардино-Балкария | 0.06 | 0.24 | 0.16 | 0.051 |

Значения годовой эффективной дозы от $^{222}Rn$ изменяются в очень широких пределах, в соответствии его объемной активностью, для всех модельных площадок. Наименьшая доза от радона в воздухе на открытой местности и ее вариации (рисунок 8.4, таблица 8.5) зарегистрированы на модельных площадках, расположенных на пиках Чегет и Терскол (Республика Кабардино-Балкария). Максимальная годовая доза от радона в воздухе и наибольшие ее вариации отмечаются на территории Ростовской области.

**Доза от космогенного излучения.** На рисунке 8.5 представлены результаты расчета годовой эффективной дозы от ионизирующей $H_{ion}$ и нейтронной $H_n$ компонент космогенного излучения, а также суммарной дозы H.

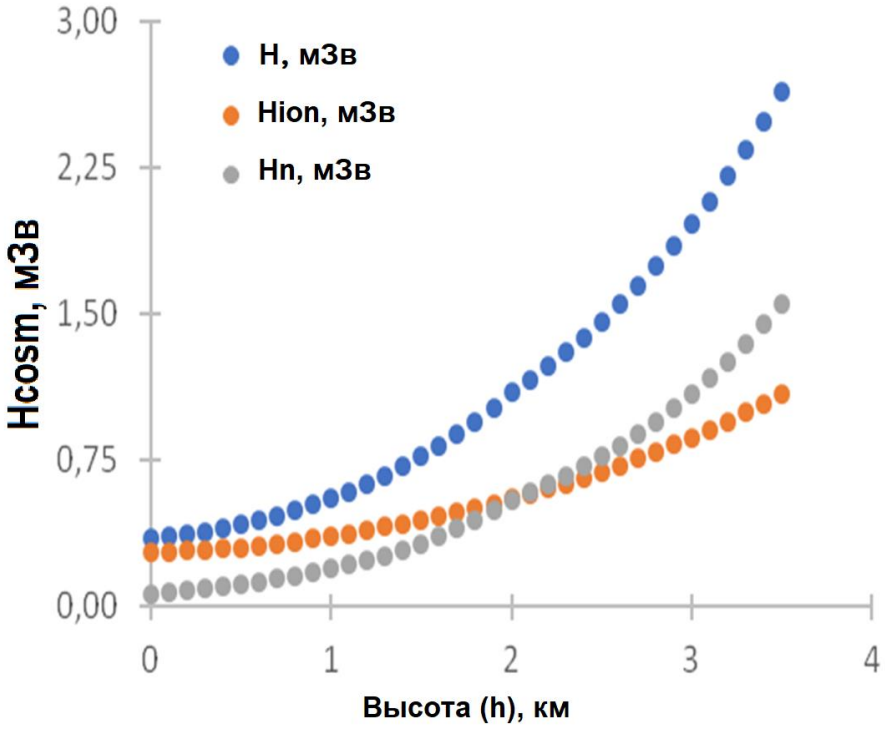



Рисунок 8.5 – Годовая эффективная доза от космического излучения на различной высоте над уровнем моря

Доза от нейтронной компоненты с увеличением высоты над уровнем моря возрастает быстрее ионизирующей. Данная модель учитывает вклад альбедо излучения от поверхности Земли.

В таблице 8.6 представлены значения измеренной годовой дозы, а также рассчитанной годовой дозы от космогенного излучения в соответствие с 20-% нахождением человека на открытой местности H* и их полным значением H.

Таблица 8.6 – Измеренная годовая эффективная доза и годовая эффективная доза от космического излучения, мЗв

| Контрольный участок | Высота над уровнем моря, км | Измеренная ГЭД Н*/Н | ГЭД от космического излучения Н*/Н |
|---|---|---|---|
| Ростовская область | 0 – 0,1 | 0,228 / 1,140 | 0,070 / 0,353 |
| Республика Адыгея | 0,4–0,6 | 0,245 / 1,225 | 0,084 / 0,420 |
| Республика Северная Осетия - Алания | 2,0–2,1 | 0,368 / 1,840 | 0,226 / 1,129 |
| Республика Кабардино-Балкария | 3,0–3,2 | 0,456 / 2,280 | 0,416 / 2,081 |

Из таблицы видно, что значения годовой эффективной дозы 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 годовой эффективной дозе от космогенного излучения, нормативные документы Российской Федерации рекомендуют учитывать вклад только ионизирующей компоненты и принимать его равным 0,40 мЗв/год (СанПиН 2.6.1.2800–10; СанПиН 2.6.1.2523–09; СП 2.6.1.2612–10). При этом, как показано на рисунке 8.5, достаточно существенный вклад может вносить также и нейтронная компонента космического излучения и, вероятно, г-кванты (в том числе и рассеянные). Помимо этого, в ядерных реакциях с нейтронами и г-квантами на ядрах азота и, в меньшей степени, кислорода и углерода образуется множество космогенных радионуклидов ($^{7}$Be, тритий, $^{14}$C, изотопы криптона и йода и т.д.), которые, перемещаясь с воздушными массами в приземный слой атмосферы, могут вносить дополнительные дозовые нагрузки. Таким образом, рассчитанные значения ионизирующей компоненты годовой эффективной дозы от космогенного излучения на модельных площадках, расположенных на высоте более

1,5 км над уровнем моря, существенно превышают значение, рекомендованное (СанПиН 2.6.1.2800–10; СанПиН 2.6.1.2523–09; СП 2.6.1.2612–10) (0,40 мЗв/год).

### *8.4. Суммарная годовая эффективная доза*

На рис. 8.6 и в таблице 8.7 наглядно представлены значения суммарной ГЭД на исследуемых модельных площадках, а также в сравнении с измеренными значениями, соответственно.

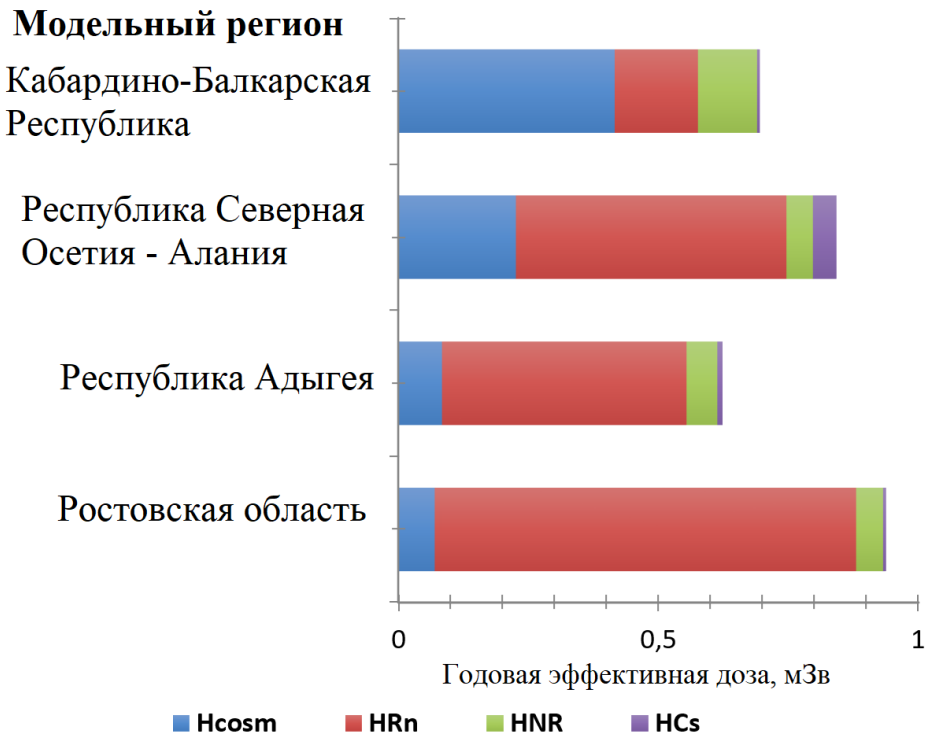



Рисунок 8.6 – Годовые эффективные дозы от различных источников на контрольных участках

Таблица 8.7 – Суммарная и измеренная годовые эффективные дозы, мЗв

| ГЭД | Ростовская область | Республика Адыгея | Республика Северная Осетия - Алания | Республика Кабардино-Балкария |
|---|---|---|---|---|
| Суммарная | 0,94 | 0,62 | 0,84 | 0,70 |
| Измеренная | 0,23 | 0,25 | 0,37 | 0,46 |

Как видно из таблицы 8.7, 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).

В целом, результаты натурных измерения МАЭД 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 в виде оползней, камнепадов и так далее, что часто встречается в горных районах).

В то же время ландшафтно-климатические условия могут действовать и наоборот: например, с высотой увеличивается вклад космогенных источников, но уменьшается вклад радона за счет динамизма пограничного слоя атмосферы.

# ВЫВОДЫ

1. Характер распределения МАЭД гамма-излучения на степных территориях Ростовской области и Краснодарского края однородный и не изменяется со временем. Фоновым (эталонным) значением МАЭД для природных и урбанизированных территорий степных регионов с умеренным континентальным климатом, слаборасчлененным равнинным рельефом, каштановыми и черноземными почвами на глинах и лессовидных суглинках, можно считать 0,128±0,042 мкЗв/ч, полученное при усреднении результатов измерений на всех ООПТ Ростовской области с аналогичным почвенным покровом.

2. В целом средняя МАЭД на природных и урбанизированных степных территориях Юга Европейской части России составляет 0,130–0,140 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.

3. Для прибрежных природных и урбанизированных территорий Черного моря фоновое значение МАЭД гамма-излучения составляет 0,109±0,047 мкЗв/ч. В качестве фоновой (эталонной) МАЭД гамма-излучения для горных районов Республики Адыгея можно считать величину 0,132±0,047 мкЗв/ч при отсутствии выходов/обнажений пород и месторождений полезных ископаемых. Для высокогорных районов Кавказа фоновые значения МАЭД составляют: 0,146±0,051 мкЗв/ч (высота над уровнем моря 1700–1900 м, горно-луговые почвы на осадочных породах), 0,159±0,042 мкЗв/ч (высота над уровнем моря 2100–2200 м, горно-луговые почвы на осадочных породах), 0,214±0,039 мкЗв/ч (высота над уровнем моря 2000–2200 м, горно-луговые почвы на магматических породах) и 0,263±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±9,8 Бк/кг для $^{226}Ra$, 27,0±7,8 Бк/кг для $^{232}Th$ и 403,7±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. Медианная удельная активность $^{137}Cs$ в верхнем (0–10 см) почвенном слое составляет 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±6,8 Бк/кг, 30,3±8,8 и 425,1±114,0 для $^{226}Ra$, $^{232}Th$ и $^{40}K$ соответственно. Медианная удельная активность $^{137}Cs$ в верхнем (0–10 см) почвенном слое составляет 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 контрольного участка 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 pH 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 ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ


1. Абдулаева А.С., Асварова Т.А. Основные источники облучения населения равнинных и высокогорных районов Дагестана // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014а. – №Т. 19, В.5. – С. 1630–1633.

2. Абдулаева А.С., Асварова Т.А. Радиационный мониторинг вне и внутри жилых помещений на Территории Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2014б. – №63. – С. 288–292.

3. Авдиенко Н.А., Бураева Е.А., Зорина Л.В., Мысак С.Е., Стасов В.В. Корреляционные связи содержаний $^{7}$Be в атмосферных аэрозолях с солнечной активностью // В сб. материалов V Международной школы молодых ученых и специалистов «Физика окружающей среды». – 2006а. – С. 59–62.

4. Авдиенко Н.А., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Стасов В.В., Стрельников А.М. Фурье–анализ временных последовательностей содержания радионуклидов в атмосферных аэрозолях // В сб. тезисов Двенадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2006б. – С. 755.

5. Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Гончаренко А.А., Давыденко А.М., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н. Естественные и искусственные радионуклиды в растительных объектах Ростовской области // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №2 – URL: www.science–education.ru/122–17338 (дата обращения: 12.02.2015)

6. Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В. Особенности распределения $^{90}$Sr в каштановых почвах Ростовской области // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016а. – С. 28–30.

7. Аветисян С.Р., Дергачева Е.В., Долгополова А.М., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Стасов В.В., Малышевский В.С., Бураева Е.А. Оценка распределения $^{137}$Cs в профилях почвы степной территории Юга России // В сб. материалов

Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016б. – С. 26–28.

8. Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Новиковский Н.М. Элементный состав некоторых горных и степных почв юга Европейской части России // Известия ВУЗов. Северо–Кавказский регион. Естественные науки. – 2017. – №3. – В. 1. – С. 62–68.

9. Алексахин, Р.М. Радиоактивное загрязнение почв и растений. – М.: АНСССР, 1963. – 132 с.

10. Алексахин Р.М. Некоторые достижения и задачи в исследовании естественных и искусственных радионуклидов в почвах и растительности // Почвоведение. – 1982. - №6. – С.45-52.

11. Алексахин Р.М., Архипов Н.П., Бархударов Р.М., Василенко И.Я., Дричко В.Ф., Иванов Ю.А., Маслов В.И., Маслова К.И., Никифоров В.С., Поликарпов Г.Г., Попова О.Н., Сироткин А.Н., Таскаев А.И., Тестов Б.В., Титаева Н.А., Февралева Л.Т. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы.. – М.: Наука, 1990. – 368 с.

12. Алексахин Р.М., Васильев А.В., Дикарев В.Г., Егорова В. А, Жигарева Т.Л., Иванов Ю.А., Козьмин Г.В., Кругликов Б.П., Круглов С.В., Моргунова Е.А., Л.И. Пантелеев, А.П. Поваляев, Г.И. Попова, И.М. Расин, Ратников А.Н., Санжарова Н.И., Сарапульцев И.А., Сироткин А.Н., Соколов В.А., Спирин Е.В., Фесенко С.В., Филипас А.С., Хвостунов И.К., Шевченко А.С., Шуховцев Б.И.. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы.. – М.: Экология, 1992. – 400 с.

13. Анненков Б.Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева. – М.: Агропромиздат, 1991. – 287 с

14. Анищенко Л.Н., Шапурко В.Н., Сафранкова Е.А. Особенности аккумуляции тяжелых металлов растениями и лишайниками в условиях сочетанной антропогенной нагрузки // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–7. – С. 1527-1531; URL: https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35096 (дата обращения: 16.03.2023).

15. Анохин В.Л. Моделирование процессов миграции радиоизотопов в ландшафтах. – М.: Атомиздат, 1974. – 144 с.

16. Антонова Ел.Ю., Бураева Е.А., Маломыжева Н.В. Радионуклиды в объектах микофлоры и почвах на территории Северного Кавказа. // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021. – Т.2. – С. 151–153.

17. Антонова Ек.Ю., Огиенко А.В., Бураева Е.А. Дозовые нагрузки на территориях сельских поселений Ростовской области // В сб. тезисов докладов IV Международной (XVII региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск». – 2021а. – С. 125–127. ISBN 978–5–7262–2374–2

18. Антонова Ек.Ю., Бураева Е.А., Маломыжева Н.В. Распределение МЭД гамма–излучения на территориях сельских поселений Ростовской области // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021б. – Т.2. – С. 148–150.

19. Антонова Ек.Ю., Огиенко А.В., Калашникова К.А., Бураева Е.А. Дозы облучения населения на территориях малых городов и сельских поселений Ростовской области // Сб–к тр. Девятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем. – 2020. – Т.1. – С. 241–245.

20. Апарин Б.Ф., Мингареева Е.В., Санжарова Н.И., Сухачева Е.Ю. Содержание радионуклидов ($^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K, $^{137}$Cs) в черноземах Волгоградской области разных сроков отбора образцов // Почвоведение. – 2017. – №12. – С. 1457–1467.

21. Арастович Т.В. Влияние свойств почв на процесс вертикальной миграции радионуклидов // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. – 2004. – №2. – С. 23–25.

22. Артамонова Ю.С. Малый город как особая социально–экономическая единица // Экономика образования. – 2009. – №3. – Часть 2. – С. 301–304.

23. Артемова Н.Е., Бондарев А.А., Карпов В.И., Курдюмов Б.С., Романов Г.Н., Руженцова И.Н., Семова Р.В., Теверовский Е.Н., Терновский И.А Допустимые выбросы радиоактивных и вредных химических веществ в приземный слой атмосферы. – М.: Атомиздат, 1980. – 240 с.

24. Архив погоды в Новочеркасске [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://world–weather.ru/archive/russia/novocherkassk/, свободный. – Загл. с экрана.

25. Арысланова Ф.Ш., Москалев Н.Н., Дергачева Е.В., Долгополова А.М., Бураева Е.А. Особенности распределения радионуклидов в системе почва–растительность территории Новочеркасской ГРЭС // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016а. – С. 31–32.

26. Арысланова Ф.Ш., Кубрина В.К., Тройченко Р.В., Шаповалова Е.С., Гордиенко С.Г., Дергачева Е.В., Москалев Н.Н., Бураева Е.А. Радионуклиды в растительности на территории Новочеркасской ГРЭС // В сб. Трудов Пятого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2016б. – Т. 1. – С. 32–34.

27. Арысланова Ф.Ш., Кубрина В.К., Тройченко Р.В., Шаповалова Е.С., Гордиенко С.Г., Дергачева Е.В., Москалев Н.Н., Бураева Е.А. Распределение радионуклидов в системе почва – растительность // В сб. Трудов Пятого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2016в. – №Т. 1. – С. 23–26.

28. Арысланова Ф.Ш., Кубрина В.К., Тройченко Р.В., Шаповалова Е.С., Гордиенко С.Г., Дергачева Е.В., Москалев Н.Н., Бураева Е.А. Оценка особенностей поглощения естественных радионуклидов растительностью // В сб. Трудов Пятого

Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2016г. – Т. 1. – С. 27–31.

29. Асварова Т.А., Абдулаева А.С., Магомедов М. Естественные радионуклиды в породах и почвах высокогорных районов большого Кавказа // Почвоведение. – 2012. – №6. – С. 695.

30. Асварова Т.А., Залибеков З.Г., Абдуллаева А.С. Влияние процессов опустынивания на интенсивность миграции радионуклидов в почвах Терско–Кумской низменности // Аридные экосистемы. – 2013. – №1 (54). – Т. 19. – С. 28–35.

31. Асварова Т.А., Гасанов Г.Н., Абдулаева А.С. Уран и торий в растениях Терско–Кумской низменности // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014а. – №5. – Т. 19. – С. 1634–1637.

32. Асварова Т.А., Залибеков З.Г., Абдулаева А.С., Магомедов М.А. Радиоэкологическое состояние почвенно–растительного покрова на территории Терско–Кумской низменности // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2014б. – №63. – С. 137–141.

33. Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины. – М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1998. – 143 с.

34. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АС ПА Россия–Беларусь). – Москва–Минск: Фонд «Инфосфера»–НИА–Природа, 2009. – 140 с.

35. Ашихмина, Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия [Текст]. – Киров: «Вятка», 2002 – 544с.

36. Ашихмина Т.Я., Тимонюк В.М. Мох *Pleurozium Sreberi* как биоиндикатор загрязнения атмосферы. / под ред. проф., д.м.н. Ильинских Н.Н // В сб. научных трудов «Естествознание и гуманизм», – 2008. – Том 5. – Вып. 1. – С.

37. Бакаева Е.Н., Бураева Е.А., Игнатова Н.А. Динамика профилей $^{137}Cs$ промывного типа и токсичность почв в зоне наблюдения Ростовской АЭС // Глобальная ядерная безопасность. – 2011. – №1 (1). – С. 33–38.

38. Барахов А.В., Гончарова Л.Ю., Бураева Е.А. Радионуклиды и тяжелые металлы в почвах ландшафтов города Ростова–на–Дону на примере Ботанического сада Южного федерального университета // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016. – С. 102–103.

39. Барахов А.В., Дергачева Е.В., Гордиенко С.Г., Нефедов В.С., Бураева Е.А., Гончарова Л.Ю. Радионуклиды в почвах Ботанического сада Южного федерального университета // В сб. материалов Международной научной конференции, посвященной 100–летию Южного федерального университета «Роль ботанических садов в сохранении и мониторинге биоразнообразия». – 2015а. – С. 473–476.

40. Барахов А.В., Дергачева Е.В., Гордиенко С.Г., Нефедов В.С., Бураева Е.А., Гончарова Л.Ю. Распределение радионуклидов в почвах Ботанического сада Южного федерального университета // // В сб. трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». – 2015б. – С. 57–61.

41. Барахов А.В., Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Брынько В.А., Федченко Т.М., Гончарова Л.Ю. Распределение радионуклидов в почвах Ботанического сада Южного федерального университета // Теоретические и прикладные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно–практической конференции 31 марта 2014 г.: в 13 частях.. – 2014. – Ч. 8. – С. 27.

42. Барсуков О.А., Иванов А.И., Плотников М.А. Радиоактивность съедобных грибов Пензенской области // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. – 2011. – №25. – С. 274–284.

43. Безуглов М.В., Малышевский В.С., Фомин Г.В. Фотоядерный механизм образования космогенного Be–7 в земной атмосфере // АНРИ. – 2010. – №3 (62). – С. 5–8.

44. Безуглова О.С., Бураева Е.А., Горбов С.Н., Козырев Д.А., Дергачева Е.В., Дубинина М.Н., Тагивердиев С.С. Оценка содержания естественных и искусственных радионуклидов в почвах природных ландшафтов Ростовской области // Актуальные проблемы экологии и природопользования: материалы научной конференции. – 2016. – С. 14–17.

45. Безуглова О.С., Маркова Г.А. Почвенно-экологическая ситуация в городе Железноводске // Живые и биокосные системы. 2017. № 21. С. 5.

46. Безуглова О. С., Хырхырова М. М. Почвы Ростовской области: учебное пособие. – Ростов н/Д: ЮФУ, 2008. – 352 с.

47. Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Горбов С.Н. Физические характеристики городских почв Ростовской агломерации. // Почвоведение. – 2018. – № 9. – С. 1153-1159.

48. Белова Н.В., Санжарова Н.И., Воробьева Л.А., Моисеенко Ф.В., Шишулина М.В. Влияние калийных удобрений на транслокацию $^{137}$Cs в растения из дерново–подзолистой песчаной почвы // Агрохимия. – 2009. – №11. – С. 50–56.

49. Бобренко И.А., Матвейчик О.А., Бобренко Е.Г. Содержание радионуклидов в почвах и растениях лесостепи западной Сибири // Вестник КрасГАУ. – 2020. – №9 (162). – С. 19–26.

50. Бобылев В.А., Бураева Е.А. Исследование особенности распределения $^{137}$Cs в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС // Сб–к тр. Девятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т. 1.. – С. 246–249.

51. Бобылев В.А., Бураева Е.А. Распределение $^{137}Cs$ в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС // В сборнике тезисов XVII Ежегодной молодежной научной конференции "Наука и технологии Юга России". – 2021а. – С. 89. ISBN 978–5–4358–0209–2.

52. Бобылев В.А., Бураева Е.А. Удельная активность $^{137}Cs$ в верхних слоях почвы зоны наблюдения Ростовской АЭС // В сб. тезисов докладов IV Международной (XVII региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск». – 2021б. – С. 130–132. ISBN 978–5–7262–2374–2.

53. Бобылев В.А., Бураева Е.А., Павленко А.С., Костырев. Б.П. Исследование миграции $^{137}Cs$ в почве тридцатикилометровой зоны наблюдения Ростовской АЭС // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021. – Т. 2. – С. 154–158.

54. Бобылев В.А., Бураева Е.А., Сивцов А.В., Сайфудинов С.К. Экологический мониторинг зоны наблюдения Ростовской АЭС. // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2022. Т. 8. № 4. С. 132–139.

55. Бойко В.И., Кошелев. Ф.П. Аргументы и проблемы атомной энергетики. Безопасность, экономика и экология ядерных технологий. Учебное пособие. – Томск: ООО «Компания Янсон», 2001. – 80 с.

56. Бодров И.В., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Марескин С.А. Ядерно–физические методы определения урана и тория в почвах и донных отложениях // Известия ВУЗов. Северо–Кавказский регион. – 2003. – №10. – С. 32–38.

57. Бодров И.В., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Марескин С.А. Инструментальное определение урана и тория в природных объектах // Атомная энергия. – 2004. – Т. 96, В. 4. – С. 271–276.

58. Болдарев А.В., Горшков В.В., Неганова К.С., Бураева Е.А, Давыденко А.М., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Стасов В.В., Аветисян С.Р., Гончарова Л.Ю., Данилова А.А. Радионуклиды в аллювиальных почвах Северного Кавказа // В сб.

трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». – 2015. – С. 66–69.

59. Болсуновский А.Я., Дементьев Д.В., Бондарева Л.Г. Оценка накопления техногенных радионуклидов грибами в зоне влияния Красноярского горно–химического комбинат // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2006. – №1. – Т. 46. – С. 64–70.

60. Бондарь П.Ф. Теоретическое обоснование методик оценки влияния разных факторов на поступления в растения радионуклидов и прогнозирование накопления их в урожае // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1998. – С. 45-49.

61. Бондарь Ю.И., Шманай Г.С., Ивашкевич Л.С. Доступность $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$ растениям из различных компонентов почвы // Почвоведение. – 2000. – №4. – С. 439–445.

62. Ботанический сад ЮФУ. 2022. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. Доступ: https://bg.sfedu.ru/. Доступен: 15.05.2022.

63. Булохов А.Д., Борздыко Е.В., Панасенко Н.Н., Сковородникова Н.А. Анализ активности радионуклидов в биогеоцеозах юго–западных районов Брянской области // Вестник Брянского государственного университета. – 2009. – №4. – С. 145–152.

64. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Марескин С.А. Калибровочные источники (меры активности) гамма–излучения на основе фоновой почвы // АНРИ. – 2003. – №4. – С. 40–44.

65. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Марескин С.А. Калибровочные источники (меры активности) гамма–излучения на основе фоновой почвы. // Атомная энергия. – 2004 – Т.96, В. 3. – С. 237–242

66. Бураева Е.А. Радиоэкологический мониторинг экосистем, включающий определения радионуклидов с низкой энергией гамма-излучения: автореф. дис. канд. хим. наук: Краснодар, 2005а. – 23 с.

67. Бураева Е.А. Радиоэкологический мониторинг экосистем, включающий определения радионуклидов с низкой энергией гамма-излучения: дис. канд. хим. наук: Ростов–на–Дону, 2005б. – 149 с.

68. Бураева Е.А. Возможности определения низких содержаний искусственных радионуклидов в объектах окружающей среды гамма–спектрометрическим методом // В сб. тезисов Одиннадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2005в. – С. 613–614.

69. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Марескин С.А. О механизме наработки радионуклидов методом активации двухфазных мишеней на электронных ускорителях // В сб. тезисов Одиннадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2005а. – С. 549

70. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Колесникова Е.А., Семенов Г.А. Результаты радиогидрогеологического опробования подземных вод в скважинах и родниках, подверженных радиоактивному загрязнению, в Майкопском районе республики Адыгея // Известия ВУЗов. Северо–Кавказский регион. Естественные науки. Приложение. – 2005б. – №2. – С. 59–71.

71. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В. Радиоэкологический мониторинг водных экосистем района Волгодонской АЭС // Известия ВУЗов. Северо–Кавказский регион. Технические науки. Приложение. – 2006а. – №16. – С. 210–219.

72. Бураева Е.А., Зорина Л.В., Стасов В.В. Аппаратурный фон гамма–спектрометрических установок для высокочувствительного определения радионуклидов // В сб. работ лауреатов конкурса молодых ученых им. академика И.И. Воровича «Фундаментальные и прикладные проблемы современной техники». – 2006б. – В. 9. – С. 3–12.

73. Бураева Е.А., Зорина Л.В., Стасов В.В. Содержание радионуклидов в аэрозолях приземного слоя воздуха // В сб. материалов V Международной школы молодых ученых и специалистов «Физика окружающей среды». – 2006в. – С. 17–19.

74. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Стасов В.В. $^{210}$Pb в атмосферных аэрозолях и осадках в приземном слое воздуха г. Ростова–на–Дону // В

сб. тезисов Двенадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2006г. – С. 757–758.

75. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Малышевский В.С., Стасов В.В. Содержание $^{7}$Be в приземном слое воздуха г. Ростова–на–Дону // АНРИ. – 2007а. – №1. – С. 63–67.

76. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Стасов В.В. Радиоэкологический мониторинг $^{137}$Cs в почвенных профилях 30 км зоны расположения Волгодонской АЭС // В сб. тезисов «Экологические проблемы. Взгляд в будущее» IV Научно–практической конференции с международным участием. – 2007б. – С. 87–89.

77. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Стасов В.В. Радиоэкологический мониторинг наземных экосистем района расположения Волгодонской АЭС // Известия ВУЗов. Северокавказский регион. Технические науки. Специальный выпуск. – 2008. – С. 148–153.

78. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Кобцева М.А., Стасов В.В. Радиоэкологический мониторинг зоны наблюдения Волгодонской АЭС // Известия ВУЗов. Северокавказский регион. Технические науки. Специальный выпуск. – 2010. – №2а. – С. 154–159.

79. Бураева Е.А., Нефедов В.С., Вардуни Т.В., Шиманская Е.И. Распределение $^{137}$Cs в системе атмосфера–литосфера–биосфера // В сб. материалов IV Международной научно–практической конференции «Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины». – 2011а. – №2а. – С. 206.

80. Бураева Е.А., Попова М.Д., Дрыгов Д.С., Шиманская Е.И. Радиоактивность природных вод Республики Адыгея // В сб. материалов IV Международной научно–практической конференции «Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины». – 2011б. – №2а. – С. 206.

81. Бураева Е.А. Радиоэкологический мониторинг водных экосистем района Ростовской АЭС // Глобальная ядерная безопасность, Спецвыпуск. – 2012. – №3. – С. 83–92.

82. Бураева Е.А., Зорина Л.В., Рогов В.П., Стасов В.В., Скоржинский Д.А. Естественная радиоактивность приземного слоя воздуха г. Ростова–на–Дону // Глобальная ядерная безопасность. – 2012а. – №1 (2). – С. 22–31.

83. Бураева Е.А., Нефедов В.С., Тимченко А.А., Мартыненко С.В., Рогова Д.В., Якубовский А.М. Радионуклиды земного происхождения в атмосфере // В сб. материалов молодежной конференции «Миссия молодежи в науке». – 2012б. – Т. 1. – С. 213–214

84. Бураева Е.А., Стасов В.В., Малышевский В.С., Кубрин С.П., Толпыгин И.Е., Дубоносов А.Д. Сезонное поведение $^{7}$Be в приземном слое воздуха г. Ростова–на–Дону // Фундаментальные исследования. – 2013а. – №1. – Ч. 1. – С. 177–180.

85. Бураева Е.А., Малышевский В.С., Шиманская Е.И., Вардуни Т.В., Триболина А.Н., Гончаренко А.А., Гончарова Л.Ю., Тоцкая В.С., Нефедов В.С. Содержание и распределение естественных радионуклидов в различных типах почвы Ростовской области // Современные проблемы науки и образования. – 2013б. – № 4. – С. 177–180. URL: www.science–education.ru/110–9652

86. Бураева Е.А., Нефедов В.С., Стасов В.В. Малышевский В.С. Поведение $^{137}$Cs в приземном слое воздуха г. Ростова–на–Дону // Глобальная ядерная безопасность. – 2013в. – №2 (7). – С. 15–20.

87. Бураева Е.А., Нефедов В.С., Стасов В.В. Поведение $^{137}$Cs в приземном слое воздуха г. Ростова–на–Дону. // В сб. «Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс]»: тез. докладов IX Международной научно–практической конференции. 23–24 мая 2013 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.] – Волгодонск: 2013г – 1 электрон. оптич. диск [CD].

88. Бураева Е.А., Малышевский В.С., Нефедов В.С., Тимченко А.А., Горлачев И.А., Семин Л.В., Шиманская Е.И., Триболина А.Н., Кубрин С.П., Гуглев К.А., Толпыгин И.Е., Мартыненко С.В. Мощность эквивалентной дозы гамма–излучения природных и урбанизированных территорий Северного Кавказа // Фундаментальные исследования. – 2013д. – №10. – С. 1073–1077.

89. Бураева Е.А., Малышевский В.С., Холодков Ю.И., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Стружанов М.А., Триболина А.Н., Мартыненко С.В. Поведение

$^{137}$Cs в различных типах почвы Юга России // В сб. материалов Седьмой международной научной конференции «Вулканизм, биосфера и экологические проблемы». – 2013е. – С. 300–302.

90. Бураева Е.А., Давыденко А.М., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Триболина А.Н., Федченко Т.М. Радионуклиды в луговых почвах юга России // В сб. статей Шестнадцатой международной научно–практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике». – 2013ж. – С. 215–217.

91. Бураева Е.А., Вардуни Т.В., Шиманская Е.И., Шерстнев А.К., Триболина А.Н. Комплексная оценка родников г. Ростова–на–Дону. // Вода: химия и экология. – 2014а. – № 3(69). – С. 19–25.

92. Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Малышевский В.С., Аветисян С.Р., Давыденко А.М. Профили распределения $^{137}$Cs и физико–химические показатели почв зоны наблюдения Ростовской АЭС. // В трудах третьего международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пъезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития)». «Physics of Lead–Free Piezoactive and Relative Materials (Analysis of Current State and Prospects of Development) (LFPM–2014)». – 2014б. – №Т. 1, В. 3. – С. 223–225.

93. Бураева Е.А., Шиманская Е.И., Москалев Н.Н, Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В. Распределение $^{137}$Cs в растительных объектах. // Успехи современного естествознания. – 2014в. – №11 (часть 2). – С. 99–100.

94. Бураева Е.А., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Стасов В.В., Давыденко А.М. Особенности распределения $^{137}$Cs в почвах степных территорий Ростовской области // В сб. тезисов XXVI Симпозиума «Современная химическая физика». – 2015. – С. 56.

95. Бураева Е.А. $^{137}$Cs в почвах (обзор) // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016. – С. 39–45.

96. Бураева Е.А., Попов Ю.В., Дергачева Е.В., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Кубрина В.К., Проценко В.В. Результаты мониторинга радона в воздухе жилых зданий некоторых территорий Юга России. // Успехи современного естествознания. – 2016. – №12 (часть 2). – С. 356–360.

97. Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Михайлова Т.А., Проценко В.В., Кащаева Е.А., Колесников И.А. Радионуклиды в почвах особо охраняемых территорий Ростовской области // В сб. материалов II Международной научной конференции, посвященная 140–летию со дня рождения Сергея Александровича Захарова (1878–1949) «Современное состояние черноземов»». – 2018а. – Т. 1. – С. 93–97. ISBN 978–5–9275–2889–9.

98. Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Михайлова Т.А., Проценко В.В., Кащаева Е.А., Колесников И.А., Пронина Е.В. Естественные радионуклиды в почвах и растениях территории Новочеркасской ГРЭС // В сб. материалов II Международной научной конференции, посвященная 140–летию со дня рождения Сергея Александровича Захарова (1878–1949) «Современное состояние черноземов». – 2018б. – Т. 2. – С. 227–233. ISBN 978–5–9275–2890–5.

99. Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Михайлова Т.А., Проценко В.В., Кащаева Е.А., Колесников И.А., Саевский А.И. Особенности распределения $^{137}$Cs по элементам рельефа в черноземах Ростовской области // В сб. материалов II Международной научной конференции, посвященная 140–летию со дня рождения Сергея Александровича Захарова (1878–1949) «Современное состояние черноземов». – 2018в. – Т. 1. – С. 98–101. ISBN 978–5–9275–2889–9.

100. Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Попов Ю.В.. $^{232}$Th и $^{226}$Ra в геологической среде Даховской рудной площади. // В сб. Трудов Седьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2018д. – Т. 1. – С. 202–204.

101. Бураева Е.А., Дергачева Е.В.. Содержание $^{232}$Th и $^{226}$Ra в растительных объектах Даховского кристаллического поднятия. // В сб. Трудов Седьмого

Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2018е. – Т. 1. – С 205–207.

102. Бураева Е.А., Кащаева Е.А., Пронина Е. В. Распределение радионуклидов в почвах и растениях по элементам рельефа в условиях сухих степей в зоне наблюдения Ростовской АЭС. // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2019а. – №7(25). – С. 158–162.

103. Бураева Е.А., Ширяева А.А, Кащаева Е.А. Распределение радионуклидов в почвах Адыгеи (Майкопский район). // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2019б. – №7(25). – С. 163–165.

104. Бураева Е.А., Ширяева А.А., Кащаева Е.А., Пронина Е.В. Радионуклиды в почвах Ботанического сада Южного федерального университета // В сб.: Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития) («LFPM–2019»). Труды Восьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума (Ростов–на–Дону, 25–27 сентября 2019 г.): в 2 т. – 2019в. – Т. 1. – С. 101–105.

105. Бураева Е.А., Ширяева А.А., Кащаева Е.А., Пронина Е.В. Распределение радионуклидов в почвах и растениях природно–техногенной территории Новочеркасской ГРЭС // В сб.: Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития) («LFPM–2019»). Труды Восьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума (Ростов–на–Дону, 25–27 сентября 2019 г.): в 2 т. / Южный федеральный университет; [редкол.: Резниченко Л. А. и др.]. – 2019г. – Т. 1. – С. 106–112.

106. Бураева Е.А., Ширяева А.А., Кащаева Е.А., Пронина Е.В. $^{137}Cs$ в элементах рельефа в черноземах Ростовской области (на примере Ботанического сада Южного федерального университета) // В сб.: Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и

перспективы развития) («LFPM–2019»). Труды Восьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума (Ростов–на–Дону, 25–27 сентября 2019 г.): в 2 т. – 2019д. – Т. 1. – С. 113–116.

107. Бураева Е.А., Швецова Д.А., Ляхова Н.В., Михайлова Т.А. Радиальное и латеральное распределение радионуклидов в почвах особо охраняемых природных территории Ростовской области. // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2020а. – №10(40). – С. 126–133.

108. Бураева Е.А., Чечеватова В.В., Саевский А.И., Михайлова Т.А., Кащаева Е.А., Чаплыгин В.А., Литвинов Ю.А., Минкина Т.М. Радионуклиды в наземных экосистемах природно–техногенной территории Новочеркасской ГРЭС. // Экология промышленного производства. – 2020б. – Вып. 3 (111). – С. 45–49.

109. Бураева Е.А., Михайлова Т.А., Горбунов А.С., Дергачева А.В. Особенности распределения радионуклидов в верхнем слое почвы в городе Новочеркасске, Ростовская область. // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2020в. – №10(40). – С. 121–125.

110. Бураева Е.А., Ширяева А.А., Михайлова Т.А. Радионуклиды в почвах горной Адыгеи. // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2020г. – №10(40). – С. 134–136.

111. Бураева Е.А., Малышевский В.С., Ратушный В.И. Космогенный Бериллий–7 в земной атмосфере. // Глобальная ядерная безопасность. – 2020д. – № 4(37). – С. 17–29.

112. Бураева Е.А., Ширяева А.А. Особенности латерального и радиального распределения радионуклидов в почвах горной Адыгеи. // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2021. – №5(47). – С. 194–197.

113. Бураева Е.А., Безуглова О.С., Горбов С.Н., Иванков Д.В., Михайлова Т.А., Кащаева Е.А., Маломыжева Н.В., Швецова Д.А., Ширяева А.А. Особенности распределения радионуклидов в наземных экосистемах каштановой зоны в условиях Ростовской области. // Известия ВУЗов. Северо–Кавказский регион. Естественные науки. – 2021а. – №4. – С. 34–44. doi: 10.18522/1026–2237–2021–4–34–44.

114. Бураева Е.А., Минкина Т.М., Огиенко А.В., Антонова Е.Ю., Ревнивцев И.С., Калашникова К.А., Каменев О.В., Шадин А.Е., Михайлова Т.А. Радиоактивность городских и сельских поселений Ростовской области. // В книге: Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы VI Международной конференции (Томск, 20–24 сентября 2021 г.). В 2 томах. Том 1 / Томский политехнический университет. – Томск : Изд–во Томского политехнического университета, 2021б. – С. 101–105. ISBN 978–5–4387–1026–4 (т. 1); ISBN 978–5–4387–1025–7

115. Бураева Е.А. Удельная активность радионуклидов в почвах урбанизированных территорий Ростовской области // Живые и биокосные системы. – 2022а. – № 40. URL: https://jbks.ru/archive/issue–40/article–3/.

116. Бураева Е.А. Радионуклиды в почвах высокогорных районов Северного Кавказа [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно–производственный журнал. – 2022б. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/4/st_409.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202124409.

117. Бураева, 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. Бураева, О. С. Безуглова // Агрохимический вестник. – 2022. – №4 – С. 19–26. – DOI 10.24412/1029-2551-2022-4-004.

118. Бураева Е.А., Горбунов А.С., Дергачева А.В., Маломыжева Н.В., Невидомская Д.Г., Минкина Т.М., Литвинов Ю.А., Казарян К.А. Особенности распределения мощности эквивалентной дозы гамма–излучения и концентрации радионуклидов в почвах на территории г. Новочеркасска Ростовской области. // Экология и промышленность России. – 2022а. – Т. 26. – № 8. – С. 48–53.

119. Бураева Е.А., Ширяева А.А., Безуглова О.С. Распределение радионуклидов в горных почвах (на примере Майкопского района Республики Адыгея) [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно–производственный журнал. – 2022б. – № 4. – Режим доступа:

http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/4/st_423.pdf. DOI: https://doi.org/10.51419/202124423.

120. Бураева Е.А., Маломыжева Н.В., Швецова Д.А., Безуглова О.С. Радионуклиды в верхнем слое почвы особо охраняемых природных территорий Ростовской области. // Известия ВУЗов. Северо–Кавказский регион. Естественные науки. – 2022в. – №3. – С.

121. Бураева Е.А., Маломыжева Н.В., Каменев О.В. Особенности распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в крупных промышленных центрах Ростовской области. // Экология промышленного производства. – 2022г. – №4. – С. 54–59.

122. Бураева Е.А., Маломыжева Н.В., Ширяева А.А. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и дозовые нагрузки от природных источников ионизирующего излучения в регионах Северного Кавказа : монография / Е. А. Бураева, Н. В. Маломыжева, А. А. Ширяева ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022д. – 289 с. ISBN 978-5-9275-4255-0 DOI 10.18522/801299992

123. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. – Ростов–на–Дону: «Эверест», 2008. – 276 с.

124. Вальков В.Ф. Почвоведение (почвы Северного Кавказа) : Учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальностям: почвоведение, агрохимия, агрономия, защита растений, землеустройство, вод. хоз-во и мелиорация, биология и экология, плодоводство и виноградарство, физ. география / В. Ф. Вальков, Ю. А. Штомпель, В. И. Тюльпанов. - Краснодар : Совет. Кубань, 2002. - 723 с., [1] л. ил. : ил.; 21 см.; ISBN 5-7221-0504-X

125. Вардуни Т.В., Минкина Т.М., Бураева Е.А., Горбов С.Н., Манджиева С.С., Омельченко Г.В., Шиманская Е.И., Вьюхина А.А., Сушкова С.Н. Особенности аккумуляции радионуклидов наземными мхами в зоне многолетнего техногенного воздействия, на примере Пилезии многоцветковой. // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – №101(07). – IDA [article ID]: 1011407010. – http://ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/10.pdf

126. Вардуни Т.В., Омельченко Г.В., Лысенко В.С., Бураева Е.А., Шиманская Е.И., Дмитриев П.А., Капралова О.А., Чохели В.А., Вьюхина А.А., Вардуни В.М. Удельная активность радионуклидов и их коэффициенты накопления в пробах Пилезии многоцветковой (Pylaisia Polyantha) г. Ростова–на–Дону // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование. – 2015. – №11 (78). – С. 122.

127. Варфоломеева К.В. Содержание Цезия–137 в домашних заготовках грибов в 2014 году у жителей территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению после аварии на ЧАЭС // Радиационная гигиена. – 2015. – №3 – Т. 8. – С. 47–55.

128. Владимирский М.Б. Математика. Общий курс : учебник для бакалавров естественнонаучных направлений (4-е издание, стереотипное) / Владимирский Б.М., Горстко А.Б., Ерусалимский Я.М. М.: Лань, 2008. – 957 с. ISBN: 978-5-8114-0445-2.

129. Волкодав И.Г. Геология Адыгеи: учебник. – Майкоп: АГУ, 2007. – 251 с.

130. Воронов С.И. Вклад сельскохозяйственной продукции и "даров леса" в поступление радионуклидов $^{90}$Sr $^{137}$Cs населению Московской области с рационом питания // Успехи современной науки. – 2017. – №9 – Т. 1. – С. 147–153.

131. Воронов С.И., Санжарова Н.И. Закономерности миграции $^{137}$Cs в луговых экосистемах Московской области и эффективность защитных мероприятий в условиях радиоактивного загрязнения // Агрохимический вестник. – 2017. – №6. – С. 14–18.

132. Вьюхина А.А., Омельченко Г.В., Шиманская Е.И., Чохели В.А., Вардуни Т.В. Применение методов биотестирования для индикации закономерностей варьирования фенотипических и цитогенетических изменений растений–индикаторов в зависимости от степени тектонической нарушенности зоны произрастания. // Известия вузов. Северо–Кавказский регион. Естественные науки. – 2013. – №1. – С. 45–51

133. Вьюхина А.А., Вардуни Т.В., Бураева Е.А. Биотестирование территорий, приуроченных к тектоническим разломам, с использованием анализа морфологических изменений вегетативных органов растений. // Научная дискуссия:

инновации в современном мире. №6(26): сборник статей по материалам XXVI международной заочной научно–практической конференции. –2014. – С. 14–17.

134. Гаргер Е. К. Вторичные загрязнения 30 км зоны Чернобыльской АЭС и прилегающей территории за счет ветрового подъема радионуклидов. /Е. К. Гаргер, В. П. Гаврилов. // Атомная энергия. – 1992. – Т.72. – №6. – С. 588–593.

135. Гиршфельд, В.Я. Тепловые электрические станции. // В.Я. Гиршфельд, Г.Н. Морозов. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 224с.

136. Годзевич Б.Л. Памятники природы Ставропольского края: Научное иллюстрированное справочное издание. Автор–составитель – Б. Л. Годзевич. Фотографии М.И. Вороновой и И.Ю. Каторгина. Редакционная коллегия: А.Д. Батурин (ответственный редактор), Ю.И. Гриднев, Т.В. Амелина. – Ставрополь: министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края, 2009. 64 с.

137. Гончаренко А.А., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Федянина Е.М. О возможности оценки радоноопасности территорий по $^{210}$Pb в почво–грунтах // В сб. тезисов Пятнадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2009. – С. 809–810.

138. Гончаренко А.А., Бураева Е.А., Зорина Л.В., Стасов В.В., Федянина Е.М., Уткин А.С. Вертикальное распределение $^{210}$Pb в почвах и породах Ростовской области // В сб. материалов X Международного семинара по магнитному резонансу (спектроскопия, томография, экология). – 2010. – С. 149.

139. Гончарова Л. Ю., Минкина Т. М., Манджиева С. С., Шерстнев А. К., Бирюкова О. А., Кравцова Н. Е., Замулина И. В. Современное состояние черноземов обыкновенных особо охраняемых территорий нижнего Дона // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – №4(20). – С. 210–227.

140. Горбов С.Н., Безуглова О.С. Тяжелые металлы и радионуклиды в почвах Ростовской агломерации. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. – 134 с. ISBN: 978-5-9275-3529-3

141. Горбов С.Н. Генезис, классификация, экологическая роль городских почв юга Европейской части России (на примере Ростовской агломерации). //

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. Москва, 2018. – 48 с.

142. Горбов С.Н., Бураева Е.А., Безуглова О.С., Козырев Д.А., Дергачева Е.А. Радиологическая характеристика городских почв Юга России // В сб. тезисов XXVII Симпозиума «Современная химическая физика», г. Туапсе. – 2016. – С. 170.

143. Горбунов А.С., Дергачева А.В., Машаров К.С., Бураева Е.А. Эффективная доза облучения, обусловленная радоном в воздухе на территории Северного Кавказа // В сб.: Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития) («LFPM–2019»). Труды Восьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума (Ростов–на–Дону, 25–27 сентября 2019 г.): в 2 т. – 2019. – Т. 1. – С. 342. ISBN 978–5–9275–3234–6.

144. Гордиенко С.Г., Барахов А.В., Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Аветисян С.Р. Распределение радионуклидов в почвах Ботанического сада ЮФУ // В сб. трудов II научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле». – 2016а. – С. 315–318.

145. Гордиенко С.Г., Барахов А.В., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Бураева Е.А., Гончарова Л.Ю. Распределение радионуклидов в почвенных профилях охраняемых территорий Ростовской области // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016б. – С. 50–52.

146. Гордиенко С.Г., Иванов Е.С., Арысланова Ф.Ш., Кубрина В.К., Тройченко Р.В., Шаповалова Е.С., Дергачева Е.В., Бураева Е.А. Радиоактивность особо охраняемых территорий Ростовской области // В сб. Трудов Пятого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2016в. – Т.1. – С. 165–169.

147. Горшков В.В., Арысланова Ф.Ш., Кубрина В.К., Тройченко Р.В., Шаповалова Е.А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Бураева Е.А. Транспорт естественных радионуклидов в пойменных почвах Адыгеи // В сб. Трудов Пятого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». LFPM–2016. –2016. – Т.1. – С. 170–173.

148. ГОСТ 28168–89 Почвы. Отбор проб. // М.: ИПК издательство стандартов. 1989. – 6с.

149. ГОСТ 17.4.3.01–83 Почвы. Общие требования к отбору проб. // М.:ИПК издательство стандартов. 1983. – 8с.

150. Государственный доклад, 2017. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. – 888 с

151. Государственный доклад, 2018. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с.

152. Государственный доклад, 2019. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. — М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2020. — 1000 с.

153. Градостроительный кодекс Российской Федерации" от 29.12.2004 N 190–ФЗ. Принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года. Одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года

154. Граковский В.Г., Фрид А.С. Миграция $^{137}$Cs в почвах Восточно–Уральского радиоактивного следа // Агрохимия. – 2021. – №11. – С. 72–86.

155. Гусаров А.В., Шарифуллин А.Г. Современная эрозия и сток взвешенных наносов на степном юго–востоке русской равнины (бассейн р. Самара) // Известия РАН. Серия географическая. – 2019. – №1. – С. 37–51.

156. Густова М.В., Каплина С.П., Каманина И.З., Густова Н.С., Маслов О.Д. Определение микроэлементов и радионуклидов в грибах из разных регионов России // Проблемы региональной экологии. – 2021. – №4. – С. 5–10.

157. Давыденко А.М., Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Симонович Е.И., Триболина А.Н., Аветисян С.Р., Нефедов В.С., Шерстнев А.К., Прокофьев В.Н., Вардуни Т.В., Шиманская Е.И. Распределение радионуклидов в луговых почвах горных и степных территорий // Успехи современного естествознания. – 2014. – №11 (часть 2). – С. 108–109.

158. Давыденко А.М., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Бураева Е.А., Васильев В.П., Кубрина В.К., Шаповалова Е.С. Особенности распределения мощности эквивалентной дозы гамма–излучения в регионах Северного Кавказа // В сб. трудов научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле». – 2015. – №11 (часть 2). – С. 341–342.

159. Давыдов М.Г., Е.А. Бураева, Л.В. Зорина, В.С. Малышевский, В.В. Стасов Радиоэкология: учебник для вузов. – Ростов–на–Дону: Феникс, 2013. – 635 с.

160. Данилов, Ю.Г. Роль геохимической миграции радионуклидов в реабилитации загрязненных территорий Брянской области / Ю.Г. Данилов. – Текст: электронный // Вестник Самарского Государственного Университета. Серия "География, Геоэкология" –2000. – № 1. – Режим доступа: http://ssu.samara.ru/~vestnik/est/ (дата обращения: 27.03.22)

161. Данилова А.А., Вахромов В.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Минкина Т.М. Радионуклиды в почвах территории Новочеркасской ГРЭС // В сб. трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». Ростов–на–Дону. – 2015. – С. 124–127.

162. Данилова А. А., Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Гончаренко А.А., Нефедов В.С., Федченко Т.М., Мартыненко С.В., Минкина Т.М. Поведение радионуклидов в почвах территорий предприятий топливной энергетики // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс] : тез. докл. X Междунар.

науч.–практ. конф., 28–30 мая 2014 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [ и др.]. – Волгодонск: [Б.н.], 2014. – 1 электрон. Опт. диск [CD]. – ISBN 978–5–9905145–3–9.

163. Дергачева А.В., Горбунов А.С., Бураева Е.А. Годовая эффективная доза от гамма–излучения, полученная жителем г. Новочеркасска Ростовской области // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития). – 2021а. – Т.2. – С. 159–162

164. Дергачева А.В., Горбунов А.С., Бураева Е.А. Радионуклиды и тяжелые металлы в почвах г. Новочеркасска, Ростовская область // Коллективная монография: Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том XI / Под ред. И.А. Керимова, В. А. Широковой, В.Б. Заалишвили, В.И. Черкашина. М.: ИИЕТ РАН, 2021. 578 с. По материалам XI Всероссийской научно–технической конференции с международным участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021)». – 2021б. – С. 365–368. ISBN 978–5–98866–083–5.

165. Дергачева А.В., Горбунов А.С., Михайлова Т.А., Бураева Е.А. Содержание радионуклидов в почвах промышленной зоны города Новочеркасска, Ростовская область. // Сб–к тр. Девятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т.1. – С. 250–253.

166. Дергачева А.В., Горбунов А.С., Машаров К.С., Бураева Е.А. Радионуклиды в почвах природно–техногенной территории Новочеркасской ГРЭС // В сб.: Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития) («LFPM–2019»). Труды Восьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума (Ростов–на–Дону, 25–27 сентября 2019 г.): в 2 т. – 2019. – Т.1. – С. 196–199. ISBN 978–5–9275–3234–6

167. Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Михайлова Т.А., Колесников И.А., Проценко В.В., Кащаева Е.А., Саевский А.И., Пронина Е.В. Оценка дозы облучения

населения от искусственного $^{137}Cs$ // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2018. – №5(11). – С. 222–226

168. Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Проценко В.В. Оценка годовой эффективной дозы от радона на открытой местности. // В сб. Трудов Шестого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». –2017а. – Т.1. – С.282–286.

169. Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Проценко В.В. Вклад космогенного излучения в формирование дозы облучения населения // В сб. Трудов Шестого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». –2017б. –Т.1. – С. 291–294.

170. Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Проценко В.В., Кащаева Е.А. Оценка дозы облучения населения от естественных радионуклидов // В сб. Трудов Шестого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2017в. – Т.1. – С. 308–312.

171. Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Проценко В.В., Кащаева Е.А. Оценка дозы облучения населения от искусственного $^{137}Cs$ // В сб. Трудов Шестого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». –2017г. – Т.1. – С. 299–303.

172. Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Михайлова Т.А., Проценко В.В. Вклад искусственного $^{137}Cs$ в формирование годовой эффективной дозы облучения населения от природных источников // В сб. материалов Международной научной конференции, посвящённой 90–летию Ботанического сада Южного федерального университета «Современные технологии в изучении биоразнообразия и интродукции растений». –2017д. – С. 135–137. ISBN 978–5–9275–2526–3

173. Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Бураева Е.А., Попов Ю.В. Радиоактивность пород месторождений Северного Кавказа // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016а. – С. 55–57.

174. Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Долгополова А.М., Нефедов В.С. Модели миграции радионуклидов по почвенному профилю (обзор). // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». 2016б. – С. 210–212.

175. Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Долгополова А.М., Стасов В.В., Бураева Е.А. Склоновые процессы и плотность радона с поверхности почвы (на примере горной Адыгеи) // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016в. – С. 52–55.

176. Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Аветисян С.Р., Бураева Е.А. Содержание радона в жилых зданиях регионов Юга России // В сб. Трудов Пятого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2016г. – Т.1. – С. 198–201

177. Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Давыденко А.М., Бураева Е.А., Стасов В.В. Радиоактивность природных вод и вмещающих пород Адыгеи // В сб.трудов научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле». – 2015. –С. 342–344.

178. Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Бураева Е.А., Мартыненко С.В., Заруднев А.А., Головков Е.С. Особенности миграции $^{137}Cs$ в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс] : тез. докл. X Междунар. науч.–практ. конф. – 2014. – 1 электрон. Опт. диск [CD]. – ISBN 978–5–9905145–3–9.

179. Деревяга Д.Е., Бураева Е.А., Маломыжева Н.В. Радиационная обстановка населённых пунктов Ростовской области на примере слободы Родионово–Несветайской // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)» (Ростов–на–Дону, 27–28.12.2021). – 2021. – Т.2. – С. 163–165.

180. Дерягин В.В., Левина С.Г., Аклеев А.В., Сутягин А.А. Радионуклиды в основных компонентах и приозерных почвах экосистемы озера Малые кирпичики (ВУРС) // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2021. – № 2. – Т. 61. – С. 197–205.

181. Дерягин В.В., Левина С.Г., Сутягин А.А., Парфилова Н.С. Особенности радиоактивного загрязнения почв водосборной территории озера Шаблиш (дальняя зона Восточно–Уральского радиоактивного следа) // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2015. – № 6. – Т. 55. – С. 655.

182. Джура К.О., Валюхова В.В., Зайвый В.С., Риттер И.В., Бураева Е.А. Содержание трития в природных водах территорий Ростовской области и Краснодарского края // Сб–к тр. Девятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т.1. – С. 254–257.

183. Джура К.О., Дергачёва А.В., Бураева Е.А. Распределение радона в объектах окружающей среды в регионах Северного Кавказа // В сборнике тезисов XVII Ежегодной молодежной научной конференции "Наука и технологии Юга России". – 2021. – С. 93. ISBN 978–5–4358–0209–2.

184. ДКС-96, 2010. ТЕ1.415313.003РЭ Дозиметры-радиометры ДКС-96. Паспорт. Руководство по эксплуатации. – Москва, 2010. –56 с.

185. Долгополов А.В., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Давыденко А.М., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Бураева Е.А. Исследование возможности использования естественных радионуклидов в качестве трассеров атмосферных процессов // В сб. материалов Четвертого международного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). – 2015а. – Т.1. – С. 155–158.

186. Долгополов А.В., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Давыденко А.М., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Бураева Е.А. Исследование возможности использования естественных радионуклидов в качестве трассеров атмосферных процессов // В сб. трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». – 2015б. – С. 150–154.

187. Долгополов А.В., Стасов В.В., Иванов Е.С., Бураева Е.А. Возможность использования естественных радионуклидов в качестве трассеров атмосферных процессов в условиях промышленных территорий // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016. – С. 212–215.

188. Долгополова А.М., Кубрина В.К., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Тройченко Р.В., Бураева Е.А., Новиковский Н.М. Вариации тяжелых металлов в почвах Юга Европейской части России // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016а. – С. 132–133.

189. Долгополова А.М., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Аветисян С.Р., Заруднев А.А., Бураева Е.А. Радионуклиды в аллювиальных почвах горных и степных территорий Юга России // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016б. – С. 57–59.

190. ДРБП-03, 2004. ГКПС 14. 00.00.000 ПС. Дозиметр-радиометр ДРБП-03 с блоками детектирования БДГ-01 и БДБА-02. Паспорт (Техническое описание, инструкция по эксплуатации, формуляр). – Москва, 2004. – 58 с.

191. Дубров Н.И., Бураева Е.А., Маломыжева Н.В. Радиационная обстановка на территории пос. Донской в районе расположения Новочеркасской ГРЭС // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)» – 2021. – Т.2. – С. 170–173.

192. Евтеенко Н.И., Бураева Е.А., Гончаренко А.А., Кобцева М.А., Лосевский М.В., Самойленко О.В. Многолетняя динамика $^{137}$Cs в почвах зоны наблюдения Волгодонской АЭС. В сб. материалов X Международного семинара по магнитному резонансу (спектроскопия, томография, экология). – 2010а. – С. 154.

193. Евтеенко Н.И., Малышевский В.С., Бураева Е.А. Радиоактивность почв Ростовской области // В сб. тезисов лекций и докладов Всероссийской конференции «11–я Баксанская молодежная школа экспериментальной и теоретической физики». – 2010б. – С. 17.

194. Ежегодник 2022. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2021 году. Ежегодник. Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», Росгидромет. 2022. 350 с.

195. Есин Е.С., Бураева Е.А. Радиационная обстановка на территориях городов Кавказских Минеральных Вод. // В сб. тезисов докладов IV Международной (XVII региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск». – 2021а. – С. 144–145. ISBN 978–5–7262–2374–2.

196. Есин Е.С., Бураева Е.А. Радиационная обстановка в районе Кавказских Минеральных Вод // В сборнике тезисов XVII Ежегодной молодежной научной конференции "Наука и технологии Юга России". – 2021б. – С. 95. ISBN 978–5–4358–0209–2.

197. Есин Е.С., Бураева Е.А. Радиациоэкологическая обстановка на территориях курортных городов района Кавказских Минеральных Вод Ставропольского края // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика

бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021в. – Т.2. – С. 174–177.

198. Есин Е.С., Бураева Е.А. Радиационная обстановка на территориях курортных городов района Кавказских минеральных вод. // Сб–к тр. Девятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т.1. – С. 258–261.

199. Ефремов И.В., Рахимова Н.Н., Ефремова Е.Г., Савченкова Е.Э., Гафарова К.Я. Математическое моделирование миграции радионуклидов в почвенно–растительных комплексах Оренбуржья // Вестник ОГУ. – 2005. – №9. – С. 129–133.

200. Жучков Д.В., Гончаренко А.А., Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Мартыненко С.В., Тоцкая В.С., Гончарова Л.Ю. Особенности распределения естественных и искусственных радионуклидов в некоторых горных почвах Майкопского района республики Адыгея. // В сб. материалов Всероссийской молодёжной конференции «Современные проблемы почвоведения и природопользования Сибири». – 2012. – С. 74–83.

201. Заповедник Ростовский. 2022. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. Доступ: http://www.rgpbz.ru/. Доступен 15.05.2022.

202. Заруднев А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Давыденко А.М., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Бураева Е.А. Исследование миграции радионуклидов на территориях со сложным рельефом на примере горной Адыгеи // В сб. материалов Четвертого международного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative mate. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2015а. –Т.1. – С. 179–182.

203. Заруднев А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Давыденко А.М., Неганова К.С., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Куликов С.С., Бураева Е.А. Исследование миграции радионуклидов на территориях со сложным рельефом на

примере горной Адыгеи // В сб. трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». –2015б. – С. 159–162.

204. Заруднев А.А., Аветисян С.Р., Дергачева Е.В., Долгополова А.М., Бураева Е.А. Особенности распределения естественных и искусственных радионуклидов в горных почвах // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016а. – С. 60–62.

205. Заруднев А.А., Бураева Е.А., Саевский А.И., Дергачева Е.В., Моисеев П.В., Конин О.А. Сравнительный анализ радиоактивности поверхностного слоя горных и степных почв Северного Кавказа и Ростовской области // В сб. трудов II научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле». – 2016б. – С. 340–341. ISBN 978–5–9275–2107–4.

206. Заруднев А.А., Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Колесников И.А. Особенности распределения искусственного $^{137}$Cs по элементам рельефа // В сб. материалов Международной научной конференции, посвящённой 90–летию Ботанического сада Южного федерального университета «Современные технологии в изучении биоразнообразия и интродукции растений». – 2017а. – С. 141–143. ISBN 978–5–9275–2526–3

207. Заруднев А.А., Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Колесников И.А. Распределение антропогенного $^{137}$Cs по элементам рельефа // В сб. Трудов Шестого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2017б. – Т.1. – С. 347–350.

208. Зорина Л.В., Бураева Е.А., Стасов В.В., Давыдов М.Г. Зависимость содержания $^{210}$Pb в атмосферных осадках от метеопараметров // В сб. тезисов Тринадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2007а. – С. 659.

209. Зорина Л.В., Стасов В.В., Бураева Е.А. Оценка техногенной составляющей загрязнения приземного слоя атмосферы свинцом–210 (на примере юго–востока г. Ростова–на–Дону) // Инженерный Вестник Дона. – 2007б. – №2. – Режим доступа: http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2007/18/

210. Зорина Л.В., Авдиенко Н.А., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Стасов В.В. Оценка $^{210}$Pb техногенного происхождения в приземном слое атмосферы. В сб. тезисов V Международной научно–практической конференции по высоким технологиям и фундаментальным исследованиям. – 2008а. – Т. 12. – С. 354–355.

211. Зорина Л. В., Бураева Е. А., Авдиенко Н. А. Техногенный $^{210}$Pb в атмосфере промышленного центра в холодный период года. Электронный научно–инновационный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2008б. – №2. http://ivdon.ru/magazine/latest/n2y2008/

212. Зорина Л.В., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Стасов В.В. Сезонная зависимость $^{210}$Pb в приземном слое воздуха г. Ростова–на–Дону // АНРИ. – 2008в. – №3. – С. 43–48.

213. Зорина Л.В., Бураева Е.А., Давыдов М.Г. Вертикальные профили $^{210}$Pb в почвогрунтах // В сб. трудов V Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». – 2008г. – С. 221–225.

214. Зорина Л. В., Бураева Е. А., Давыдов М.Г., Стасов В.В. Радионуклид $^{210}$Pb в атмосферных аэрозолях в приземном слое воздуха и метеопараметры г. Ростова–на–Дону // Известия ВУЗов. Северо–Кавказский регион. Естественные науки. – 2008д. – №5. – С. 108–118.

215. Зорина Л.В., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Стасов В.В., Стародубова О.А. Оценка вклада отдельных зон г. Ростова–на–Дону в содержание $^{210}$Pb в аэрозолях приземного слоя воздуха // В сб. материалов X Международного семинара по магнитному резонансу (спектроскопия, томография, экология). – 2010. – С. 155.

216. Иванков Д.В., Бураева Е.А., Карташев С.С. Закономерности распределения радионуклидов в почвах 30–км зоны наблюдения Ростовской АЭС // В сб. тезисов докладов IV Международной (XVII региональной) научной

конференции «Техногенные системы и экологический риск». – 2021а. – С. 147–149ISBN 978–5–7262–2374–2.

217. Иванков Д.В., Бураева Е.А., Минкина Т.М. Радионуклидный состав 10–см слоя разных типов почв зон наблюдения радиационно–опасных объектов Ростовской области // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021б. – Т.2. – С. 185–188.

218. Иванков Д.В., Бураева Е.А., Минкина Т.М. Состояние почв 30–ти км зоны Ростовской АЭС // В книге: Устойчивое развитие территорий: теория и практика: материалы II Международной научно–практической конференции (18–21 ноября 2021 г. г. Сибай.), в 2–х томах. – 2021в. – Т.2. – С. 90–93. ISBN 978–5–6047479–2–6.

219. Иванков Д.В., Литвинов Ю.А., Дергачева Е.В., Бураева Е.А. Характеристика почв территории, прилегающей к Ростовской АЭС // В сб. Трудов Шестого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). – 2017. – Т.1. – С. 401–404.

220. Иванов Е.С., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Давыденко А.М., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Бураева Е.А. Оценка ветрового подъема радионуклидов на территориях степных регионов в условиях умеренно континентального климата // В сб. материалов Четвертого международного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития).– 2015а. – Т.1. – С. 199–202.

221. Иванов Е.С., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Давыденко А.М., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Сычева Д.Е., Иванов Г.В., Бураева Е.А. Оценка ветрового подъема радионуклидов на территориях степных регионов в условиях умеренно континентального климата // В сб. трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». – 2015б. – С. 177–180.

222. Иванов Е.С., Стасов В.В., Долгополов А.В., Бураева Е.А. Искусственный $^{137}Cs$ для оценки ветрового подъема радионуклидов с подстилающей поверхности. // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016. – С. 215–218.

223. Иванов Г.В., Аветисян С.Р., Сычева Д.В., Давыденко А.М., Стасов В.В., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Заруднев А.А., Бураева Е.А., Попов И.В., Гончарова Л.Ю. Динамика $^{137}Cs$ в горных почвах // В сб. трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». Ростов–на–Дону. – 2015. – С. 172–176.

224. Ивлев Л.С., Довгалюк Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. — СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. — 194с.

225. Ильина Т. М., Сапожников А. П. Лесные подстилки как компонент лесного биогеоценоза // Почвоведение и растениеводство. Вестник КрасГАУ. – 2007. – №5

226. Инструкция, 1998. Изготовление счетных образцов из проб объектов окружающей среды. Нормативно-методическая документация. С.-П. 1998. 65с.

227. Итоги Всероссийской переписи населения 2010 года. Том 1. [Электронный ресурс] Доступ: Численность и размещение населения Ростовской области. Доступен: 15.05.2022

228. Кадука М.В., Шутов В.Н., Брук Г.Я., Балонов М.И. Роль почвенно–климатических условий в формировании радиоактивного загрязнения грибов // Радиационная гигиена. – 2008. – Т. 1. – № 1. – С. 32–35.

229. Казеев К. Ш. и др. Зональная изменчивость почв Северного Кавказа // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2006. – №. 5. – С. 36–45.

230. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Акименко Ю. В., Даденко Е. В. Методы биодиагностики наземных экосистем. – Ростов–на–Дону: Южный федеральный университет, 2016. – 356 с.

231. Каменев О.В., Шадин А.Е., Бураева Е.А. Характеристика мощности дозы гамма–излучения в г. Ростове–на–Дону // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип.

молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021а. –Т.2. – С. 189–192.

232. Каменев О.В., Шадин А.Е., Ерчихин А.Д., Бураева Е.А. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма–излучения в г. Ростове–на–Дону // В сборнике тезисов XVII Ежегодной молодежной научной конференции "Наука и технологии Юга России". – 2021б. – С. 96. ISBN 978–5–4358–0209–2.

233. Карпенко Е.И., Спиридонов С.И., Санжарова Н.И. Оценка доз облучения населения и природных объектов на территории, прилегающей к предприятию по добыче и переработке урановых руд // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно–эпидемиологического регистра). –2012. – Т. 21. – № 2. – С. 46–53.

234. Карпенко Е.И., Санжарова Н.И., Спиридонов С.И., Серебряков И.С. Радиоэкологическая обстановка в районе размещения бывшего уранодобывающего предприятия ЛПО "АЛМАЗ" // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно–эпидемиологического регистра). – 2009. – Т. 18. – № 4. – С. 73–81.

235. Кащаева Е.А., Бураева Е.А., Пронина Е.В. Статистический анализ элементного состава и сезонный ход поллютантов в приземном слое воздуха // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2019а. – №7(25). – С. 194–197.

236. Кащаева Е.А., Пронина Е.В., Бураева Е.А. $^{7}$Be как индикатор процессов атмосферы // В сб.: Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития) («LFPM–2019»). Труды Восьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума (Ростов–на–Дону, 25–27 сентября 2019 г.): в 2 т. – 2019б. – Т. 1. – С. 232–234.

237. Кащаева Е.А., Дергачева Е.В., Проценко В.В., Пронина Е.В., Саевский А.И., Бураева Е.А., Михайлова Т.А.. Радионуклидный состав атмосферных аэрозолей // В сб. Трудов Седьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of

lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2018а. – Т. 1. – С. 379–381.

238. Кащаева Е.А., Дергачева Е.В., Проценко В.В., Пронина Е.В., Саевский А.И., Бураева Е.А., Михайлова Т.А.. Элементный состав приземного слоя воздуха // В сб. Трудов Седьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2018б. – Т. 1. – С. 382–384.

239. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

240. Кобцева М.А., Бураева Е.А., Давыдов М.Г. Профили распределения $^{137}$Cs и физико–химические показатели почв зоны наблюдения Волгодонской АЭС // В сб. материалов Всероссийской дистанционной научно–практической конференции с международным участием. – 2008. – С. 119–122.

241. Кобцева М.А., Бураева Е.А., Давыдов М.Г. Распределение 137Cs в зависимости от физико–химических показателей почв тридцатикилометровой зоны Волгодонской АЭС // Известия ВУЗов. Северо–Кавказский регион. Технические науки. Специальный выпуск. – 2010а. – №2а. – С. 175–179.

242. Кобцева М.А., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Крыщенко В.С., Стасов В.В., Янкова Н.С. Динамика радиоэкологических показателей почвенных профилей тридцатикилометровой зоны // Известия ВУЗов. Северо–Кавказский регион. Технические науки. Специальный выпуск. – 2010б. – №2а. – С. 171–175.

243. Кобышева Н. В. Климат России. – СПб: Гидрометеоиздат, 2001. – 645 с.

244. Козырев Д.А., Горбов С.Н., Безуглова О.С., Бураева Е.А., Тагивердиев С.С., Плахов Г.А., Сальник Н.В. Удельная активность радионуклидов и их взаимосвязь с валовым химическим составом почв // Известия ВУЗов. Северо–Кавказский регион. Естественные науки. – 2021. – №1. – С. 70–80. doi10.18522/1026–2237–2021–1–70–80.

245. Козырев Д.А., Горбов С.С., Безуглова О.С., Бураева Е.А., Тагивердиев С.С. Удельная активность радионуклидов в естественных и антропогенно–преобразованных почвах Ростовской агломерации // Актуальные вопросы экологии и природопользования: сборник материалов. – 2019. – С 85–88. ISBN 978–5–9275–3348–0.

246. Козырев Д.А., Горбов С.Н., Безуглова О.С., Бураева Е.А., Тагивердиев С.С. Удельная активность естественных радионуклидов и валовое содержание тяжелых металлов в городских почвах // Отражение био–, гео–, антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сборник материалов VII Международной научной конференции, посвященной 90–летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. – 2020. – С. 239–242. ISBN 978–5–94621–919–8.

247. Козырев Д.А., Горбов С.Н., Бураева Е.А., Безуглова О.С., Дубинина М.Н., Тагивердиев С.С., Дергачева Е.В., Плахов Г.А. Удельная активность радионуклидов в городских почвах Ростовской агломерации // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016а. – С. 64–66.

248. Козырев Д.А., Дубинина М.Н., Тагивердиев С.С., Дергачева Е.В., Плахов Г.А. Содержание радионуклидов в почвах естественных ландшафтов Ростовской области // В сб. трудов II научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле». – 2016б. – С. 368–371. – ISBN 978–5–9275–2107–4.

249. Колесников В.Ю., Бураева Е.А., Арысланова Ф.Ш., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Иванов Г.В., Сычева Д.Е. Оценка коэффициентов накопления естественных и искусственных радионуклидов растениями // В сб. трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». – 2015а. – С. 187–188.

250. Колесников В.Ю., Сташенко В.В., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Давыденко А.М., Аветисян С.Р., Чаплин В.А., Стасов В.В., Бураева Е.А. Особенности калибровки полупроводниковых гамма–спектрометров в области энергий от 40 до 1500 кэВ // В сб. материалов Четвертого международного

молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative mate. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2015б. –Т.1. – С. 236–239.

251. Колесников И.А., Дергачева Е.В., Бураева Е.А. Распределение $^{137}$Cs в горных и степных почвах северного Кавказа // В сб. Трудов Шестого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2017. – Т.2. – С. 14–18.

252. Коломоец Д.А., Бирюкова О.А., Бураева Е.А., Нефёдов В.С., Мартыненко С.В. Динамика почвенных показателей и искусственного радионуклида $^{137}$Cs в почвах 30–км зоны Ростовской АЭС // В сб. материалов Всероссийской молодёжной конференции «Современные проблемы почвоведения и природопользования Сибири». – 2012. – С. 371–380.

253. Коновалов А.В., Лебедева В.А., Коновалов М.А. Влияние Ростовской атомной станции на безопасность жизнедеятельности населения Ростовской области // Труды РГУПС. – 2018. – №4. – С. 62–65.

254. Коробова Е.М. Генезис и закономерности пространственной организации современных биогеохимических провинций: автореф. дис. д–р геолого–минералогических наук: М., 2016. – 43 с.

255. Коробова Е.М., Чижикова Н.П., Линник В.Г. Распределение $^{137}$Cs по гранулометрическим фракциям в профиле аллювиальных почв поймы р. Ипуть и ее притока р. Булдынка (Брянская область) // Почвоведение. – 2007. – № 4. – С. 404–417.

256. Костырев Б.П., Бураева Е.А., Бобылев В.А., Павленко А.С., Маломыжева Н.В. Радиационная обстановка на территории города Новороссийска // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых

пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021. – Т.2. – С. 193–195.

257. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975, – 648 с.

258. Крыщенко В.С., Давыдов М.Г., Санжарова Н.И., Бирюкова О.А., Абрамова Т.И., Пронин А.Н., Кандашова Е.В Состояние наземных экосистем 30–км зоны Волгодонской АЭС. – Ростов–на–Дону: 2008. – 245 с.

259. Кубрина В.К., Арысланова Ф.Ш., Бураева Е.А., Данилова А.А., Колесников В.Ю., Резван Д.В., Москалев Н.Н., Заруднев А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Денисова Т.В. Микрорельефная дифференциация радионуклидов в степных почвах Ростовской области // Экология и биология почв. Материалы научной конференции. – 2015. – С. 52–54.

260. Кубрина В.К., Арысланова Ф.Ш., Тройченко Р.В., Шаповалова Е.С., Гордиенко С.Г., Дергачева Е.В., Бураева Е.А. Микроландшафтное распределение радионуклидов и тяжелых металлов в почвах Северного Кавказа // В сб. Трудов Пятого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2016а. – Т.1. – С. 262–268.

261. Кубрина В.К., Долгополова А.М., Тройченко Р.В., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Бураева Е.А. Вариации естественных и искусственных радионуклидов в почвах Ростовской области // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016б. – С. 201–203.

262. Кубрина В.К., Сайдулаев Х.Б., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Моисеев П.В., Бураева Е.А., Попов Ю.В. Распределение естественных и искусственных радионуклидов в почвах Ростовской области с учетом микрорельефа местности // В сб. трудов II научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле». – 2016в. – С. 389–391. –ISBN 978–5–9275–2107–4.

263. Кузнецов В.К., Санжарова Н.И., Анисимов В.С., Круглов С.В., Белова Н.В. Радиологическое и агрохимическое обоснование оптимальных параметров содержания подвижных форм калия в минеральных почвах, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Агрохимия.– 2004. – № 6. – С. 74–82.

264. Кузнецов В.К., Санжарова Н.И., Алексахин Р.М., Плесцова Н.В. Факторы, влияющие на накопление $^{137}Cs$ в растениях при внесении фосфорных удобрений // Агрохимия. – 2007. – № 4. – С. 62–67.

265. Кузнецов В.К., Санжарова Н.И., Серегин С.В., Грунская В.П., Бровкин В.И. Оценка влияния длительного применения минеральных удобрений на свойства почв, качество продукции и накопление $^{137}Cs$ урожаем зерновых культур // Агрохимия. – 2017. – № 2. – С. 64–72.

266. Кузнецов В.К., Санжаров А.И. Грунская В.П., Андреева Н.В. Агрохимические мероприятия в адаптивно–ландшафтном земледелии на радиоактивно загрязненных территориях // Агрохимический вестник. – 2018. –№ 1. – С. 34–37.

267. Кузнецов В.К., Цыгвинцев П.Н., Санжарова Н.И., Панов А.В. Анализ результатов радиоэкологического мониторинга в регионе размещения Ленинградской АЭС // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно–эпидемиологического регистра). – 2021.– № 2. – Т. 30. – С. 89–100.

268. Кузьмин С.В., Романов С.В., Власов И.А., Тибилов И.В., Калинин А.А., Малых О.Л., Заболотских В.А., Кочнева Н.И. Восточно–Уральский радиоактивный след: Свердловская область // Радиационная гигиена. – 2012. – № 3. – Т. 5. – С. 48–52.

269. Кузьменкова Н.В., Власова И.Э., Калмыков С.Н. Формы нахождения $^{137}Cs$ в почвах северо–западной части Кольского полуострова // Вопросы радиационной безопасности. – 2011. – № 4 (64). – С. 3–10.

270. Куликов С.С., Фарзали Т.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Бураева Е.А. Плотность потока радона с поверхности почвы на территориях горной Адыгеи // В сб. трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». – 2015. – С. 198–200.

271. Кутровский М.А., Вальков В.Ф. Гумусовое состояние pH района Новороссийск – Геленджик // Сб. трудов биол.-почв. Ф-та РГУ. Ростов-на-Дону: Изд-во «Росиздат», 2005. – 155—219.

272. Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Санжарова Н.И. Параметры накопления радионуклидов растениями в местах испытания боевых радиоактивных веществ на территории бывшего семипалатинского испытательного полигона // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно–эпидемиологического регистра). – 2013. – № 4. – Т. 22. – С. 60–65.

273. Лесная энциклопедия: В 2-х т., т.2 / Гл.ред. Воробьев Г.И.; Ред.кол.: Анучин Н.А., Атрохин В.Г., Виноградов В.Н. и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1986. – 631 с.

274. Линник В.Г. Ландшафтная дифференциация техногенных радионуклидов: геоинформационные системы и модели : дис. д–р географических наук: М., 2008

275. Линник В.Г., Мироненко И.В., Волкова Н.И., Соколов А.В. Ландшафтно–биогеохимические факторы трансформации поля загрязнения Cs–137 в Брянской области // Геохимия. – 2017.– № 10. – С. 891–906.

276. Лущик А.И., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В. Исследование динамики содержания естественных и искусственных радионуклидов в почвенных профилях района расположения Волгодонской АЭС // В сб. тезисов Тринадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2007. – С. 664–665.

277. Ляхова Н.В., Ревнивцев И.С., Горбунов А.С., Шадин А.Е., Бураева Е.А. Радиационная обстановка на природных и урбанизированных территория Ростовской области // В сборнике тезисов XVII Ежегодной молодежной научной конференции "Наука и технологии Юга России". – 2021а. – С. 101. ISBN 978–5–4358–0209–2.

278. Ляхова Н.В., Шадин А.Е., Бураева Е.А., Михайлова Т.А. Радиационная обстановка на рекреационных территориях Ростовской области. // Труды

Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021б. – №2(55). – С. 80–83.

279. Ляхова Н.В., Швецова Д.А., Шадин А.Е., Бураева Е.А., Михайлова Т.А. Радиационная обстановка на рекреационных, урбанизированных и природно–техногенных территориях Ростовской области // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2021в. – №5(47). – С. 198–201.

280. Ляхова Н.В., Шадин А.Е., Ревнивцев И.С., Бураева Е.А., Михайлова Т.А. Радиационная обстановка на урбанизированных и природных территориях Ростовской области // В книге: Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов XXII Международной научно–практической конференции: в 3 т. – 2021г. – Т. 1. – С. 327–332 ISBN 978–5–209–10740–8.

281. Ляхова Н.В., Швецова Д.А., Бураева Е.А. Радиоактивность особо охраняемых природных территорий Ростовской области // Сб–к тр. Девятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)» (Ростов–на–Дону, 28–30.12.2020). – 2020. – Т.1.– С. 262–266.

282. Ляхова Н.В., Риттер И.В., Швецова Д.А., Ерчихин А.Д., Бураева Е.А. Радионуклиды в атмосферных аэрозолях в г. Ростов–на–Дону // В сб.: Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития) («LFPM–2019»). Труды Восьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума (Ростов–на–Дону, 25–27 сентября 2019 г.): в 2 т. – 2019а. – С. 316–318. ISBN 978–5–9275–3234–6 (Т. 1).

283. Ляхова Н.В., Риттер И.В., Швецова Д.А., Ерчихин А.Д., Бураева Е.А. Сезонное поведение радионуклидов в атмосферных аэрозолях в городе Ростов–на–Дону // В сб.: Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития) («LFPM–2019»). Труды

Восьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума (Ростов–на–Дону, 25–27 сентября 2019 г.): в 2 т. – 2019б. – Т. 2. – С. 1–4.

284. Маликов В.Г., Жуков Б.И., Перепелятникова Л.В. Поведение радионуклидов в почвах Северного Кавказа. // Агрохимия. – 1988а. – №3. – С. 84-89

285. Маликов В.Г., Жуков Б.И., Перепелятникова Л.В. Миграция радионуклидов из почвы в сельскохозяйственные культуры в условиях Северного Кавказа. // Агрохимия. – 1988б. – №5. – С. 92-96

286. Маломыжева Н.В., Швецова Д.А., Джура К.О., Бураева Е.А. Радиационная обстановка на рекреационных территориях Ростовской области. // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития. – 2021. – Т.2. – С. 196–199.

287. Мамихин С.В. Роль макромицетов как накопителей $^{137}Cs$ в лесных экосистемах // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2012. – Т. 52. – № 5. – С. 546.

288. Мамихин С.В., Голосов В.Н., Парамонова Т.А., Шамшурина Е.Н., Иванов М.М. Вертикальное распределение $^{137}Cs$ в аллювиальных почвах поймы р. Локна (Тульская область) в отдаленный период после аварии на ЧАЭС и его моделирование // Почвоведение. – 2016. – № 12. – С. 1521–1533.

289. Маммаев О.А., Абдулаева А.С., Асварова Т.А. Естественные радионуклиды в горных породах и почвах Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2015. – № 65. – С. 186–189.

290. Манахов Д.В., Емельянов А.М., Карпухин М.М., Липатов Д.Н., Агапкина Г.И., Мамихин С.В. Методы изучения форм нахождения радионуклидов в почвах. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2019. – № 4. – Т. 59. – С. 410–418.

291. Маркелов М.В., Голосов В.Н., Беляев В.Р. Изменение скорости аккумуляции наносов на поймах малых рек в центре Русской равнины // Вестник Московского университета серия 5 география – 2012. – № 5 – С. 70–76

292. Масуренков Ю.П., Собисевич А.Л. Кавказские Минеральные Воды современная гидротермальная система коромантийного генезиса. // Доклады Академии наук. 2011. – Т. 436. – № 2. – С. 233-238.

293. Матишов Г.Г., Касаткина Н.Е., Усягина И.С., Фарион Д.А. Искусственные радионуклиды в съедобных дикорастущих грибах и ягодах Мурманской области // Доклады Академии наук. – 2014. – № 5. – Т. 455. – С. 589.

294. Машаров К.С., Михайлова Т.А., Бураева Е.А. Состав атмосферной пыли в городе Ростов–на–Дону // В сборнике тезисов XVII Ежегодной молодежной научной конференции "Наука и технологии Юга России". – 2021. – С. 102.

295. Машаров К.С., Михайлова Т.А., Бураева Е.А., Кащаева Е.А. Особенности поведения $^{7}$Be и $^{210}$Pb в приземном слое воздуха г. Ростова–на–Дону // Сб–к тр. Девятого Межд. Междисцип. Молод. Симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т.1. – С.301–304.

296. Махонько, К. П. Ветровой подъем радиоактивной пыли с подстилающей поверхности // Атомная энергия. – 1992. – №5.– Т.72. – С. 523–530.

297. Махонько, К. П. Влияние ветрового подъема радиоактивности с поверхности почвы на загрязнение атмосферы над территорией России // Атомная энергия. – 2000. – Т.88. – С. 458.

298. Махонько К. П., Ким В. М. Динамика загрязнения воздуха, почвы и воды техногенными радионуклидами на территории СССР и России в 1954–2000г // Атомная энергия. – 2002. – №5. –Т.92. – С. 387.

299. МВИ 1.2.3(76)-11. Методика измерений мощности амбиентного эквивалента дозы (МЭД) в контрольных точках объектов. – М.: ВНИИ ФТРИ, 2011. – 10 с.

300. МВК 2.2.3(50)-11 Методика дозиметрического контроля территории на участках застройки – М.: ВНИИ ФТРИ, – 2011. – 15 с.

301. МВК 5.6(38)-11 Методика дозиметрического контроля объектов, содержащих ЕРН. – М.: ВНИИ ФТРИ, – 2011. – 13 с.

302. МВК №1.5.2(45)-11. Методика контроля удельной активности грунта (почвы) с применением пробоотбора. – М.: ВНИИ ФТРИ, – 2011. – 13с.

303. Мелехова О.П., Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учебное пособие для вузов / под ред. О.П.Мелеховой и Е.И.Егоровой. – М.: Академия, 2007. – 288 с.

304. Микляев П.С., Петрова Т.Б., Маренный А.М., Щитов Д.В., Сидякин П.А., Мурзабеков М.А. О генезисе радоновых аномалий в зонах тектонических разломов // АНРИ. – 2020. – № 1 (100). – С. 3–15.

305. Милешко Л.П., Милашич В.А. Экологическая оценка состояния атмосферного воздуха городов Ростовской области // Экология урбанизированных территорий. – 2018. – № 4. – С. 43–45.

306. Минеева В.И. Экологическая ситуация на Кавказских Минеральных Водах // Труды всероссийской научно–практической конференции. Актуальные проблемы современной науки. – 2012. – С.110–113.

307. Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А., Назаренко О.Г., Максимов А.Ю., Замулина И.В., Бурачевская М.В., Сушкова С.Н. Аккумуляция тяжелых металлов разнотравной степной растительностью по данным многолетнего мониторинга. // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 3 (76). С. 43-55

308. Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А., Мотузова Г.В., Бурачевская М.В., Бауэр Т.В., Сушкова С.Н., Невидомская Д.Г. Влияние аэротехногенных выбросов на содержание тяжелых металлов в травянистых растениях Нижнего Дона. // Почвоведение. 2017. № 6. С. 759-768.

309. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Манджиева С.С., Назаренко О.Г., Бурачевская М.В., Антоненко Е.М. Фракционно-групповой состав соединений Mn, Cr, Ni и Cd в почвах техногенных ландшафтов (район Новочеркасской ГРЭС). // Почвоведение. 2013. № 4. С. 414.

310. Минкина Т.М., Назаренко О.Г., Мотузова Г.В., Манджиева С.С., Бурачевская М.В. Групповой состав соединений тяжелых металлов в почвах агроценозов, загрязненных аэрозольными выбросами Новочеркасской ГРЭС // Агрохимия. – 2011. – № 6. – С. 68–77.

311. Михайлова Т.А., Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Колесников И.А., Проценко В.В., Кащаева Е.А. Оценка годовой эффективной дозы облучения населения от естественных радионуклидов // В сб. материалов Международной научной конференции, посвящённой 90–летию Ботанического сада Южного федерального университета «Современные технологии в изучении биоразнообразия и интродукции растений». – 2017. – С. 161–163.

312. Михайлова Т.А., Дергачева Е.В., Проценко В.В., Кащаева Е.А., Пронина Е.В., Бураева Е.А. Тяжелые металлы в почвах Европейской части Юга России // В сб. Трудов Седьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2018. – Т. 2. – С. 152–155.

313. Михайлова Т.А., Машаров К.С., Бураева Е.А., Кащаева Е.А., Ширяева А.А. Радионуклидный и элементный составы аэрозольной пыли на территории Ростовской агломерации // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – 2021. – №5(47). – С. 202–205.

314. Михайловская, Л.Н. Техногенные радионуклиды в почвах и растениях наземных экосистем в зоне воздействия атомных предприятий / Л. Н. Михайловская [и др.] // Экология – 2020. – № 2. – С. 110–118

315. Михеев В. А. Классификация климатов. – Климатология и метеорология. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2009. – 114 с.

316. Моисеев И.Т., Тихомирова Ф.А, Алексахин Р.М. Влияние свойств почвы и времени инкубации $^{137}Cs$ на динамику его форм и биологическую доступность растениям // Агрохимия. – 1982. – №8. – С. 108–113.

317. Молчанова И.В., Михайловская Л.Н., Позолотина В.Н., Антонова Е.В. Техногенные радионуклиды в почвах Восточно–Уральского радиоактивного следа и их накопление растениями различных таксономических групп // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2014. –№ 1. – Т. 54. – С. 77–84.

318. Морозов А.Н., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Стасов В.В. Исследование связи радионуклидного состава почвенных фракций и атмосферных аэрозолей // В сб. тезисов Тринадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2007. – С. 666.

319. Мосинец В.Н., Грязнов М.В. Уранодобывающая промышленность и окружающая среда // М.: Энергоатомиздат, 1983. — 120с.

320. Москалев Н.Н., Дергачева Е.В., Бураева Е.А. Высотное распределение радионуклидов во мхах и почвах // В сб. Трудов Шестого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2017. – Т.2. – С. 168–172.

321. Москалев Н.Н., Арысланова Ф.Ш., Дергачева Е.В., Бураева Е.А. Перенос радионуклидов в системе почва – объекты бриофлоры // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016а. – С. 67–69.

322. Москалев Н.Н., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Арысланова Ф.Ш., Стасов В.В., Бураева Е.А.Особенности высотного распределения радионуклидов в объектах бриофлоры Северного Кавказа // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016б. – С. 70–71.

323. Москалев Н.Н., Нефедов В.С., Бураева Е.А., Триболина А.Н., Конин О.А. Исследование особенностей распределения радионуклидов в системе почва–растительность на примере территории Новочеркасской ГРЭС // В сб. трудов II научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле». – 2016в. – С. 407–408.

324. Москалев Н.Н., Арысланова Ф.Ш., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Давыденко А.М., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Бураева Е.А. Особенности процессов переноса радионуклидов в системе почва – объекты бриофлоры // В сб. материалов Четвертого международного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых

пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative mate. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2015а. – Т.2. – С. 91–94.

325. Москалев Н.Н., Арысланова Ф.Ш., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Давыденко А.М., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Колесников В.Ю., Бураева Е.А. Особенности процессов переноса радионуклидов в системе почва – объекты бриофлоры // В сб. трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». – 2015б. – С. 228–232.

326. Москалев Н.Н., Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Вьюхина А.А., Нефедов В.С., Вардуни Т.В. Высотное распределение радионуклидов в объектах брио– и микофлоры // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс] : тез. докл. X Междунар. науч.–практ. конф., 28–30 мая 2014 г. – 2014. – 1 электрон. Опт. диск [CD]. – ISBN 978–5–9905145–3–9.

327. МУ 2.6.2398-08 Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности // М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 27с.

328. Мысак С.Е., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Стасов В.В. Корреляционный анализ данных по содержанию радионуклидов в приземном слое воздуха. В сб. тезисов Двенадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2006. – С.761–762.

329. Неганова К.С., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Стасов В.В., Аветисян С.Р., Гончарова Л.Ю., Вардуни Т.В., Данилова А.А. Особенности распределения радионуклидов в аллювиальных почвах Северного Кавказа // Фундаментальные исследования. – 2014а. – №12. – Часть 1. – С. 131–135.

330. Неганова К.С., Бураева Е.А., Шиманская Е.И., Шерстнев А.К., Дергачева Е.В., Триболина А.Н., Нефедов В.С. Распределение естественных радионуклидов в различных типах почвы Северного Кавказа // Успехи современного естествознания. – 2014б. – №11. – Часть 2. – С. 100–102.

331. Неганова К.С., Дергачева Е.В., Давыденко А.М., Бураева Е.А., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н. Распределение естественных радионуклидов в различных типах почвы Северного Кавказа // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс] : тез. докл. X Междунар. науч.–практ. конф., 28–30 мая 2014 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [ и др.]. – Волгодонск: [Б.н.], 2014в. – 1 электрон. Опт. диск [CD]. – ISBN 978–5–9905145–3–9.

332. Неганова К.С., Заруднев А.А., Давыденко А.М., Дергачева Е.В., Нефёдов В.С., Бураева Е.А., Аветисян С.Р., Триболина А.Н. Особенности распределения естественных радионуклидов в почвах горных и степных территорий Северного Кавказа // В сб. трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». – 2015. – С. 236–239.

333. Нестерук Г.В., Минкина Т.М., Федоров Ю.А., Безуглова О.С., Гончарова Л.Ю., Невидомская Д.Г., Литвинов Ю.А. Особенности макро-, микроэлементного состава и свойств бурых лесных почв равнинных и горных ландшафтов РОССИИ. // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 1. – С. 70-77.

334. Нефедов В.С., Бураева Е.А., Стасов В.В., Зорина Л.В. $^{137}$Cs в объектах окружающей среды // В сб. материалов II Ростовского молодежного научно–практического форума «Молодежная инициатива – 2011». – 2011. – С. 112–115.

335. Нефедов В.С., Гончаренко А.А., Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Стасов В.В. Фоновые характеристики низкофоновой камеры для гамма–спектрометрии объектов окружающей среды // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс] : тез. докл. X Междунар. науч.–практ. конф., 28–30 мая 2014 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [ и др.]. – Волгодонск: [Б.н.], 2014а. – 1 электрон. Опт. диск [CD]. – ISBN 978–5–9905145–3–9.

336. Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Стасов В.В., Бураева Е.А., Малышевский В.С. Методики оценки ветрового подъема радионуклидов с земной поверхности крупного промышленного центра (на примере г. Ростов–на–Дону) // В трудах третьего международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пъезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития)». «Physics of Lead–Free Piezoactive and Relative

Materials (Analysis of Current State and Prospects of Development) (LFPM–2014)». – 2014б. – В. 3. – Т.2. – С. 188–190.

337. Нефедов В.С., Долгополов А. В., Дергачева Е.В., Федченко Т.М., Стасов В.В., Бураева Е.А. Содержание и распределение $^{210}$Pb в атмосферных аэрозолях приземного слоя воздуха г. Ростова–на–Дону // Теоретические и прикладные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно–практической конференции 31 марта 2014 г.: в 13 частях. – 2014в. – Часть 8. – С. 110–111.

338. Нефёдов В.С., Снеговская Е.С., Бураева Е.А., Коломоец Д.А., Холошина Д.В., Мартыненко С.В. Распределение $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в каштановых почвах Ростовской области // В сб. материалов Всероссийской молодёжной конференции «Современные проблемы почвоведения и природопользования Сибири». – 2012. – С. 214–220.

339. Нефедов В.С., Чаплин В.А., Бураева Е.А., Дергачева Е.В. Основные характеристики низкофоновой камеры для гамма–спектрометрии объектов экосферы // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016а. – С. 181–183.

340. Нефедов В.С., Чаплин В.А., Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Долгополова А.М. Особенности калибровки гамма–спектрометра по эффективности регистрации для различных геометрий счётного образца // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016б. – С. 183–185.

341. Носкова Л.М., Шуктомова И.И. Особенности распределения радия в техногенных почвах в зависимости от их физико-химических и минералогических характеристик. // Геохимия. – 2015. – № 11. – С. 1043-1050.

342. НПО Тайфун 2022. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Научно–производственное объединение «Тайфун». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. Доступ: https://rpatyphoon.ru Доступен: 14.06.2022

343. НРБ-99/2009. СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)". Введены в действие с 1 сентября 2009 года. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 года N 47. – 222 с.

344. Огиенко А.В., Антонова Е.Ю., Горбунов А.С., Бураева Е.А. Мощность эквивалентной дозы гамма–излучения на территориях сельских поселений Ростовской области // В сборнике тезисов XVII Ежегодной молодежной научной конференции «Наука и технологии Юга России». – 2021. – С. 106.

345. Омельченко Г.В., Вардуни Т.В., Шиманская Е.И., Бураева Е.А., Прокофьев В.Н., Чохели В.А., Азарин К.В., Вардуни М.М., Вьюхина А.А., Шерстнева И.Я. Оценка мутагенной активности приземного слоя воздуха промышленных регионов методом индуцированной хемилюминесценции // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – Режим доступа: http://www.science–education.ru/111–10199

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

347. Омельченко Г.В., Вардуни Т.В., Шиманская Е.И., Бураева Е.А. Оценка генотоксичности окружающей среды г. Ростова–на–Дону с использованием растительных тест–систем // В сб. материалов IV Международной научно–практической конференции «Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины». – 2011а. – С. 218.

348. Омельченко Г.В., Дрыгов Д.С., Бураева Е.А., Вардуни Т.В., Шиманская Е.И. Многолетний биомониторинг урбанизированных территорий с использованием древесных растений // В сб. статей I международной научно–практической конференции «Экологические проблемы природных и антропогенных территорий». – 2011б. – С. 144.

349. Орлов, П. М. Радиологический мониторинг почв земель сельскохозяйственного назначения Краснодарского края / П.М. Орлов, В. Г. Сычев, С. В. Жиленко // XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – №5. – С.45-50.

350. Орлов, П. М. Радиологический мониторинг почв земель сельскохозяйственного назначения Краснодарского края / П. М. Орлов, И.Л. Лунев, В. Г.Сычев ; под ред. В. Г. Сычева, Л. Мюллера. – М. :Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 2018. – 190 с.

351. Орлова Е.А., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В. Радоновая съемка на объектах строительства. Анализ данных по содержанию радионуклидов в приземном слое воздуха // В сб. тезисов Двенадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2006. – С. 763–764.

352. Орлова Е.А., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В. Распределение естественных радионуклидов в отложениях береговой зоны Цимлянского водохранилища // В сб. тезисов Тринадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2007. – С. 668.

353. Орлова М.А., Лукина Н.В., Смирнов В.Э. Методические подходы к отбору образцов лесной подстилки с учетом мозаичности лесных биогеоценозов // Лесоведение. – 2015. – № 3. – С. 214–221.

354. ОСПОРБ-99/2009. СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)". Зарегистрировано в Минюсте России 11 августа 2010 г. N 18115. в ред. Изменений N 1, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 16.09.2013 N 43. – 77с.

355. Отчет 2000. Определение нулевого фона радиоактивного загрязнения земной поверхности района размещения Ростовской АЭС по программе экологического мониторинга: Отчет / Центр радиационной экологии и технологии; отв. исп. Давыдов М. Г. Ростов–на–Дону. 2000. 96 с.

356. Отчет РоАЭС, 2022. Отчет по экологической безопасности за 2021 год. Волгодонск: Росэнергоатом. Ростовская АЭС. 2022. 37 с.

357. Официальный портал правительства Ростовской области [Электронный ресурс]. Доступ: https://donland.ru/activity/146/ Доступен: 15.05.2022

358. Отчет. 2000. Определение нулевого фона радиоактивного загрязнения земной поверхности района размещения Ростовской АЭС по программе экологического мониторинга. Ростов–на–Дону. 96 с.

359. Павленко А.С., Бураева Е.А., Маломыжева Н.В. Распределение радионуклидов в различных горных породах в районе Даховского кристаллического массива // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021. – Т.2. – С. 200–203.

360. Памятники природы Ставропольского края, 2022. [Электронный ресурс].Официальный сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края. Доступ https://mpr26.ru/oopt/pamyatniki-prirody/. Доступен 07.08.2022

361. Панчишкина И.Н., Петрова Г.Г., Бураева Е.А., Петров А.И., Егоров Е.В., Петров Н.А., Маслов С.А. Результаты измерений характеристик ионизации приземного слоя и содержания радона–222 в почве и атмосфере на берегу озера Байкал // В сб. тезисов докладов VII международной конференции «Солнечно–земные связи и физика предвестников землетрясений». Петропавловск–Камчатский. – 2016. – С. 39–40.

362. Парамонова Т.А., Мамихин С.В. Корневое поглощение $^{137}$Cs и его распределение между надземными и подземными органами растений: Анализ литературы // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2017. – №6. – Т.57. – С. 646–662.

363. Парамонова Т.А. Шамшурина Е.Н., Беляев В.Р., Комиссарова О.Л. Сравнительный анализ поступления 137Cs в луговую растительность районов черноземной зоны, в различной степени загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2017. – № 4. – Т.57. – С. 429–439.

364. Переволоцкий А.Н. К вопросу о многолетней динамике мощности дозы внешнего g–излучения в лесных биогеоценозах // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно–эпидемиологического регистра). – 2012. – № 4. – Т. 21. – С. 61–65.

365. Переволоцкий А.Н., Переволоцкая Т.В. Прогнозная оценка содержания $^{137}Cs$ в лесных грибах и ягодах в зоне штатных выбросов Белорусской АЭС // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно–эпидемиологического регистра). – 2013. – № 2. – Т. 22. – С. 61–66.

366. Петрова Г.Г., Панчишкина И.Н., Петров А.И., Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Кубрина В.К., Колесников И.А., Егоров Е.В. Исследование процессов ионизации приземного слоя воздуха с учетом вклада природных радионуклидов // Успехи современного естествознания. – 2016. – №12. – Часть 2. – С. 280–285.

367. Петрова Г.Г., Петров А.И., Панчишкина И.Н., Аджиев А.Х., Егоров Е.В., Бураева Е.А. Исследования ионизации приземной атмосферы и природных радионуклидов в различных физико–географических условиях // VIII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству (с международным участием): сборник трудов. – 2019. – С. 26–28.

368. Плахотняя Д.П., Бураева Е.А. Распределение гамма–фона на территориях сельских поселений Краснодарского края // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021. – Т.2. – С. 204–206.

369. Плахотнняя Д.П., Костырев Б.П., Бобылев В.А., Бураева Е.А. Радиоактивность урбанизированных территорий Краснодарского края // Сб–к тр. Девятого Межд. Междисцип. Молод. Симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т.1. – С. 267–269.

370. Плахотняя Д.П., Костырев Б.П., Бураева Е.А. Радиоэкологическая обстановка на территории городов Краснодарского края // В сборнике тезисов XVII

Ежегодной молодежной научной конференции "Наука и технологии Юга России". – 2021а. – С. 109.

371. Плахотняя Д.П., Костырев Б.П., Бураева Е.А. Распределение гамма–фона на территориях городов и поселений Краснодарского края // В сб. тезисов докладов IV Международной (XVII региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск». – 2021б. – С. 208–209.

372. Помеляйло И.С. Оценка радиационного гамма–фона и величины концентрации долгоживущих техногенных радионуклидов $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$ в почвах городов–курортов Кавказских Минеральных Вод // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2017. – В. 5. – С. 64–72.

373. Пономаренко В.В., Панов А.В., Гордиенко Е.В. Вклад продукции леса в формирование доз внутреннего облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2015. – № 41. – С. 141–144.

374. Попов Ю.В., Бураева Е.А., Попова Н.М., Дергачева Е.В. Оценка радиоактивности горных пород некоторых месторождений и рудопроявлений горной части Адыгеи. В сб. материалов Всероссийской научно–практической конференции «Современные проблемы геологии, географии и геоэкологии». – 2013. – С.87–90.

375. Попов Ю.В., Бураева Е.А., Цицуашвили Р.А. Закономерности распределения валовых содержаний металлов в донных отложениях территории Белореченского месторождения (Большой Кавказ, Адыгея) // Успехи современного естествознания. – 2014а. – №12. – Часть 5. – С. 577–582.

376. Попов Ю.В., Бураева Е.А., Цицуашвили Р.А. Удельная активность $^{40}K$, $^{226}Ra$, $^{232}Th$ В кристаллических породах Даховского поднятия (Большой Кавказ) // Успехи современного естествознания. – 2014б. – №9. – Часть 2. – С. 115–119.

377. Попов Ю.В., Бураева Е.А., Ермолаева О.Ю., Гончарова Л.Ю., Цицуашвили Р.А. Закономерности распределения естественных радионуклидов и тяжелых металлов в природно–техногенной системе Белореченского месторождения

(Большой Кавказ) // Современные проблемы науки и образования. – 2014в. – № 2; URL: www.science–education.ru/116–12292 (дата обращения: 10.03.2014).

378. Попов И.В., Шаповалова Е.С., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Аветисян С.Р., Стасов В.В. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма–излучения на территории Северного Кавказа // В сб. трудов VII Международной научно–практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». Ростов–на–Дону. –2015а. – С. 265–268.

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

380. Попова М.Б., Горяченкова Т.А., Борисов А.П., Казинская Е.И., Лавринович Е.А., Манахов Д.В. Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах района расположения Кольской АЭС // Геохимия. 2021. – Т. 66. – № 10. – С. 952–960.

381. Попова М.Б., Манахов Д.В., Кизеев А.Н., Ушамова С.Ф., Липатов Д.Н., Чирков А.Ю., Орлов П.С., Мамихин С.В. Содержание и распределение $^{137}$Cs в подзолах в районе расположения Кольской атомной электростанции // Почвоведение. – 2020. – № 7. – С. 891–900.

382. Почвоведение. Почва и почвообразование. // Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. М.: Высшая школа. 1988. – 400 с.

383. Прогресс, 2003. Методика измерения радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением “Прогресс”, Менделеево 2003. – 54 с.

384. Прогресс, 2010. ФВКМ.412131.002-03РЭ Комплекс спектрометрический для измерений активности альфа-, бета- и гамма- излучающих нуклидов “Прогресс”. Гамма-спектрометр сцинтилляционный «Прогресс-гамма». М.: ЗАО НПП «Доза», 2010. – 54 с.

385. Пронина Е.В., Бураева Е.А., Кащаева Е.А. Распределение естестенных и искуственных радиоуклидов в почвах и растительности по элементам рельефа в зоне

наблюдения Ростовской АЭС в условиях сухих степей // В сб.: Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития) («LFPM–2019»). Труды Восьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума. – 2019. – Т. 2. – С. 110–114.

386. Прохоров В. М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико–химические механизмы и моделирование. / Под ред. Р. М. Алексахина. – М.: Энергоиздат, 1981, – 98 с.

387. Проценко В.В., Дергачева Е.В., Кащаева Е.А., Пронина Е.В., Саевский А.И., Михайлова Т.А., Бураева Е.А.. Оценка вклада различных составляющих космогенного излучения в формирование дозы облучения населения // В сб. Трудов Седьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. – 2018. – Т. 2. – С. 271–273.

388. Пьянов А.С. Особенности организации и управления экономическими структурами по производству минеральной воды в регионе Кавказских Минеральных Вод // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2014. – В. 5. – С. 31.

389. Раген Э. Плутонические породы: Петрография и геологическое положение / Перевод с фр.. – М.: Мир, 1972. – 255 с.

390. Радиационная обстановка на предприятиях Росатома. [Электронный ресурс]. Режим доступа: russianatom.ru. Доступен: 21.07.2022 г.

391. Разуваев В.Н. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Клещенко Л.К., Кузнецова В.Н., Трофименко Л.Т., Шерстюков А.Б., Швець Н.В., Давлетшин С.Г., Зверева Г.Н. Научно–прикладной справочник «Климат России». – 2018. Режим доступа: http://aisori–m.meteo.ru/climsprn/ Доступен 15.03.2021

392. Рахимова Н.Н. Геоэкологические особенности миграции радионуклидов Cs–137 и Sr–90 в почвенно–растительных комплексах степной зоны Оренбургской области // Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. тех. наук. – 2006.– С. 22.

393. Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М., Шуктомова И.И. Формы нахождения изотопов тория в воде, донных отложениях и почвах района расположения бывшего радиевого промысла // Радиохимия. – 2018. –№ 6. – Т. 60. – С. 571–575.

394. Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М. Формы нахождения урана в почве, поверхностных водах и донных отложениях района бывшего радиевого промысла // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 10. – С. 107–112.

395. Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М. Формы нахождения Радия–226 в компонентах наземных и водных северотаежных экосистем в районе расположения бывшего радиевого промысла // Геохимия. – 2020. – № 6. – Т. 65. – С. 599–608.

396. Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М. Моделирование подвижности Радия–226 по данным его профильного распределения в загрязненной подзолистой почве // Успехи современного естествознания. – 2021. – № 10. – С. 69–74.

397. Рачкова Н. Г., Шуктомова И. И., Таскаев А. И. Состояние в почвах естественных радионуклидов урана, радия и тория (обзор) // Почвоведение. 2010. – № 6. – С. 698–705.

398. Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И. Распределение урана и тория в подзолистой почве, загрязненной их растворимыми соединениями. // Геохимия. – 2015. – № 2. – С. 187-195.

399. РД 03-26-2007 Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ // М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2008. – 64 с.

400. Ревнивцев И.С., Бураева Е.А. Радионуклиды в почвах промышленных предприятий г. Волгодонска // Сб–к тр. Девятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т.1. – С.270–273.

401. Ревнивцев И.С., Бураева Е.А. Радиоэкологическая обстановка на территории г. Волгодонска Ростовской области // В сборнике тезисов XVII Ежегодной молодежной научной конференции "Наука и технологии Юга России". – 2021а. – С. 110.

402. Ревнивцев И.С., Бураева Е.А. Радиоэкологическая обстановка на территории г. Волгодонска // В сб. тезисов докладов IV Международной (XVII региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск». – 2021б года. – С. 212–213.

403. Ревнивцев И.С., Бураева Е.А. Радиоэкологическая обстановка на территории г. Волгодонска Ростовской области // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021в. – Т.2. – С. 207–209.

404. Репс В.Ф., Котова М.Е., Беловодова С.Е. Биологические эффекты и основные направления модификации минеральных вод региона Кавказские Минеральные Воды // Современная наука и инновации. – 2017. – В. 4. – С. 205–209.

405. Республика Адыгея. Официальный сайт исполнительных органов государственной власти. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.adygheya.ru/? Доступен 15.01.2022

406. Рогов В.П., Бураева Е.А., Стасов В.В., Безуглов М.В., Малышевский В.С. Поведение $^{7}$Be в приземном слое воздуха Земли // В сб. материалов II Ростовского молодежного научно–практического форума «Молодежная инициатива – 2011». – 2011. – С. 121–123.

407. Российский национальный доклад: 35 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в россии. 1986–2021. / Финогенов А.А., Ткачев В.А., Локшин А.М., Асмолов В.Г., Верпета В.И., Кузьмин С.В., Дорофеев А.Н., Панфилов А.П., Шершаков В.М., Булгаков В.Г., Вакуловский С.М., Крышев И.И., Каткова М.Н., Бурякова А.А., Козлов М.Н., Голубева Н.И., Иванов В.В., Линге И.И., Стрижов В.Ф., Мелихова Е.М. и др. – Москва, 2021.

408. Роспотребнадзор по РО 2022. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ростовской области. Официальный сайт. [Электронный ресурс] Доступ: http://www.61.rospotrebnadzor.ru/. Доступен 05.07.2022 г.

409. Роспотребнадзор по СК 2022. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ставропольскому краю. Официальный сайт. [Электронный ресурс] Доступ: http://26.rospotrebnadzor.ru/ Доступен 05.07.2022 г.

410. РОСАТОМ. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» Официальный сайт. [Электронный ресурс] Доступ: http://rosatom.ru Доступен: 14.06.2022

411. РЭУС-II-15, 1996. Правила хранения и применения рабочего эталона II разряда специализированной радиометрической установки РЭУС-II-15. Утвержден ГНМЦ «ВНИИФТРИ» 25.11.1996. – 58с.

412. Сазыкина М.А. , Новикова Е.М., Кхатаб З.С., Бураева Е.А., Сазыкин И.С., Сазыкина М.И. Детекция генотоксичных веществ в представителях бриофлоры, лихенофлоры и микофлоры при помощи бактериальных lux–биосенсоров // Сборник научных трудов на основе материалов 5–й Всероссийской научно–практической конференции с международным участием «Экологические проблемы промышленных городов» (г. Саратов 12–14 апреля 2011 г.). – 2011. – Т. 1. – С. 128–129.

413. Сазыкина М.А., Кудеевская Е.М., Сазыкин И.С., Бураева Е.А., Костина Н.В., Хмелевцова Л.Е., Хаммами И.Х. Исследование динамикb загрязнения воздуха г. Ростова–на–Дону генотоксичными веществами с использованием биолюминисцентных сенсоров // Валеология. – 2013. – №3. – С. 21–25.

414. Сазыкина М.А., Сазыкин И.С., Бураева Е.А., Журавлева М.В., Карчава Ш.К., Хаммами М.И., Селиверстова Е.Ю. Исследование загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха г. Ростова–на–Дону методом биотестирования лихено– и бриофлоры. // Валеология. – 2016. – №2. – С. 81–86.

415. Савин И.С., Дергачева Е.В., Бураева Е.А. Содержание радионуклидов в почвах, терриконах и продуктах горения природно–техногенной территории Новочеркасской ГРЭС // В сб. Трудов Шестого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и

перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. – 2017. – Т.2. – С. 243–246.

416. Савинкина П.В., Бураева Е.А. Особенности распределения естественных радионуклидов в черноземах Северного Кавказа // Сб–к тр. Девятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т.1. – С.274–278.

417. Савицкий И.М. Экологическая обстановка в Западной Сибири в связи с испытанием ядерного оружия на Новоземельском полигоне // Гуманитарные науки в Сибири. – 2015. – № 1. –Т. 22. –С. 78–83.

418. Саевский А.И., Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Проценко В.В., Кащаева Е.А., Пронина Е.В. Фазовый состав атмосферных аэрозолей // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2018. – №5(11). – С. 308–311.

419. Саевский А.И., Дергачева Е.В., Долгополова А.М., Бураева Е.А. Радионуклиды в поверхностном слое горных и степных почв Северного Кавказа // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016. – С. 77–80.

420. Сайт администрации г. Волгодонска, 2022. Официальный сайт агминистрации г. Волгодонска [Электронный ресурс]. Доступ: http://volgodonskgorod.ru/. Доступен: 15.05.2022.

421. Самойленко О.В., Аникеева А.В., Бураева Е.А., Евтеенко Н.И, Гончаренко А.А., Зорина Л.В., Кобцева М.А., Лосевский М.В., Стасов В.В. Оценка коэффициентов накопления естественных и искусственных радионуклидов растениями // В сб. материалов X Международного семинара по магнитному резонансу (спектроскопия, томография, экология). – 2010. – С. 181.

422. Санжарова Н.И., Котик В.А., Архипов А.Н., Соколик Г.А., Иванов Ю.А., Фесенко С.В., Левчук С.Е. Количественные параметры вертикальной миграции радионуклидов в почвах на лугах различных типов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1996. – Т. 36. – В. 4. – С. 488–497.

423. Санжарова Н.И., Белова Н.В., Юриков П.И., Воробьёва Л.А., Моисеенко Ф.В., Спиридонов С.И. Переход $^{137}Cs$ в растения из дерново–подзолистой почвы в зависимости от доз калия и степени его подвижности // Агрохимия. – 2004. – № 7.– С. 58–66.

424. Санжарова Н.И., Сысоева А.А., Исамов Н.Н., Алексахин Р.М., Кузнецов В.К., Жигарева Т.Л. Роль химии в реабилитации сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Российский химический журнал. – 2005. – № 3. – Т. 49. – С. 26.

425. Санжарова Н.И., Белова Н.В., Андреева Н.В. Эволюция представлений о подвижности $^{137}Cs$ в системе почва–растение и роли калия в этих процессах // Агрохимия. – 2014. – № 5. – С. 79–93.

426. СанПиН 2.6.1.2800–10. Санитарные правила и нормативы: Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счёт природных источников ионизирующего излучения. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011.–40 с.

427. СанПиН 2.6.1.2523–09. Нормы радиационной безопасности НРБ–99/2009. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 года N 47 – 222 с.

428. СП 2.6.1.2612–10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99/2010). утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 26 апреля 2010 г. N 40 – 77 с.

429. Секушина И.А. Теоретические подходы к классификации малых и средних городов России // Научный вестник ЮИМ. – 2019. – №2. – С. 84–93.

430. Семенова–Тян–Шанская А. М. Динамика накопления и разложения мертвых растительных остатков в лугово–степных и луговых ценозах // Ботан. журн. – 1960. – №. 9. – Т. 45. – С. 1342–1350.

431. Сенин И.Н., Антохина К.В., Ширяева А.А., Антонова Е.Ю., Сидорина У.А., Бураева Е.А. Радионуклиды в компонентах экосистем горных районов Республики Адыгея. // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2022. Т. 8. № 4. С. 238–248.

432. Сердюкова, А.С. Изотопы радона и продукты их распада в природе. / А. С. Сердюкова, Ю. Т. Капитанов. – М.: Изд. «Атомиздат», 1975 – 297 с.

433. Сивцов А.В., Горбов С.Н., Бураева Е.А. Радионуклиды в почвах Ростовской агломерации // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сборник материалов XV Международной конференции аспирантов и обучающихся. – 2021а. – С. 144–146.

434. Сивцов А.В., Козырев Д.А., Горбов С.Н., Бураева Е.А. Особенности распределения радионуклидов в почвах урбанизированных, природно–антропогенных и природных территорий Ростовской области // В сб. Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине: Труды XII Междунар. биогеохимической школы, посвященной 175–летию со дня рождения В. В. Докучаева. – 2021б. –С. 195–198.

435. Сивцов А.В., Козырев Д.А., Горбов С.Н., Бураева Е.А. Радионуклиды в городских почвах Ростовской агломерации // В сборнике тезисов XVII Ежегодной молодежной научной конференции "Наука и технологии Юга России". – 2021в. С. 112.

436. Сивцов А.В., Козырев Д.А., Горбов С.Н., Бураева Е.А. Радионуклиды в нативных и антропогенно–преобразованных почвах Ростовской агломерации // В сб. тезисов докладов IV Международной (XVII региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск». – 2021г. – С. 215–217.

437. Сивцов А.В., Козырев Д.А., Горбов С.Н., Бураева Е.А., Бобылев В.А., Наливайченко А.А. Распределение радионуклидов в почвах урбанизированных, природно–антропогенных и природных территорий каштановой и чернозёмной зоны Ростовской области // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021д. – Т.2. – С. 210–213.

438. Сивцов А.В., Козырев Д.А., Горбов С.Н., Бураева Е.А., Бобылев В.А., Наливайченко А.А. Сравнительный анализ естественных радионуклидов в нативных

и антропогенно – преобразованных почвах чернозёмной и каштановой зоны Ростовской области // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2021: сборник статей по материалам международной научно–практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2021». – 2021е. – С. 569–573.

439. Сидорина У.А., Бураева Е.А. Распределение естественных радионуклидов в компонентах экосистем на примере горной Адыгеи. // В книге: Наука Юга России: достижения и перспективы. XVIII Ежегодная молодежная научная конференция : тезисы докладов. Ростов-на-Дону, 2022. С. 99.

440. Сидорина У.А., Бураева Е.А. Распределение естественных радионуклидов в компонентах экосистем на примере Республики Адыгея // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021. – Т.2. – С. 214–216.

441. Сидорина У.А., Антонова Е.Ю., Бураева Е.А. Оценка распределения радионуклидов растительными объектами в горной Адыгее // В сб. тезисов докладов IV Международной (XVII региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск». – 2021а. – С. 217–219.

442. Сидорина У.А., Исаева Е.В., Сивцов А.В., Антонова Е.Ю., Бураева Е.А. Оценка накопления радионуклидов растительными объектами в Республике Адыгея // В сборнике тезисов XVII Ежегодной молодежной научной конференции "Наука и технологии Юга России". – 2021б. – С. 113.

443. Сидорина У.А., Исаева Е.В., Сивцов А.В., Антонова Е.Ю., Ширяева А.А., Бураева Е.А. Оценка накопления радионуклидов растительными объектами в республике Адыгея // Сб–к тр. Девятого Межд. Междисцип. Молод. Симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т.1. – С.279–275.

444. Сидякин П.А., Щитов Д.В., Фоменко Н.А., Лебедева С.А. О радиационно–экологической обстановке в урбанизированных территориях городов–

курортов Кавказских Минеральных Вод // Инженерный вестник Дона. – 2015. – В. 33. – С. 16.

445. Скрипников В.Н. Радиоэкологический мониторинг в лесных экосистемах центральной лесостепи России // Лесотехнический журнал. – 2015. – №3. – С.93–102.

446. Слита В. А., Ляхова Н.В., Бураева Е.А. Радиоэкологическое обследование природных и урбанизированных территорий Орловского района Ростовской области // Сб–к тр. Девятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т.1. – С.286–290.

447. Смирнов А.Е., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Зорина Л.В., Лущик А.И. Профили распределения естественных и искусственных радионуклидов в различных типах почвы // В сб. тезисов Двенадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2006. – С. 765–766.

448. Соболева, И. А. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды. / И.А. Соболева. – М.: Медицина, 2002. – 432 с.

449. СРП-88н, 1991. ЖШ1.289.386 ПС Прибор геологоразведочный сцинтилляционный СРП-88н. Паспорт. – 1991. – 33 с

450. Ставропольский край 2022. Портал органов государственной власти Ставропольского края, [Электронный ресурс]. Доступ: https://stavregion.ru/govdep/govsk/. Доступен: 15.05.2022

451. Стасов В.В. Исследования источников поступления и процессов переноса радионуклидов в приземной атмосфере промышленных городов. / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Диссертационный совет Д 327.001.01 при ФБГУ «Высокогорный геофизический институт» Росгидромета. Ростов–на–Дону, 2013а. – 24 с.

452. Стасов В.В. Исследования источников поступления и процессов переноса радионуклидов в приземной атмосфере промышленных городов. /

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Нальчик: ФБГУ «Высокогорный геофизический институт» Росгидромета. Ростов–на–Дону, 2013б. – 135 с.

453. Стасов В.В., Бураева Е.А., Малышевский В.С., Нефедов В.С., Дергачева Е.В. Исследование источников поступления и распределения $^{40}$К в приземном слое атмосферы г. Ростова–на–Дону // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – Режим доступа: www.science–education.ru/111–10344 (дата обращения: 24.10.2013).

454. Стасов В.В., Зорина Л.В., Морозов А.Н., Бураева Е.А. Исследование связи радионуклидного состава почвенных фракций и атмосферных аэрозолей // Инженерный Вестник Дона. – 2007. – № 2. – Режим доступа: http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2007/29/

455. Степанов М.Н., Шаврин А.В. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. Справочник. – М.: Машиностроение, 2005. – 399 с

456. Стыро Б.И. Самоочищение атмосферы от радиоактивных загрязнений. Л., Гидрометеоиздат, 1968. – 293 с

457. Судас А.С., Домнич А.Ф., Рожка Т.Б. Накопление $^{137}$Cs многолетними травами в зависимости от гидрологического режима поймы. / А.С. Судас, А.Ф. Домнич, Т.Б. Рожка // «Мелиорация и луговодство на пойменных землях». Сб. БелНИИМиЛ, Минск, 1996. – С. 164-169.

458. Тельнова Н.О. Ростовская область. Природа // В сборнике Большая Российская энциклопедия, серия БРЭ, место издания Научное издательство "Большая Российская энциклопедия" Москва. – 2015. – Т. 28. – С. 693–695.

459. Титаева Н.А. Ядерная геохимия: Учебник. – 2е изд., испр. и доп. – М.: Изд–во МГУ, 2000. – 336 с.

460. Титаева НА., Таскаев А.И., Овченков В.Я., Алексахин Р.М., Шуктомова И. И. Содержание и особенности поступления изотопов урана, радия и тория в растениях, произрастающих в различных радиоэкологических условиях // Экология. – 1978. – № 4. – С. 37–44.

461. Титлянова А. А., Шибарева С. В. Подстилки в лесных и травяных экосистемах / Новосибирск: Изд–во СО РАН, 2012. – 135 с.

462. Тихонова И.Н., Асланов Д.И, Кравченко Н.Н., Захарова А.В. Экологические проблемы региона Кавказские Минеральные Воды: учебное пособие. – Пятигорск: РИА–КМВ, 2019. – 116 с.

463. Триболина А.Н., Аветисян С.Р., Нефедов В.С., Курочкина А.В., Бураева Е.А., Барахов А.В. Радионуклиды земного происхождения в наземных территориях горных территорий // В сб. научных трудов по материалам Международной научно–практической конференции «Наука и образование в XXI веке». – 2013а. – Часть. 14. – С. 149–150.

464. Триболина А.Н., Бураева Е.А., Нефедов В.С., Мартыненко С.В. Распределение $^{137}$Cs в почвах территорий с различной склоновой экспозицией (на примере горной части республики Адыгея) // В сб. «Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс]»: тез. докладов IX Международной научно–практической конференции. 23–24 мая 2013. – 2013б – 1 электрон. оптич. диск [CD].

465. Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Долгополова А.М., Кубрина В.К., Бураева Е.А. Естественные радионуклиды в почвах Ростовской области // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016. – С. 83–85.

466. Тройченко Р.В., Аветисян С.Р., Долгополова А.М., Кубрина В.К., Бураева Е.А., Бунина О.А. Использование гамма–спектрометрии и рентгендифракционного анализа для оценки содержания радионуклидов и тяжелых металлов в почвах Ростовской области // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016. – С. 195–197.

467. Уорнер, Ф Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля. / Ф. Уорнер, Р. Харрисон. // М.: Мир, 1999. – С. 511.

468. Уткин А.С., Бураева Е.А., Гончаренко А.А., Гуров С.В., Стасов В.В. Оценка радионуклидного состава некоторых осадочных пород Южного

федерального округа // В сб. материалов X Международного семинара по магнитному резонансу (спектроскопия, томография, экология). – 2010. – С. 191.

469. Федоров Ю.А., Кузнецов А.Н., Савицкий В.А., Талпа Б.В., Головков И.В., Доценко Н.В., Станиславский К.С., Габова В.Н. Особенности образования и функционирования озера Малый лиман как природно–техногенной системы // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 4 (88). – С. 500–520.

470. Федченко Т. М., Бураева Е.А., Минкина Т.М., Триболина А.Н., Нефедов В.С. Содержание и распределение радионуклидов в почвах территорий Новочеркасской ГРЭС // В сб. «Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс]»: тез. докладов IX Международной научно–практической конференции. – 2013а – 1 электрон. оптич. диск [CD].

471. Федченко Т.М., Бураева Е.А., Минкина Т.М., Триболина А.Н., Нефедов В.С., Мартыненко С.В. Содержание и распределение радионуклидов в почвах территории Новочеркасской ГРЭС // Фундаментальные исследования. – 2013б. – №11. – Часть 3. – С. 488–492.

472. Федченко Т.М., Давыденко А.М., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Бураева Е.А., Триболина А.Н. Радиоактивность почв территорий Новочеркасской ГРЭС // В сб. статей шестнадцатой международной научно–практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике». – 2013в. – С.253–255.

473. Федченко Т.М., Нефедов В.С., Барахов А.В., Минкина Т.М., Бураева Е.А. Радиоактивность почв природно–техногенной зоны Новочеркасской ГРЭС // В сб. научных трудов по материалам Международной научно–практической конференции «Наука и образование в XXI веке». – 2013г. – Часть. 14. – С. 151–152.

474. Федченко Т.М., Дергачева Е.В., Кузьмичев И.С., Нефедов В.С., Стасов В.В., Бураева Е.А. Распределение 137Cs и 241Am в донных отложениях приплотинного участка цимлянского водохранилища // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс] : тез. докл. X Междунар. науч.–практ. конф. – 2014а. – 1 электрон. Опт. диск [CD].

475. Федченко Т.М., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Барахов А.В., Бураева Е.А. Распределение $^{137}Cs$ в донных отложениях Цимлянского водохранилища // Теоретические и прикладные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно–практической конференции 31 марта 2014 г.: в 13 частях. – 2014б. – Часть 5. – С. 142–144.

476. Хелаль А.А., Арида Х.А., Ризк Х.Е. Халифа С.М. Взаимодействие цезия с гумусовым веществом: исследование методами радиометрии и ионометрии // Радиохимия. – 2007. – Т. 49. – № 5. – С. 458–463

477. Цветнова О.Б., Щеглов А.И. $^{137}Cs$ в компонентах природных комплексов 30–километровой зоны влияния Смоленской АЭС // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2009. – № 3. – С. 3–8.

478. Чохели В.А., Бураева Е.А., Капралова О.А., Сизова А.А., Королева О.Г. Химический анализ образцов Pylaisia polyantha, произрастающей в различных точках г. Ростова–на–Дону // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016а. – С. 286–288.

479. Чохели В.А., Омельченко Г.В., Бураева Е.А., Вардуни Т.В., Вьюхина А.А., Дмитриев П.А. Аккумуляция тяжелых металлов мхом Pylaisia polyantha, произрастающего на маркерных растениях тополя в различных точках г. Ростова–на–Дону // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016б. – С. 291–292.

480. Шадин А.Е., Ерчихин А.Д., Каменев О.В., Бураева Е.А. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма–излучения в густонаселённом городе Ростове–на–Дону // Сб–к тр. Девятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т.1. – С.291–294.

481. Шадин А.Е., Бураева Е.А., Ерчихин А.Д., Ляхова Н.В., Каменев О.В. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма–излучения в областном административном центре Ростове–на–Дону // В сб. тезисов докладов IV

Международной (XVII региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск». – 2021. – С. 227–229

482. Шаповалов Е.С., Бураева Е.А. Радиационная обстановка населённых пунктов Ростовской области на примере села Алексеево–Лозовского // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021. – Т.2. – С. 217–220.

483. Шаповалов Е.С., Калашникова К.А., Антонова Е.Ю., Маломыжева Н.В., Бураева Е.А. Радиоактивность урбанизированных территорий Ростовской области. // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2022. Т. 8. № 4. С. 290–296.

484. Шаповалова Е.С., Гордиенко С.Г., Иванов Е.С., Арысланова Ф.Ш., Кубрина В.К., Тройченко Р.В., Дергачева Е.В., Бураева Е.А. Оценка вклада в мощность эквивалентной дозы гамма–излучения территорий Юга России от природных источников // В сб. Трудов Пятого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. (Анализ современного состояния и перспективы развития). «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2016а. – Т.1. – С. 277–280.

485. Шаповалова Е.С., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Долгополова А.М., Стасов В.В., Бураева Е.А. Факторы, влияющие на мощность эквивалентной дозы гамма–излучения территорий Юга России // В сб. материалов Всероссийского семинара с международным участием «Радиационная и промышленная экология». – 2016б. – С. 86–88.

486. Шаповалова Е.С., Колесников И.А., Дергачева Е.В. Расчет мощности эквивалентной дозы от вторичного космического излучения территорий юга России // В сб. трудов II научной конференции студентов и молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы наук о Земле». – 2016в. – С. 490–493.

487. Швецова Д.А., Ляхова Н.В., Джура К. О., Бураева Е.А. Распределение радионуклидов по элементам рельефа в почвах особо охраняемой природной

территории «Приазовская степь» // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021. – Т.2. – С. 221–223.

488. Шиманская Е.И., Бураева Е.А., Аветисян С.Р., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Стасов В.В., Гончаренко А.А, Гуськов Г.Е., Богачев И.В., Шиманский А.Е. Распределение $^{137}Cs$ в почвах, сформированных на гранитах // Современные наукоёмкие технологии. – 2014а. – №10. – С. 101–103.

489. Шиманская Е.И., Вардуни Т.В., Бураева Е.А., Богачев И.В., Шиманский А.Е., Дымченко Н.П., Шерстнева И.Я., Шерстнев А.К., Козлова М.Ю. Бриофлора как универсальная тест–система биологической дозиметрии // Успехи современного естествознания. – 2014б. – №12. – Часть 2. – С. 164–165.

490. Шиманская Е.И., Бураева Е.А., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Шерстнев А.К., Богачев И.В., Шиманский А.Е. Влияние рельефа на динамику и распределение естественных радионуклидов в бурых лесных почвах // Современные наукоёмкие технологии. – 2014в. – №10. – С. 103–105

491. Шиманская Е.И., Бураева Е.А., Вардуни Т.В., Прокофьев В.Н., Чохели В.А., Въюхина А.А. Десятилетний биомониторинг урбанизированных территорий с использованием древесных растений // Успехи современного естествознания. – 2014г. – №11. – Часть 2. – С. 102–103.

492. Ширяева А.А., Бураева Е.А. Исследование изменения радионуклидов в почве горной Адыгеи // В сборнике тезисов XVII Ежегодной молодежной научной конференции "Наука и технологии Юга России". – 2021а. – С. 118.

493. Ширяева А.А., Бураева Е.А. Исследование особенности распределения радионуклидов в почвах горной Адыгеи // В сб. тезисов докладов IV Международной (XVII региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск». – 2021б. – С. 233–235.

494. Ширяева А.А., Бураева Е.А. Исследование изменения радионуклидов в почвах горной Адыгеи // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование

эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021в. – Т.2. – С. 224–226.

495. Ширяева А.А., Бураева Е.А. Особенность изменения радионуклидов в различных почвах горной Адыгеи // Сб–к тр. Девятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2020. – Т.1. – С.295–298.

496. Ширяева А.А., Бураева Е.А.Распределение радионуклидов в почвах Адыгеи (Майкопский район) // В сб.: Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития) («LFPM–2019»). Труды Восьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума (Ростов–на–Дону, 25–27 сентября 2019 г.): в 2 т. – 2019. – Т. 2. – С. 281–284.

497. Шуктомова И.И., Титаева Н.А., Таскаев А.И., Алексахин Р.М. Поведение урана, тория и радия в почвах горной тундры // Почвоведение. – 1983. – № 8. – С. 49–53.

498. Шульга В.В., Бураева Е.А. Уровень гамма–фона на территории станицы Староминской // Сб–к тр. Десятого Межд. междисцип. молод. симп. «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов. Моделирование эко–систем (Анализ современного состояния и перспективы развития)». – 2021. – Т.2. – С. 227–230.

499. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: По материалам 10–летних исследований зоне влияния аварии на ЧАЭС. М.: Наука, – 2000. – 268 с

500. Юриков П.И., Белова Н.В., Санжарова Н.И., Воробьева Л.А., Моисеенко Ф.В. Переход $^{137}Cs$ в растения из почвы при применении калийных удобрений // Плодородие. – 2007. – № 6 (39). – С. 34–36.

501. Янкова Н.С., Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Кобцева М.А. Профили распределения $^{137}Cs$ и физико–химические показатели почв зоны наблюдения

Волгодонской АЭС // В сб. тезисов Пятнадцатой Всероссийской научной конференции студентов–физиков и молодых ученых. – 2009. – С. 819–820.

502. Abd El–mageed, Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environments of Juban town in Yemen. / Abd El–mageed, A.I., El–Kamel, A.H., Abbady, A., Harb, S., Youssef, A.M.M., Saleh, I.I., // Radiation Physics and Chemistry. – 2011. – V. 80. – P. 710 – 715.

503. Ademola A. K. Determination of natural radioactivity and hazard in soil samples in and around gold mining area in Itagunmodi, south–western, Nigeria. / Augustine Kolapo Ademola, Adekunle Kazeem Bello, Adeniyi Caleb Adejumobi. // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. – 2014. – №7. – P. 249–255.

504. Ademola Akyil, S. Vertical distribution of 226Ra and 210Po in agricultural soils in Buyuk Menderes Basin, Turkey. / S. Akyil. G. Gurboga. M.A.A. Aslani, S. Aytas. // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – №157. – P. 328–334.

505. Ahmed N. K., Comparative study of the natural radioactivity of some selected rocks from Egypt and Germany / Ahmed N. K., Abbady A., El–Arabi A.M. Michel R., El–Kamel A. H., Abbady A. G. E. // Indian Journal of Pure & Applied Physics. – 2006. – V. 44. – P. 209–215.

506. Alatise, O.O., Distribution of some natural gamma–emitting radionuclides in the soils of the coastal areas of Nigeria. / Alatise, O.O., Babalola, I.A., Olowofela, J.A., 2008 // Journal of Environmental Radioactivity. – 2008. – V.99. – P. 1746–1749.

507. Al–Azmi D. Variations in $^{7}$Be concentrations in the atmosphere of Kuwait during the period 1994 to 1998. / Al–Azmi D., Sayed A.M., Yatim H.A. // Applied Radiation and Isotopes. – 2001. – V.55. – P. 413–417.

508. Alegría N., Meteorological Factors Controlling 7Be Activity Concentrations in the Atmospheric Surface Layer in Northern Spain. / Alegría N., Ángel Hernández–Ceballos M., Herranz M., Idoeta R., Legarda F. // Atmosphere. – 2020. – V. 11(12). – P.1340.

509. Alewell, C. $^{239+240}$Pu from “contaminant” to soil erosion tracer: Where do we stand? / Alewell, C., Pitois, A., Meusburger, K., Ketterer, M., Mabit, L. // Earth–Science Reviews. – 2017. – V. 172. – P. 107–123

510. Al Hamarneh I., Wreikat A., Toukan K. Radioactivity concentrations of $^{40}K$, $^{134}Cs$, $^{137}Cs$, $^{90}Sr$, $^{241}Am$, $^{238}Pu$ and $^{239+240}Pu$ radionuclides in Jordanian soil samples. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2003. – 67. – P. 53-67.

511. Al–Masri, M.S., Vertical distribution and inventories of 137Cs in the Syrian soils of the eastern Mediterranean region. / Al–Masri, M.S. // J. Environ. Radioact. – 2006. – V. 86. – P. 187–198.

512. Almgren, S., Vertical migration studies of 137Cs from nuclear weapons fallout and the Chernobyl accident. / Almgren, S., Isaksson, M., //J. Environ. Radioact. – 2006. – V. 91. P. 90–102.

513. Alsaadie, N.A. Transfer factor of radionuclides from soil to plant in natural and radionuclides polluted soils of Iraq. / Alsaadie, N.A., Alsaedi, S.A., Razaq, I.B. // Indian Journal of Ecology. – 2021. – V. 48 (2). – P. 466–471.

514. Alsaffar Mohammed Saad. Distribution of 226Ra, 232Th, and 40K in rice plant components and physico–chemical effects of soil on their transportation to grains. / Mohammed Saad Alsaffar, Mohamad Suhaimi Jaafar, Norlaili Ahmad Kabir, Nisar Ahmad. // Journal of Radiation Research and Applied Science. – 2015. – P. 1–11.

515. Andries C.W., The application of environmental isotopes to conceptualize groundwater recharge in a coastal aquifer system: Case study of the West Coast Aquifer System, South Africa. / Andries C.W., Kanyerere T., Israel S., Butler M. // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. – 2021. – NV. 124. – Part 1, P. 102995.

516. Anisimov V.S., $^{137}Cs$ behavior in the system soil – plant in the stationary sampling sites located within the 30–kilometer zone of the Chernobyl NPP in the period 1987–1992: II. Vertical migration in soils and accumulation of 137Cs in natural meadow grasses. / Anisimov V.S., Sanzharova N.I., Alexakhin R.M. // International Journal of Environmental Problems. – 2016. – V. 3. – № 1. – P. 26–57.

517. Asaduzzaman, Kh. Soil–to–root vegetable transfer factors for 226Ra, 232Th, 40K, and 88Y in Malaysia. / Kh. Asaduzzaman, M. U. Khandaker, Y.M. Amin, D.A. Bradley, R.H. Mahat, R.M. Nor. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2014. – №135. – P. 120–127.

518. Askbrant, S., Mobility of radionuclides in undisturbed and cultivated soils in Ukraine, Belarus, and Russia six years after the Chernobyl fallout / Askbrant, S., Melin, J., Sandalls, J., Rauret, G., Vallejo, R., Hinton, T., Cremers, A., Vandecastelle, C., Lewyckyj, N., Ivanov, Y.A., Firsakova, S.K., Arkhipov, N.P., Alexakhin, R.M. // J. Environ. Radioact. – 1996. – V. 31 (3). – P. 287–312.

519. Audi G., The NUBASE evaluation of nuclear and decay properties / Audi G., Bersillon O., Blachot J., Wapstra A. H. // Nuclear Physics A. – 2003 (a). – V. 729. – P. 3–128.

520. Audi G., Wapstra A. H., Thibault C. The AME2003 atomic mass evaluation (II). Tables, graphs, and англ.) // Nuclear Physics A. – 2003 (b). – V. 729. – P. 337–676. – doi:10.1016/j.nuclphysa.2003.11.003.

521. Azahra M. $^{7}$Be concentrations in near–surface air of Granada (Spain) in the period 1993–2001. / Azahra M., Camacho–Garcia A., Gonzalez–Gomez C., Lopez–Penalver J.J., El Bardouni T. Seasonal //Applied Radiation and Isotopes. – 2003. – V. 59. – P. 159–164.

522. Baeza, A., Guillén, F. J., Salas, A., & Manjón, J. L. (). Distribution of radionuclides in different parts of a mushroom: Influence of the degree of maturity. Science of the Total Environment. – 2006. – V. 359(1–3). – P. 255–266.

523. Baeza, A., Soil–fungi transfer coefficients: Importance of the location of mycelium in soil and of the differential availability of radionuclides in soil fractions. / Baeza, A., Guillén, J., & Bernedo, J. M. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – V. 81(1). – P. 89–106.

524. Baeza, A. Radiocaesium and natural gamma emitters in mushrooms collected in spain. / Baeza, A., Hernández, S., Guillén, F. J., Moreno, G., Manjón, J. L., & Pascual, R.//Science of the Total Environment. – 2004. – V. 318(1–3). – P. 59–71.

525. Bai, Z.G., A comparison on the accumulation characteristics of $^{7}$Be and $^{137}$Cs in lake sediments and surface soils in western Yunnan and central Guizhou, China. / Bai, Z.G., Wan, G.J., Huang, R.G., Liu, T.S. //Catena. – 2002. –V. 49. – P. 253–270.

526. Baldrian, P. 2017. “Forest Microbiome: Diversity, Complexity and Dynamics.” FEMS Microbiology Reviews 41 (2): 109–30

527. Barua, T., The presence of radioactive and metal contaminants in wild mushrooms grown in chattogram hill tracts, bangladesh. / Barua, T., Saiful Islam Bhuian, A. K. M., Hossain, S., Deb, N., Ahmed, M., Hossain, S.,... Khandaker, M. U. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2019. – V. 322(1). P. 173–182.

528. Baykara, O. Determination of terrestrial gamma, 238U, 232Th and 40K in soil along fracture zones. / O. Baykara, M. Dogru. // Radiation Measurements. – 2009. – №44. – P. 116–121.

529. Belivermis M., The effects of physicochemical properties on gamma emitting natural radionuclide levels in the soil profile of Istanbul / M Belivermis, Ö Kılıç, Y Çotuk, S Topcuoğlu. // Springer Science, Business Media. – 2010. – V. 163. – P. 15–26.

530. Belivermis M., Radioactivity measurements in moss (Hypnum cupressiforme) and lichen (Cladonia rangiformis) samples collected from Marmara region of Turkey / M. Belivermis, Y. Çotuk // Journal of Environmental Radioactivity. – 2010 – V. 101. – P. 945–951.

531. Belyaev, V. Quantitative assessment of effectiveness of soil conservation measures using acombination of 137Cs radioactive tracer and conventional techniques. / V.R. Belyaev, V.N. Golosov, J.S. Kuznetsova, M.V. Markelov. // Catena. – 2009. – V. 79. – P. 214–227.

532. Bennett M., Climate complexity in the Central Andes: A study case on empirically–based local variations in the Dry Puna / M. Bennett, M. New, J. Marino, C. Sillero–Zubiri. // Journal of Arid Environments. – 2016. – V. 128. – P. 40–49.

533. Bezuglov M.V., Photonuclear production of cosmogenic beryllium–7 in the terrestrial atmosphere. / Bezuglov M.V., Malyshevsky V.S., Fomin G.V., Torgovkin A.V. Shramenko B.I., Malykhina T.V.// Physical Review. – 2012. – P. 86.

534. Bilici, S., Transport modeling of $^{137}$Cs in soil after Fukushima Dai–Ichi Nuclear Power Plant accident by point cumulative semi–variogram method. / Bilici, S., Bilici, A., Külahc, F. // Environmental Earth Sciences. – 2019. – V. 78(6) – P. 212.

535. Blanco R.P. Transfer of $^{238}$U, $^{230}$Th, $^{226}$Ra, and $^{210}$Pb from soils to tree and shrub species in a Mediterranean area / Blanco R.P., Vera Tomé F., Lozano J.C., Pérez

Fernández M.A. // Applied Radiation and Isotopes. – 2010. – V. 68. – I. 6. – P. 1154–1159.

536. Blanco R.P. Influence of soil texture on the distribution and availability of $^{238}U$, $^{230}Th$, and $^{226}Ra$ in soils. / Blanco Rodrıґguez P., F. Vera Tomeґ, J.C. Lozano, M.A. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2008. – V. 99. – P. 1247–1254.

537. Blanco R.P. About the assumption of linearity in soil–to–plant transfer factors for uranium and thorium isotopes and $^{226}Ra$. / Blanco Rodr´ıguez, P., Vera Tom´e, F., Lozano, J.C., // The Science of the Total Environment. – 2002. – V. 284. – P. 167–175.

538. Blazej, S. Cosmogenic $^{22}Na$, $^{7}Be$ and terrestrial $^{137}Cs$, $^{40}K$ radionuclides in ground level air samples collected weekly in Krakґow (Poland) over years 2003–2006. / S. Blazej, J, W. Mietelski. // J RadioanalNucl Chem. – 2014. – V. 300. – P. 747–756.

539. Bonzom, J–M Effects of radionuclide contamination on leaf litter decomposition in the Chernobyl exclusion zone/ J–M. Bonzom, S. Hättenschwiler, C. Lecomte–Pradines [и др.]. – Текст: непосредственный// Science of the Total Environment. –2016. –№562.– P. 596–603.

540. Brattich, E. Observation and modeling of high – $^{7}Be$ concentration events at the surface in northern Europe associated with the instability of the Arctic polar vortex in early 2003. / Brattich, E., Liu, H., Zhang, B., Hernández–Ceballos, M. Á., Paatero, J., Sarvan, D., Djurdjevic, V., Tositti, L., and Ajtić, J. // Atmos. Chem. Phys. – 2021. – V. 21. – P. 17927–17951. https://doi.org/10.5194/acp–21–17927–2021

541. Brimo, K. Evaluation of semi–mechanistic models to predict soil to grass transfer factor of 137Cs based on long term observations in French pastures. / Brimo, K., Pourcelot, L., Métivier, J.M., Gonze, M.A. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – V. 227. – P. 106467.

542. Buraeva E.A. Features of $^{137}Cs$ distribution and dynamics in the main soils of the steppe zone in the southern European Russia. / Buraeva E.A., Bezuglova O.S., Stasov V.V., Nefedov V.S., Dergacheva E.V., Goncharenko A.A., Martynenko S.V., Goncharova L.Yu., Gorbov S.N., Malyshevsky V.S., Varduny T.V. // Geoderma. – 2015. – № 259–260. – P. 259–270.

543. Buraeva E. A. Content Of Cosmogenic $^{7}$Be In The Air Layer At The Ground At Temperate Latitudes. / Buraeva E. A., Davydov M. G., Zorina L. V., Malyshevskii V. S., and Stasov V. V. // Atomic Energy. – 2007a. – № 6. – V. 102. – P. 463–468. DOI: 10.1007/s10512–007–0073–4

544. Buraeva E. A. Dynamics Of $^{137}$Cs Bottom Contamination Of The Tsimlyanskoe Reservoir. / Buraeva E. A., Davydov M. G., Zorina L. V., and Malyshevskii V. S. // Atomic Energy. – 2007b. – V. 103. – № 4. – P. 815–820. DOI: 10.1007/s10512–007–0128–6

545. Buraeva E. A. Components OF The Background Of Ge(Li) And Ge Detectors In Passive Shielding. / Buraeva E. A., Davydov M. G., Zorina L. V., and Stasov V. V. // Atomic Energy. – 2007c. – № 5. – V. 103. – P. 895–900. DOI: 10.1007/s10512–007–0142–8

546. Buraeva, E.A A record of atmospheric $^{210}$Pb accumulation in the industrial city. / Buraeva, E.A; Malyshevsky, V. S; Stasov, V. V; Zorina, L.V; Shramenko, B. I. // eprint arXiv:1310.5305. 10/2013. – 2013a. –Bibliographic Code: 2013arXiv1310.5305B. – 2013a.

547. Buraeva, E. A. Cosmogenic $^{7}$Be in ground level air in Rostov–on–Don (Russia) (2001–2011). / Buraeva, E. A.; Malyshevsky, V. S.; Nephedov, V. C.; Shramenko, B. I.; Stasov, V. V.; Zorina, L. V. // eprint arXiv:1310.5271. 10/2013. – 2013b. – Bibliographic Code: 2013arXiv1310.5271B. – 2013b.

548. Buraeva E.A. 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).

549. Buraeva E.A. 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).

550. Buraeva E.A. 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 this link is disabled. – 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).

551. Buraeva, E.A. 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).

552. Burakowska A. Concentration of $^{7}$Be, $^{210}$Pb, $^{40}$K, $^{137}$Cs, $^{134}$Cs radionuclides in the ground layer of the atmosphere in the polar (Hornsund, Spitsbergen) and mid–latitudes (Otwock–Świder, Poland) regions. / Burakowska A., Kubicki M., Mysłek–Laurikainen B., Piotrowski M., Trzaskowska H., Sosnowiec R. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – V. 240/ – P. 106739 https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106739

553. Canbazoglu, C. Analysis of gamma emitting radionuclides (terrestrial and anthropogenic) in soil samples from Kilis province in south Anatolia, Turkey. / C. Canbazoglu, S. Turhan, S. Bakkal, F.A. Ugur, E. Gren. // Annals of Nuclear Energy. – 2013. – №62. – P. 153–157.

554. Caridi, F. Determination of natural and anthropogenic radioactivity in mushrooms: Bioconcentration and dose assessment. / Caridi, F., Paladini, G., Acri, G., Belmusto, G., Crupi, V., Venuti, V., & Majolino, D.// AAPP Atti Della Accademia Peloritana Dei Pericolanti, Classe Di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. – 2021. – V. 99(2) doi:10.1478/AAPP.992A6

555. Carvalho F.P., Reis, M.C., Oliveira J.M., Malta M., Silva L. Radioactivity from Fukushima nuclear accident detected in Lisbon, Portugal. // Jour. of Envir. Rad. 2012. – V. 114. – P. 152-156.

556. Chham E., Pinero-García F., Gonzalez-Rodelas P., Ferro-García M.A. Impact of air masses on the distribution of $^{210}$Pb in the southeast of Iberian Peninsula air // Jour. of Envir. Rad. – 2017. – V. 177. – P. 169-183.

557. Chandrasekaran, A. Spatial distribution and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Yelagiri Hills, Tamilnadu, India. / A. Chandrasekaran, R. Ravisankar, G. Senthilkumar, K. Thillaivelavan, B. Dhinakaran, P. Vijayagopal, S.N. Bramha, B. Venkatraman. // Egyptian journal of basic and applied sciences. – 2014. – №47. – P. 1–11.

558. Charro E. Chemometric interpretation of vertical profiles of radionuclides in soils near a Spanish coal–fired power plant. / Elena Charro, Rafael Pardo, Victor Pena. // Chemosphere. – 2013. – №90. – P. 488–496.

559. Chappell A., The limitations of using $^{137}$Cs for estimating soil redistribution in semiarid environments. / Chappell A. //Geomorphology. – 1999. – V. 29. – P. 135–152.

560. Chappell A. Spatial scales of 137Cs–derived soil flux by wind in a 25 km2 arable area of eastern England. / Chappell A., Warren, A., // Catena. – 2003.– V. 52. – P. 209–234.

561. Chen J. $^{137}$Cs–based variation of soil erosion in vertical zones of a small catchment in Southwestern China / Chen J., Shi Z., Wen A., Yan D., Chen T. // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2019. – V. 16(8). – P. 1371

562. Chibowski, S. The influence of the sorptive properties of organic soils on the migration rate of $^{137}$Cs. / Chibowski, S., Zygmunt, J. // J. Environ. Radioact. – 2002. – V. 61. – P. 213–223.

563. Clemenza M., Fiorini E., Previtali E., Sala E. Measurement of airborne $^{131}$I, $^{134}$Cs and $^{137}$Cs due to the Fukushima reactor incident in Milan (Italy). // J. of Environmental Radioactivity. – 2012. – Vol. 114. – P. 113–118.

564. Collins, A.L. Using 137Cs measurements to quantify soil erosion and redistribution rates for areas under different land use in the Upper Kaleya River basin, southern Zambia. / Collins, A.L., Walling, D.E., Sichingabula, H.M., Leeks, G.J.L., // Geoderma. – 2001. – V. 104. – P. 299–323.

565. Cremers, A. Quantitative analysis of radiocaesium retention in soils. / Cremers, A., Elsen, A., De Peter, P., Maes, A., // Nature. – 1988. – V. 335 (6187). – P. 247–249

566. Cucherousset J., Quantifying the multiple facets of isotopic diversity: New metrics for stable isotope ecology / J. Cucherousset, S. Villéger. // Ecological Indicators. – 2015. – V. 56. – P 152–160.

567. Dai, L. Spatial distribution and risk assessment of radionuclides in soils around a coal–fired power plant: A case study from the city of Baoji, China. / L. Dai, H. Wei, L. Wang. // Environmental Research. — 2007. — №104. — P. 201–208.

568. Daish S.R. The temporal variations of $^{7}$Be, $^{210}$Pb and $^{210}$Po in air in England / Daish S.R., Dale A.A., Dale C.J., May R., Rowe J.E.// .Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – V. 84. – P.457–467.

569. Darabi–Golestan, F. Geospatial analysis and assessment of $^{226}$Ra, $^{235}$U, $^{232}$Th, $^{137}$Cs, and $^{40}$K at Anzali wetland, north of Iran. / Darabi–Golestan, F., Hezarkhani, A. & Zare, M.R. // Environ Monit Assess. – 2019. – V. 191. – P. 390.

570. Dergacheva E.V. Assessment of dose formation from anthropogenic $^{137}$Cs. / Dergacheva E.V., Buraeva E.A., Kolesnikov I.A., Mikhailova T.A., Protsenko V.V., Kashchaeva E.A., Staroseltsev D.A. // «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». LFPM– 2017. – 2017a. – T.1. – C. 304–307.

571. Dergacheva E.V. Estimation of annual effective dose from natural radionuclides. / Dergacheva E.V., Buraeva E.A., Kolesnikov I.A., Mikhailova T.A., Protsenko V.V., Kashchaeva E.A., Staroseltsev D.A. // «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». LFPM– 2017. – 2017b. –T.1. – C. 313–316

572. Dergacheva E.V. Estimation of annual effective dose of radon in open area. / Dergacheva E.V., Buraeva E.A., Kolesnikov I.A., Mikhailova T.A., Protsenko V.V., Staroseltsev D.A // «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». LFPM– 2017. –2017c. – T.1. – C. 287–290

573. Dergacheva E.V., The estimation of annual effective dose of cosmogenic radiation./ Dergacheva E.V., Buraeva E.A., Kolesnikov I.A., Mikhailova T.A., Protsenko V.V., Staroseltsev D.A. // «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». LFPM– 2017d. – 2017c. – T.1. – C. 295–298

574. Doering, Che, Akber, R., Heijnis, H. Vertical distributions of $^{210}Pb_{excess}$, $^{7}Be$ and $^{137}Cs$ in selected grass covered soils in Southeast Queensland, Australia. // J. Environ. Radioact. – 2006. – V.87. – P. 135–147.

575. Doering, C., Twining, J., Rout, S., Iurian, A.–R., Howard, B. A revised IAEA data compilation for estimating the soil to plant transfer of radionuclides in tropical environments. // Journal of Environmental Radioactivityю – 2021. – V. 232. – P. 106570.

576. Dovbnua A.N. Experimental results on cross sections for $^{7}Be$ photoproduction on $^{12}C$, $^{14}N$, and $^{16}O$ nuclei in the energy range of 40–90 MeV. / Dovbnua A.N., Deiev A.S., Kushnir V.A., Mitrochenko V.V., Perezhogin S.A., Torgovkin A.V., Shramenko B.I., Malyshevsky V.S., Fomin G.V., Malykhina T.V. // Physics of Atomic Nuclei. – 2014. – V. 77. – № 7. – P. 805–808.

577. Dragović S., Quantification of transfer of $^{238}U$, $^{226}Ra$, $^{232}Th$, $^{40}K$ and $^{137}Cs$ in mosses of a semi–natural ecosystem / S. Dragović, N. Mihailović, B. Gajić, // Journal of Environmental Radioactivity. – 2010. – V. 101. – P. 159–164.

578. Dueñas C. $^{7}Be$ and $^{210}Pb$ concentration ratio in ground level air in Malaga / Fernandez, M.C., Canete, S., Perez, M. // Atmos. – 2009. – V. 92. – P. 49–57.

579. Dueñas C. Air mass origin and its influence on radionuclide activities ($^{7}Be$ and $^{210}Pb$) inaerosol particles at a coastal site in the western Mediterranean. / Dueñas C., OrzaJ.A.G., CabelloM., FernándezM.C., CañeteS., PérezM., GordoE. // Atmospheric Research. – 2011. – V. 101. – P.205–214.

580. Dumat, C., Staunton, S., Reduced adsorption of caesium on clay minerals caused by various humic substances. / Dumat, C., Staunton, S. // J. Environ. Radioact. – 1999. – V. 46. – P. 187–200.

581. Đurašević, M. Natural radioactivity in lignite samples from open pit mines “Kolubara”, Serbia – risk assessment. / M. Đurašević, A.Kandić, P.Stefanović, I.Vukanac,

B. Šešlak, Z. Milošević, T.Marković. // Applied Radiation and Isotopes. — 2014. — №87. — P. 73–76.

582. Dusane C. B. Distribution of $^{238}U$, $^{226}Ra$, $^{232}Th$ and $^{40}K$ in soil samples around Tarapur, India. / C. B. Dusane, S. Mishra, S. K. Sahu, G. G. Pandit. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2014. – №3. – P. 1435–1440.

583. El–Arabi A. M. $^{226}Ra$, $^{232}Th$, and $^{40}K$ concentrations in igneous rocks from eastern desert, Egypt and its radiological implications. // Radiation Measurements. – 2007. – V. 42. – I. 1. – P. 94–100.

584. El Galy. Distribution and environmental impacts of some radionuclides in sedimentary rocks at Wadi Naseib area, southwest Sinai, Egypt. / El Galy, M.M., El Mezayn, A.M., Said, A.F., El Mowafy, A.A., Mohamed, M.S. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2008. – V. 99. – P. 1075 – 1082.

585. El–Shershaby A. Study of radioactivity levels in granite of Gable Gattar II in the north eastern desert of Egypt.// Applied Radiation and Isotopes. – 2002. – V. 57. – P. 131–135

586. Federico, R. Soil biological indicators and caesium–137 to estimate soil erosion in areas with different forest system management. / Federico R., Paolo P., Katharina K., Axel M., Adele M. // European Journal of Forest Research. – 2020. – V. 139(1). – P. 67–81

587. Feng Teng. Soil erosion rates in two karst peak–cluster depression basins of northwest Guangxi, China: Comparison of the RUSLE model with $^{137}Cs$ measurements / Feng Teng Hongsong Chen Viktor O. Polyakov Kelin Wang Xinbao Zhange Wei Zhang // Geomorphology. – 2016. – V. 253. – P. 217–224

588. Forsberg, S. Migration and chemical availability of 137C and 90Sr in Swedish long–term experimental pastures. / Forsberg, S., Strandmark, M. //Water Air Soil Pollut. – 2001. – V. 127. – P. 157–171.

589. Fujiwara T. Isotopic ratio and vertical distribution of radionuclides in soil affected by the accident of Fukushima Dai–ichi nuclear power plants. / Fujiwara, T., Saito, T., Muroya, Y., Sawahata, H., Yamashita, Y., Nagasaki, S., Okamoto, K., Takahashi, H.,

Uesaka, M., Katsumura, Y., Tanaka, S. // J. Environ. Radioact. – 2012. – V. 113. – P. 37–44.

590. Garba, N. N. Assessment of terrestrial gamma radiation dose rate (TGRD) of Kelantan State, Malaysia: Relationship between the geological formation and soil type to radiation dose rate. / N.N. Garba, A.T. Ramli, M.A. Saleh, M.S. Sanusi, H.T. Gabdo. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. — 2014. — №302(1). — P. 201–209.

591. Gaso M. I. Gamma dose rate and 226Ra activity concentrations in the soil around a Mexican radioactive waste–storage center. / M. I. Gaso, P. R. Gonzarlez, N. Segovia, E. Quintero. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2015. – №3. – P. 2321–2331.

592. Gaspar, L. Vertical and lateral distributions of $^{137}$Cs in cultivated and uncultivated soils on Mediterranean hillslopes. / Gaspar, L., Navas, A. // Geoderma. – 2013. – V. 207–208. – P. 131–143.

593. Gaspar, L Spatial distribution of fallout and lithogenic radionuclides controlled by soil carbon and water erosion in an agroforestry South–Pyrenean catchment./ Gaspar, L., Lizaga, I., Navas, A. // Geoderma. – 2021. – P. 391,114941

594. Gastberger, M. Soil–to–plant transfer of fallout caesium and strontium in Austrian lowland and Alpine pastures. / Gastberger, M., Steinhäusler, F., Gerzabek, M., Lettner, H., Hubmer, A. // J. Environ. Radioact. – 2000. – V. 49. – P. 217–233

595. Gray, S. N. Real-time measurement of uptake and translocation of 137Cs within mycelium of schizophyllum commune fr. by autoradiography followed by quantitative image analysis. / Gray, S. N., Dighton, J., Olsson, S., & Jennings, D. H. // New Phytologist. – 1995. – V. 129(3). – P. 449–465. doi:10.1111/j.1469–8137.1995.tb04316.x

596. Grossi C., Ballester J., Serrano I., Galmarini S., Camacho A., Curcol R., Morguí J.A., Rodo X., Duch M.A. Influence of long-range atmospheric transport pathways and climate teleconnection patterns on the variability of surface $^{210}$Pb and $^{7}$Be concentrations in southwestern Europe // Jour. of Envir. Rad. – 2016. –V. 165. – P. 103-114.

597. Guillén, J. Radioactivity in mushrooms: A health hazard?/ Guillén, J., & Baeza, A. // Food Chemistry. 2014. – V. 154. – P. 14–25. doi:10.1016/j.foodchem.2013.12.083

598. Gwynn, J. P. $^{210}$Po, $^{210}$Pb, $^{40}$K and $^{137}$Cs in edible wild berries and mushrooms and ingestion doses to man from high consumption rates of these wild foods. / Gwynn, J. P., Nalbandyan, A., & Rudolfsen, G. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – V. 116. – P. 34–41. doi:10.1016/j.jenvrad.2012.08.016

599. Hamideen, M.S. Natural radioactivity investigations in soil samples obtained from phosphate hills in the Russaifa region. / Jordan. M.S. Hamideen, J. Sharaf. // Radiation Physics and Chemistry. – 2012. – №81. – P. 1559–1562.

600. Harb S. Natural radioactivity and external gamma radiation exposure at the coastal red sea in Egypt. // Radiation Protection Dosimetry. – 2012. – V. 130. – №. 3. – P. 376–384.

601. Henner P. Soil–to–plant transfer factors of radioactive Ca, Sm and Pd isotopes: critical assessment of the use of analogies to derive best–estimates from existing non–specific data. / Henner P., Hurtevent P., Thiry Y. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2014. – V. 136. – P. 152–161.

602. Hernandez, F. Influence of major African dust intrusions on the $^{137}$Cs and $^{40}$K activities in the lower atmosphere at the Islandof Tenerife. / F. Hernandez, S. Alonso–Perez, J. Hernandez–Armas, E. Cuevas,L. Karlsson, P.M. Romero–Campos. // Atmospheric Environment. – 2005. – V. 39. – P. 4111–4118.

603. Hirono, Y. Time series changes in radiocaesium distribution in tea plants (Camellia sinensis (L.)) after the Fukushima Dai–ichi Nuclear Power Plant accident / Yuhei Hirono, Kunihiko Nonaka // Journal of Environmental Radioactivity. – 2016. – V. 152 – P. 119–126

604. Huseyin, A. On the radiological character of a coal–fired power plant at the town of Catalagzi, Turkey. / A. Huseyin, B. Ridvan. // Turkish J. Eng. Env. Sci. — 2008. - — №32. — P. 101–105

605. IAEA Annual Report, International Atomic Energy Agency. 2005.103 p.

606. IAEA International Atomic Energy Agency. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources Safety Series № 115.Vienna, 1996. 354p.

607. Isaksson, M. A 10–year study of the $^{137}$Cs distribution in soil and a comparison of Cs soil inventory with precipitation–determined deposition. / Isaksson, M., Erlandsson, B., Mattsson, S., // J. Environ. Radioact. – 2001. – V. 55. – P. 47–59

608. Iurian, A.–R. Uncertainty related to input parameters of $^{137}$Cs soil redistribution model for undisturbed fields. / Iurian, A.–R., Mabit, L., Cosma, C. // J. Environ. Radioact. – 2014. – V. 136. – P. 112–120.

609. Ivanić, M. Multi–element composition of soil, mosses and mushrooms and assessment of natural and artificial radioactivity of a pristine temperate rainforest system (slavonia, croatia). / Ivanić, M., Fiket, Ž., Medunić, G., Furdek Turk, M., Marović, G., Senčar, J., & Kniewald, G. // Chemosphere. 2019. – V. 215. – P. 668–677. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.10.108

610. James, J.P. Soil to leaf transfer factor for the radionuclides 226Ra, 40K, 137Cs and 90Sr at Kaiga region. / India. Joshy P. James, B.N. Dileep, P.M. Ravi, R.M. Joshi, T.L. Ajith, A.G. Hegde, P.K. Sarkar. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2011. – №102. – P. 1070–1077.

611. Janković Mandić, Lj. Distribution of lithogenic radionuclides in soils of the Belgrade region (Serbia). / Lj. Janković Mandić, R. Dragović, S. Dragović. // Journal of Geochemical Exploration. – 2010. – №105. – P. 43–49.

612. Ji Z., Investigation of mineral aerosols radiative effects over High Mountain Asia in 1990–2009 using a regional climate model / Z. Ji, S. Kang, Q. Zhang, Z. Cong, P. Chen, M. Sillanpää. // Atmospheric Research. – 2016. – V. 176–179. – P. 484–496.

613. Kahn, B. Leaching of Some Fission Products From Soil. // Analytical Chemistry. – 1956. –V. 28(2). – P. 216–218

614. Kapała, J. $^{7}$Be concentration in the near–surface layer of the air in Bialystok (north–eastern Poland) in the years 1992–2010 / Kapała, J., Karpińska, M., Mnich, S., Gromotowicz–Popławska, A., Kulesza, G. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – V. 187. – P. 40–44.

615. Karadeniz Ö., Karakurt H., Çakır R., Çoban F., Büyükok E., Akal C. Persistence of $^{137}$Cs in the litter layers of forest soil horizons of Mount IDA/Kazdagi, Turkey. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2015. – Vol. 139. – P.125-134.

616. Karadeniz, O. Soil–to–mushroom transfer of $^{137}$Cs, $^{40}$K, alkali–alkaline earth element and heavy metal in forest sites of izmir, turkey. / Karadeniz, O., & Yaprak, G. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2011a. – V. 288(1). – P. 261–270. doi:10.1007/s10967–010–0908–7

617. Karadeniz, Ö., & Yaprak, G. Activity concentrations of natural radionuclides and $^{137}$Cs in soils of coniferous forest sites in west Anatolia. // European Journal of Forest Research. – 2011b. – 130(2), 271–276. doi:10.1007/s10342–010–0428–6

618. Karadeniz, O. $^{137}$Cs, $^{40}$K, alkali–alkaline earth element and heavy metal concentrations in wild mushrooms from turkey. / Karadeniz, O., & Yaprak, G. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2010. – V. 285(3). – P. 611–619. doi:10.1007/s10967–010–0575–8

619. Karadeniz, O. Dynamic equilibrium of radiocesium with stable cesium within the soil–mushroom system in turkish pine forest. / Karadeniz, O., & Yaprak, G. // Environmental Pollution/ – 2007. – V. 148(1). – P. 316–324. doi:10.1016/j.envpol.2006.10.042

620. Karlsson, L. Using $^{137}$Cs and $^{40}$K to identify natural Saharan dust contributions to PM10 concentrations and air quality impairment in the Canary Islands. / L. Karlsson, F. Hernandez, S. Rodrıguez, M. Lopez–Perez, J. Hernandez–Armas, S. Alonso–Perez, E. Cuevas. // Atmospheric Environment. – 2008. – V. 42. – P. 7034–7042.

621. Kashchaeva E.A., Dergacheva E.V., Protsenko V.V., Pronina E.V., Saevsky A.I., Buraeva E.A., Mikhailova T.A.. The content of chemical elements in the atmosphere of Rostov–on–Don. // «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». LFPM– 2018, 20–24 сентября 2018 года, г. Ростов–на–Дону – г. Туапсе, Т. 1, ББК 32. 841, С 385–387.

622. Kashchaeva E.A. $^{7}$Be in the atmospheric surface layer / Kashchaeva E.A., Pronina E.V., Buraeva E.A.// Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2019. – Т. 1. – С. 235–237.

623. Khorzova L.I. Radiation situation at construction sector objects in Caucasus Mineral Waters region and prospects of its decrease / Khorzova L.I., Sidyakin P.A., Yanukyan E.G. // Procedia engineering. – 2016. – P. 2031–2035.

624. Kikuchi S. Temporal variation of $^{7}$Be concentrations in atmosphere for 8 y from 2000 at Yamagata, Japan: solar influence on the 7Be time series. / Kikuchi S., Sakurai H., Gunji S., Tokanai F. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2009. –V. 100. – P. 515–521.

625. Koarashi J. Factors affecting vertical distribution of Fukushima accident–derived radiocesium in soil under different land–use conditions. / Koarashi, J., Atarashi–Andoh, M., Matsunaga, T., Sato, T., Nagao, S., Nagai, H. // Sci. Total Environ. – 2012. – V. 431. – P. 392–401.

626. Kobayashi, R. Potassium supply reduces cesium uptake in konara oak not by an alteration of uptake mechanism, but by the uptake competition between the ions. / Kobayashi, R., Kobayashi, N. I., Tanoi, K., Masumori, M., & Tange, T. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2019. – V. 208–209. doi:10.1016/j.jenvrad.2019.106032

627. Koenig I., Comparative ecology of vascular plant, bryophyte and testate amoeba communities in four Sphagnum peatlands along an altitudinal gradient in Switzerland / I. Koenig, Feldmeyer–Christe E., Mitchell Edward A.D. // Ecological Indicators/ – 2015. – V. 54. – P. – 48–59.

628. Korobova, E. Experience of mapping spatial structure of Cs–137 in natural landscape and patterns of its distribution in soil toposequence. / Korobova, E., Romanov, S. // J. Geochem. Explor. – 2011. – V. 109. – P. 139–145.

629. Korobova E.M. Granulometric and mineralogic investigation for explanation of radionuclide accumulation in different size fractions of the yenisey floodplain soils. / Korobova E.M., Linnik V.G., Shkinev V.M., Dinu M.I., Chizhikova N.P., Alekseeva T.N., Brown J. // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – T. 142. – C. 49–59.

630. Kovacs T. Systematic survey of natural radioactivity of soil in Slovenia. / Tibor Kovacs, Gabor Szeiler, Ferenc Fabian, Richard Kardos, Asta Gregoric. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – № 122. – P. 70–78.

631. Kovaltsov G. A. A new model of cosmogenic production of radiocarbon $^{14}C$ in the atmosphere (англ.) / Kovaltsov G. A., Mishev A., Usoskin I. G. // Earth and Planetary Science Letters – 2012. – V. 337–338. – P. 114–120. – ISSN 0012–821X. – doi:10.1016/j.epsl.2012.05.036.

632. Kozhakhanov T.E. Accumulation of artificial radionuclides in agricultural plants in the area used for surface nuclear tests. / Kozhakhanov T.E., Lukashenko S.N., Larionova N.V. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2014. – V. 137. – P. 217–226.

633. Kozyrev D.A. Activity concentration of radionuclides in native and anthropogenic soils in Rostov agglomeration / Kozyrev D.A., Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Buraeva E.A., Tagiverdiev S.S., Dergacheva E.V. // Abstract book of 9th international congress Soils of Urban Industrial Traffic Mining and Military Areas (SUITMA 9) “Urbanization: a challenge and an opportunity for soil functions and ecosystem services”. – 2017. – P.345–347.

634. Kozyrev, D. Activity Concentration of Natural Radionuclides and Total Heavy Metals Content in Soils of Urban Agglomeratio. / Kozyrev, D., Gorbov, S., Bezuglova, O., Buraeva E., Tagiverdiev, S., Salnik, N.// Springer Geography. – 2021. – P. 111–122.

635. Kremenchutskii D.A. Influence of precipitation on the daily beryllium–7 ($^{7}Be$) activity concentration in the atmospheric surface layer. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – V. 237. – P. 106722

636. Krmar M. Beryllium–7 and $^{210}Pb$ atmospheric deposition measured in moss and dependence on cumulative precipitation. / Krmar M., Mihailović D.T., Arsenić I., Radnović D., Pap I. // Science of The Total Environment. – 2016. – V. 541. – P. 941–948

637. Krmar, M., Airborne radionuclides in mosses collected at different latitudes / M. Krmar, K. Wattanavatee, D. Radnović, J. Slivka, T. Bhongsuwan, M.V. Frontasyeva, S.S. Pavlov. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013a. – V. 117. – P. 45–48.

638. Krmar M. Correlations of natural radionuclides in soil with those in sediment from the Danube and nearby irrigation channels. / M. Krmar, E. Varga, J. Slivka. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013b. – №117. – P. 31–35.

639. Krmar M., Possible use of terrestrial mosses in detection of atmospheric deposition of $^{7}$Be over large areas. / M. Krmar, D. Radnović, S. Rakic, M. Matavuly // Journal of Environmental Radioactivity – 2007 – V. 95. – P. 53–61.

640. Krstic, D. Vertical profile of $^{137}$Cs in soil. / Krstic, D., Nikezic, D., Stevanovic, N., Jelic, M. // Appl. Radiat. Isot. – 2004. – V. 61. – P. 1487–1492.

641. Kuzmenkova, N.V. Occurrence forms of $^{137}$Cs in soils of the northwestern Kola Peninsula. / Kuzmenkova, N.V., Vlasova, I.E., Kalmykov, S.N., //Voprosy Radiatsionnoi Bezopasnosti. – 2011. – V. 4. – P. 3–10

642. Larionova, N.V. Transfer parameters of radionuclides from soil to plants at the area of craters produced by underground nuclear explosions at the Semipalatinsk test site. / Larionova, N.V., Lukashenko, S.N., Lyakhova, O.N., Aidarkhanova, Kunduzbayeva, A.Y., Kabdyrakova, A.M., Krivitskiy, P.Y., Polevik, V.V., Aidarkhanov, A.O. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – V. 237. – P. 106684.

643. La Verde, G. Measurement of Natural Radionuclides in Drinking Water and Risk Assessment in a Volcanic Region of Italy, Campania. / La Verde, G.; Artiola, V.; D'Avino, V.; La Commara, M.; Panico, M.; Polichetti, S.; Pugliese, M. // Water. – 2021. – V. 13. – P. 3271. https://doi.org/10.3390/w13223271

644. Lebedeva, (Verba) M. Micromorphology of solonetzic horizons as related to environmental events in the Caspian Lowland./ Lebedeva, (Verba) M., Gerasimova, M., Konyushkova, M., // J. Mount. Sci. – 2009. – V. 6 (2). – P. 132–138.

645. Lebedyte, M. Variations of the ambient dose equivalent rate in the ground level air. / Lebedyte, M., Butkus, D., Morkūnas, G. // J. Environ. Radioact. – 2003. – V. 64. – P. 45–57.

646. Lee, S.K. Radiological monitoring: terrestrial natural radionuclidesin Kinta District, Perak, Malaysia. / S.K. Lee, H. Wagiran, A.T. Ramli, N.H. Apriantoro, A.K. Wood. // Journal of Environment Radioactivity. – 2009. – №100. – P. 368–374.

647. Lee J. K. Assessment of wind characteristics and atmospheric dispersion modeling of 137Cs on the Barakah NPP area in the UAE. / J. K. Lee, J. C. Kim, K. J. Lee, M. Belorid, P. Beeley, J. I. Yun. // Nuclear engineering and technology. – 2014. – V. 40. – P. 557–568.

648. Lee, S.H. Distribution characteristics of $^{137}Cs$, Pu isotopes and $^{241}Am$ in soil in Korea. / Lee, S.H., Oh, J.S., Lee, J.M., Lee, K.B., Park, T.S., Lujaniene, G., Valiulis, D., Šakalys, J. //App. Radiat. Isot. 2013. – V. 81. – P. 315–320.

649. Lee Celine Siu Lan, Biomonitoring of trace metals in the atmosphere using moss (Hypnum plumaeforme) in the Nanling Mountains and the Pearl River Delta, Southern China / Celine Siu Lan Lee Xiangdong Li, Gan Zhang, XinzhiPeng, Li Zhang // Atmospheric Environment. – 2005. – V. 39. – P. 397–407.

650. Lettner H., Griesebner A., Peer T., Hubmer A. K., Pintaric M. 2006. Altitude dependent $^{137}Cs$ concentrations in different plant species in alpine agricultural areas. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2006. – Vol. 86. – P. 12-30.

651. Legarda, F. Inventory and vertical migration of $^{137}Cs$ in Spanish mainland soils. / Legarda, F., Romero, L.M., Herranz, M., Barrera, M., Idoeta, R., Valiño, F., Olondo, C., Caro, A. // J. Environ. Radioact. – 2011. – V. 102. – P. 589–597.

652. Lehto, J. $^{137}Cs$, $^{239,240}Pu$ and $^{241}Am$ in boreal forest soil and their transfer into wild mushrooms and berries. / Lehto, J., Vaaramaa, K., & Leskinen, A. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – V. 116. – P. 124–132. doi:10.1016/j.jenvrad.2012.08.012

653. Leppanen A.–P. $^{7}Be$ in Finland during the 1999–2001 Solar maximumand 2007–2009 Solar minimum. / Leppanen A.–P., Paatero J. // Journal of Atmospheric and Solar–Terrestrial Physics. – 2013. – V. 97. – P. 1–10.

654. Li, J. Applicability study of using in–situ gamma–ray spectrometry technique for $^{137}Cs$ and $^{210}Pb_{ex}$ inventories measurement in grassland environments. / Li, J., Li, Y., Wang, Y., Wu, J., // Appl. Radiat. Isot. – 2010. – V. 68. – P. 1143–1149

655. Liu, H. Investigation of the radioactivity level of the ambient environment of Anren Bone–coal Power Station. / H. Liu, X. Wu, J. Ye, L. Wang. // Radiation Protection Bull. – 1999. – №19. – P. 19–23.

656. Lozano. Meteorological factors influencing the $^{7}Be$ and $^{210}Pb$ concentrations in surface airfrom the southwestern Iberian Peninsula. / Lozano R.L., Hernández–CeballosM.A., San MiguelE.G., AdameJ.A., BolívarJ.P. // Atmospheric Environment.– 2012. – V. 63. – P. 168–178.

657. Lyakhova N.V., Radionuclides in atmospheric aerosols in Rostov–on–Don / Lyakhova N.V., Ritter I.V., Shvetsova D.A., Erchikhin A.D., Buraeva E.A.// Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2019. – T. 2. – C. 5–6.

658. Mabit, L. Spatial variability of erosion and soil organic matter content estimated from $^{137}$Cs measurements and geostatistics. / Mabit L., Bernard C., Makhlouf M., Laverdiere M.R. // Geoderma. – 2008. – V. 145. – P. 245–251.

659. Malikova I.N. Distribution of radionuclides in moss–lichen cover and needles on the same grounds of landscape–climatic zones of Siberia / Malikova I.N., Strakhovenko V.D., Shcherbov B.L. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2019. – V. 198. – P.64–78

660. Manigandan, P.K. Evaluation of radionuclides in the terrestrial environment of Western Ghats. / P.K. Manigandan, B. Chandar Shekar. // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. – 2014. – № 98. – P. 1–7.

661. Martynenko A.A. The contribution of radon to the radiation exposure of the population/ Martynenko A.A., Kashchaeva., E.A., Buraeva E.A. // Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». – 2019. – T. 2. – C. 34–35

662. Martinez, C. Relationships between $^{137}$Cs and soil organic carbon (SOC) in cultivated and never–cultivated soils, an Australian example. / Martinez C., Hancock G.R., Kalma J.D. // Geoderma. – 2010. – V. 158. – P. 137–147.

663. Mascanzoni, D. Long–term transfer of $^{137}$Cs from soil to mushrooms in a semi–natural environment. //Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2009. – V. 282(2). – P. 427–431. doi:10.1007/s10967–009–0191–7

664. Matano T., Katayama K., Takeishi T. Accumulation of organically bound tritium in Arabidopsis thaliana cultivated in soil containing tritiated water. // Fusion Engineering and Design V. 173, December 2021, 112787 https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2021.112787

665. Matisoff G. Downward migration of Chernobyl–derived radionuclides in soils in Poland and Sweden. / Matisoff G., Ketterer M.E., Rosen K., Mietelski J.W., Vitko L.F., Persson H., Lokas E., // Appl. Geochem. – 2011. – V. 26. – P. 105–115.

666. Matsunaga T. Comparison of the vertical distributions of Fukushima nuclear accident radiocesium in soil before and after the first rainy season, with physicochemical and mineralogical interpretations. / Matsunaga T., Koarashi, J., Atarashi–Andoh, M., Nagao, S., Sato, T., Nagai, H., // Sci. Total Environ. – 2013. – V. 447. – P. 301–314.

667. McHenry J.R. Estimating field erosion losses from fallout caesium measurements. erosion and sediment transport in inland waters. / McHenry, J.R., Ritchie, J.C., // IAHS Publication. – 1977. – V. 122. – P. 26–33.

668. McKnight T.L.Climate Zones and Types: The Köppen System / McKnight T.L., Hess D.. // Physical Geography: A Landscape Appreciation (англ.). – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. – 2000. – P. 200–201.

669. Melgar M. J. Natural radioactivity and total K content in wild–growing or cultivated edible mushrooms and soils from galicia (NW, spain). / Melgar, M. J., & García, M. Á. // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – V. 28(38). – P. 52925–52935. doi:10.1007/s11356–021–14423–2

670. Mikhailova T. A. Climatic Factors of the Radionuclide Composition of Atmospheric Aerosols in Rostov–on–Don. / Mikhailova T. A., Kaschaeva E. A., Masharov K. S., Buraeva E. A., Popov Yu. V., Verbenko I. A. // Atmospheric and Oceanic Optics. – 2021. – V. 34. – № 1. – P. 14–18. DOI: 10.1134/S1024856021010085

671. Minkina T. M. Fractional and Group Composition of the Mn, Cr, Ni, and Cd Compounds in the Soils of Technogenic Landscapes in the Impact Zone of the Novocherkassk Power Station. / Minkina T. M., Motuzova G. V., Mandzhieva S. S., Nazarenko O. G., Burachevskaya M. V., and Antonenko E. M. // Eurasian Soil Science. – 2013. – V. 46. – № 4. – P. 375–385

672. Moreno V. Radon levels in groundwaters and natural radioactivity in soils of the volcanic region of La Garrotxa, Spain. / V. Moreno, J. Bach, C. Baixeras, Ll. Font. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2014. – №128. – P. 1–8.

673. Mostafa, M.Y.A., Kadhim, N.F., Ammer, H., Baqir, Y. The plant transfer factor of natural radionuclides and the soil radiation hazard of some crops // Environmental Monitoring and Assessment. – 2021. – V. 193 (6). – P. 320.

674. Movsisyan, N., Demirtchyan, G., Pyuskyulyan, K., Belyaeva, O. Identification of radionuclides' altitudinal distribution In soil and mosses In highlands of Armenia // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – 231,106550

675. Muñoz–Muñoz, J.G. Comparison of soil to plant transfer of uranium, radium and $^{210}$Po to wheat using three cultivation methods: hydroponics, plantlet and pot cultures. / Muñoz–Muñoz, J.G., Guillén, J., Salas, A. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2021. – V. 328 (1). – P. 359–367.

676. Muto, K. Characterizing vertical migration of 137Cs in organic layer and mineral soil in Japanese forests: Four–year observation and model analysis. / Muto, K., Atarashi–Andoh, M., Matsunaga, T., Koarashi, J. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2019. – V. 208–209. – P.106040

677. Nabyvanets, Y.B. Distribution of $^{137}$Cs in soil along Ta–han River Valley in Tau–Yuan County in Taiwan. / Nabyvanets, Y.B., Gesell, T.F., Jen, M.H., Chang, W.P. // J. Environ. Radioact. – 2000. – V.54. – P. 391–400.

678. Nada, A. Distribution of radionuclides in soil samples from a petrified wood forest in El–Qattamia, Cairo, Egypt. / A. Nada, T.M. Abd–El Maksoud, M. Abu–Zeid Hosnia, T. El–Nagar, S.Awad. // Applied Radiation and Isotopes. – 2009. – №67. – P. 643–649.

679. Nada, A. The effect of uranium migration on radionuclide distributions for soil samples at the El–Gor area, Sinai, Egypt. / A. Nada, H.A.S. Aly. // Applied Radiation and Isotopes. – 2014. – №84. – P. 79–86.

680. Nagai H. Prodaction rates of $^{7}$Be and $^{10}$Be in the atmosphere. / Nagai H., Tada W., Kobayashi T. // Nucl.Instr and Methods in Phys. Res. – 2000.– V. 172B. – P. 796–801.

681. Nakanishi, T. $^{137}$Cs vertical migration in a deciduous forest soil following the Fukushima Dai–ichi Nuclear Power Plant accident. / Nakanishi, T., Matsunaga, T., Koarashi, J., Atarashi–Andoh, M. // J. Environ. Radioact. –2014. – V. 128. – P.9–14.

682. Nakashima, K. Radiocesium concentrations in wild mushrooms collected in kawauchi village after the accident at the fukushima daiichi nuclear power plant. / Nakashima, K., Orita, M., Fukuda, N., Taira, Y., Hayashida, N., Matsuda, N., & Takamura, N. // PeerJ. – 2015. – V. 11. doi:10.7717/peerj.1427

683. Navas, A. Variability in $^{137}$Cs inventories and potential climatic and lithological controls in central Ebro valley, Spain. / Navas, A., Walling, D.E., Quine, T., Machin, J., Soto, J., Domenech, S., Lopez–Vicente, M. // J. Radioanal. Nucl. Chem. – 2007. – V. 274 (2). – P. 331–339.

684. Navas, A. Patterns of soil organic carbon and nitrogen in relation to soilmovement under different land uses in mountain fields (South Central Pyrenees). / Navas, A., Gaspar, L., Quijano, L., Lopez–Vicente, M., Machin, J. // Catena. – 2011a. – V. – 94. – P. 43–52

685. Navas, A. Spatial distribution of natural and artificial radionuclides at the catchment scale (South Central Pyrenees). / A. Navas, L. Gaspar, M. Lopez–Vicente, J. Machin. // Radiation Measurements. – 2011b. – №46. – P. 261–269.

686. Nie, X., Gao, S., Chen, Y., Zhang, H. Characteristics of soil erosion and nutrients evolution under coal mining disturbance in aeolian sand area of Northwest China. // Nongye Gongcheng Xuebao /Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering – 2018. – V. 34(2). – P. 127–134

687. Nifontova, M. G., Concentrations of Long–lived Artificial Radionuclides in the Moss–Lichen Cover of Mountain Plant Communities // Russian Journal of Ecology. – 2000. – V. 31. – P. 182–185.

688. Papastefanou, C. Escaping radioactivity from coal–fired power plants due to coal burning and the associated hazards: a review. / C. Papastefanou. // Journal of environmental radioactivity. — 2010. — №101. — P. 191–200.

689. Park, K.–H. $^{134}$Cs and $^{137}$Cs radioactivity in soil and moss samples of JejuIsl and after Fukushima nuclear reactor accident. / Park, K.–H., Kang, T.–W., Kim, W.–J., Park, J.W., // Appl. Radiat. Isot. – 2013. – V. 81. – P. 379–382.

690. Parsons, A.J. What can we learn about soil erosion from the use of 137Cs? / Parsons, A.J., Foster, I.D.L. // Earth Sci. Rev. – 2011. – V. 108. – P. 101–113.

691. Pelgunov, A. N., Radionuclide accumulation in mushrooms over the territory of pleshcheyevo lake national park. / Pelgunov, A. N., & Pelgunova, L. A. // Biology Bulletin. – 2016. – V. 43(10). – P. 1389–1392. doi:10.1134/S1062359016100137

692. Pinero Garcia F. $^{7}$Be behaviour in the atmosphere of the city of Granada January 2005 to December 2009. / Pinero Garcia F., Ferro Garcia M.A., Azahra M. // Atmospheric Environment. – 2012. – V. 47. – P. 84–91.

693. Popović D., Trace elements and radionuclides in urban air monitored by moss and tree leaves / D. Todorović, M. Aničić, M. Tomašević, J. Nikolićand J. Ajtić // Journal of Environmental Radioactivity. – 2010. – V. 99. – P. 196–201.

694. Popovych, V. The content of heavy metals, radionuclides and nitrates in the fruiting bodies of oyster mushroom distributed within the urban ecosystem. / Popovych, V., Les, M., Popovych, N., & Kucheryavy, V. // Ecologia Balkanica.– 2020. – V. 12(1). – P. 99–109. Retrieved from www.scopus.com

695. Pozolotina V.N., Molchanova I.V., Karavaeva E.N., Mikhaylovskaya L.N., Antonova E.V. Radionuclides in terrestrial ecosystems of the zone of Kyshtym accident in the Urals. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2010. – V. 101, – I. 6. – P. 438–442.

696. Prand–Stritzko, B., Characteristics of radiocesium contaminations in mushrooms after the fukushima nuclear accident: Evaluation of the food monitoring data from march 2011 to march 2016. / Prand–Stritzko, B., & Steinhauser, G. // Environmental Science and Pollution Research. – 2018. – V.25(3). – P. 2409–2416. doi:10.1007/s11356–017–0538–5

697. Puissant J., Seasonal influence of climate manipulation on microbial community structure and function in mountain soils / J. Puissant, L. Cécillon, R. Mills, B. Robroek, K. Gavazov, S. De Danieli, T. Spiegelberger, A. Buttler, Jean–Jacques Brun. // Soil Biology and Biochemistry. – 2015. – V. 80. – P. 296–305.

698. Pulhani V.A. Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil. / V.A. Pulhani, S. Dafauti, A.G. Hegde, R.M. Sharma, U.C. Mishra // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005.– V. 79. – I. 3. – P. 331–346.

699. Rafferty B., Mechanisms of $^{137}$Cs migration in coniferous forest soils// B. Rafferty, M. Brennan, D. Dawson, D. Dowding//Journal of Environmental Radioactivity. – 2000 – P. 131–143.

700. Rafferty, B. Fallout 137Cs and natural $^{40}$K in fungal fruitbodies in ireland. / Rafferty, B., Dowding, P., & Dawson, D// Irish Journal of Agricultural and Food Research. – 1999. – V. 38(1). – P. 101–112. Retrieved from www.scopus.com

701. Rakić, M. Radionuclides in some edible and medicinal macrofungal species from tara mountain, serbia. / Rakić, M., Karaman, M., Forkapić, S., Hansman, J., Kebert, M., Bikit, K., & Mrdja, D.// Environmental Science and Pollution Research. 2014. – V. 21(19). – P. 11283–11292. doi:10.1007/s11356–014–2967–8

702. Ramadan, A.B. Soil–to–plant uptake of $^{137}$Cs and $^{85}$Sr in some Egyptian plants grown in Inshas region, Egypt. / Ramadan, A.B., Diab, H.M., Monged, M.H.E. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021a. – V. 234. – P. 106632.

703. Ramadan A.B. Distribution of $^{137}$Cs and $^{85}$Sr in selected Egyptian plants after foliar contamination / A.B. Ramadan, H.M. Diab, Mohamed H.E. Monged // Journal of Environmental Radioactivity – 2021b. - № 106648. – V. 235 - 236.

704. Ramola R.C. Distribution of natural radionuclide along Main Central Thrust in Garhwal Himalaya. / R.C. Ramola, Manjulata Yadav, G.S. Gusain. // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. – 2014. – №7. – P 614–619.

705. Ravisankar, R. Natural radioactivity in soil samples of Yelagiri Hills, Tamil Nadu, India and the associated radiation hazards. / R. Ravisankar, A. Chandrasekaran, P. Vijayagopal, B. Venkatraman, G. Senthilkumar, P. Eswaran, A. Rajalakshm. // Radiation Physics and Chemistry. – 2012. – №81. – P. 1789–1795.

706. Rezzoug, S. Evaluation of $^{137}$Cs fallout from the Chernobyl accident in a forest soil and its impact on Alpine Lake sediments, Mercantour Massif, S.E. France. / Rezzoug, S., Michel, H., Fernex, F., Barci–Funel, G., Barci, V. //J. Environ. Radioact. – 2006. – V. 85. – P. 369–379.

707. Rigol, A. Overview of the effect of organic matter on soil – radicaesium interaction, implications in root uptake. / Rigol, A., Vidal, M., Rauret, G. // J. Environ. Radioact. – 2002. – V.58. – P.191–216.

708. Rodriguez, P.B. Assessment of the vertical distribution of natural radionuclides in a mineralized uranium area in south–west Spain. / P.B. Rodriguez, F.V. Tome, J.C. Lozano. // Chemosphere. — 2014. — №95. — P. 527–534.

709. Rosén, K., Öborn, I., Lönsjö, H. Migration of radiocaesium in Swedish soil profiles after the Chernobyl fallout in Sweden 1987–1995. J. Environ. Radioact. – 1999. – V. 46 (1). – P. 45–66.

710. Rout, S. Transfer of radionuclides from soil to selected tropical plants of Indian Subcontinent: A review. / Rout, S., Yadav, S., Pulhani, V. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – V. 235–236. – P. 106652.

711. Sabyasachi R.Transfer of radionuclides from soil to selected tropical plants of Indian Subcontinent: A review / Sabyasachi Rout, Sonali Yadav, Vandana Pulhani // Journal of Environmental Radioactivity – 2021. - № 106652. – P. 235-236.

712. Salazar, S. Radioactivity in air around nuclear facilities in mexico. / Salazar, S., Alvarez, C., Silva, H. A., Dorantes, C., Gaso, M. I., Segovia, N., & Perez, I. // Environment International. – 1994. – V. 20(6). – P. 747–756. doi:10.1016/0160–4120(94)90307–7

713. Saleh, H. Natural radioactivity distribution of southern part of Jordan (Ma'an) Soil. / Saleh, H., Abu Shayeb, M. // Annals of Nuclear Energy. – 2014. – 65. – P. 184–189.

714. Sánchez I.A., A comparison of microclimate and environmental modification produced by hedgerows and dehesa in the Mediterranean region: A study in the Guadarrama region, Spain / I.A. Sánchez, D. McCollin. // Landscape and Urban Planning. – 2015. – V. 143. – P. 230–237.

715. Sanzharova, N.I. Role of chemistry in the remediation of agricultural lands subjected to radioactive pollution // Ross. Khim. Zh. – 2005. – V. 49 (3). – P.26–34.

716. Sato M. Use of different surface covering materials to enhance removal of radiocaesium in plants and upper soil from orchards in Fukushima prefecture. / Mamoru Sato, Akai Hiroko, Yuichi Saito, Tsugiko Takase, Hidetoshi Kikunaga, Nobuhito Sekiya, Tsutomu Ohtsuki, Katsuhiko Yamaguchi // Journal of Environmental Radioactivity. – 2019. – V. 196. – P. 204–211

717. Sawidis T., Cesium–137 monitoring using mosses from W. Macedonia, N. Greece / T. Sawidis, L. Tsikritzis, K. Tsigaridas // Journal of Environmental Management. – 2009. – V. 90. – P. 2620–2627.

718. Schimmack, W. Migration of fallout radiocaesium in a grassland soil from 1986 to 2001. Part II: evaluation of the activity–depth profiles by transport models. / Schimmack, W., Feria Marquez, F. // Sci. Total Environ. – 2006. – V. 368. – P. 863–874.

719. Schimmack, W. Migration of fallout radiocaesium in a grassland soil from 1986 to 2001. Part I: Activity–depth profiles of $^{134}$Cs and $^{137}$Cs. / Schimmack, W., Schultz, W. //Sci. Total Environ. – 2006. – V. 368. – P. 853–862.

720. Schroder W., Metal accumulation in mosses across national boundaries: Uncovering and ranking causes of spatial variation / W. Schroder, R. Pesch, C. Englert, H. Harmens, I. Suchara, Harald G. Zechmeister, L. Thoni, B. Manˇkovská, Z. Jeran, K. Grodzinska, R. Alber, // Environmental Pollution.– 2008.– V. 151. –P.377–388.

721. Schuller, P. Global fallout $^{137}$Cs accumulation and vertical migration in selected soils from South Patagonia. / Schuller, P., Bunzl, K., Voigt, G., Ellies, A., Castillo, A.// J. Environ. Radioact. – 2004. – V. 71. – P. 43–60.

722. Scopus. [Электронный ресурс] Доступ:www.scopus.com Доступен: 15.06.2022.

723. Selvasekarapandian, S. Natural radionuclide distribution in soils of Gudalore, India. / Selvasekarapandian, S., Sivakumar, R., Manikandan, N.M., Meenakshisundaram, V., Raghunath, V.M., Gajendran, V.// Applied Radiation and Isotopes. – 2000. – V. 52. – P. 299 – 306.

724. Semioshkina N. Soil - Plant transfer of radionuclides in arid environments / N. Semioshkina, G. Voigt // Journal of Environmental Radioactivity – 2021. - № 106692. – P. 237.

725. Shaw, G. Radionuclide migration in forest ecosystems – results of a model validation study. / Shaw, G., Venter, A., Avila, R., Bergman, R., Bulgakov, A., Calmon, P., Thiry, Y. (2005). // Journal of Environmental Radioactivity. – 2005. – V. 84(2). – P. 285–296. doi:10.1016/j.jenvrad.2003.09.006

726. Shinonaga, T. Vertical migration of $^{60}Co$, $^{137}Cs$ and $^{226}Ra$ in agricultural soils as observed in lysimeters under crop rotation. / Shinonaga, T., Schimmack, W., Gerzabek, M.H., // J. Environ. Radioact. – 2005. – V. 79. – P. 93–106.

727. Shiryaeva A.A., Buraeva E.A. Distribution of natural and artificial radionuclides in soils of Adygea // В сб.: Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития) («LFPM–2019»). Труды Восьмого Международного междисциплинарного молодежного симпозиума (Ростов–на–Дону, 25–27 сентября 2019 г.): в 2 т. – 2019. – Т. 2. С. 285–287.

728. Sivtsov A.V., Dergacheva E.V., Buraeva E.A.. Annual effective dose from radon in construction materials // В сб «Physics of lead–free piezoactive and relative materials. (Analysis of current state and prospects of development)». LFPM– 2018 – 2018. – Т. 2. – С. 308–310.

729. Sobakin P. I. Geographical Features of Pollution of the Territory of Yakutia With Cesium–137/ Sobakin P. I., Chevychelov A. P., Gerasimov Ya. R. // Geography and Natural Resources. – 2019. – V. 40. – P. 151–161.

730. Sokolik, G.A. Biological availability of 238U, 234U and 226Ra for wild berries and meadow grasses in natural ecosystems of Belarus. / G.A Sokolik, S.V Ovsiannikova, K.V Voinikava, T.G Ivanova, M.V Papenia. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2014. – №127. – P. 155–162.

731. Song, G. Natural radioactivity levels in topsoil from the Pearl River Delta Zone, Guangdong, China. / Song, G., Chen, D., Tang, Z., Zhang, Z., Xie, W., // J. Environ. Radioact. – 2012. – V. 103. – P. 48–53.

732. Soons J.M., Quaternary vegetation and climate changes on Banks Peninsula, South Island, New Zealand / J.M Soons, N.T Moar, J Shulmeister, H.D Wilson, J.A Carter. // Global and Planetary Change. – 2002. – V. 33. – I. 3–4. – P. 301–314.

733. Šprem N. Dietary items as possible sources of 137Cs in large carnivores in the Gorski Kotar forest ecosystem, Western Croatia. / Šprem N., Piria M., Barišić D., Kusak J., Barišić D. // Science of The Total Environment. –2016. – V. 542. – Part A. – P. 826–832

734. Staunton, S. Possible role of organic matter in radiocaesium adsorption in soils. / Staunton, S., Dumat, C., Zsolnay, A. // J. Environ. Radioact. – 2002 – V.58. – P. 163–173.

735. Stoulos S., Ioannidou A., Vagena E., Koseoglou P., Manolopoulou M. Post-Chernobyl $^{137}$Cs in the atmosphere of Thessaloniki: a consequence of the financial crisis in Greece // J. Environ. Radioactivity. – 2014. – Vol. 128. – P. 68–74.

736. Srilatha M. C. Measurement of natural radioactivity and radiation hazard assessment in the soil samples of Ramanagara and Tumkur districts, Karnataka, India. / M. C. Srilatha, D. R. Rangaswamy, J. Sannappa. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2015. – №1. – P. 993–1003.

737. Steiner, M. The role of fungi in the transfer and cycling of radionuclides in forest ecosystems. / Steiner, M., Linkov, I., & Yoshida, S. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2002. – V. 58(2–3). – P. 217–241. doi:10.1016/S0265–931X(01)00067–4

738. Steinhauser, G. Assessment of the effectiveness of the post–fukushima food monitoring campaign in the first year after the nuclear accident: A hypothesis. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2016. – V. 151. – P. 136–143. doi:10.1016/j.jenvrad.2015.09.013

739. Steinhauser, G. A simple and rapid method for reducing radiocesium concentrations in wild mushrooms (cantharellus and boletus) in the course of cooking./ Steinhauser, G., & Steinhauser, V. // Journal of Food Protection. – 2016. – V. 79(11). – P. 1995–1999. doi:10.4315/0362–028X.JFP–16–236

740. Stobinski, M. Preliminary studies on the spatial distribution of artificial $^{137}$Cs and natural gamma radionuclides in the region of the Ojców National Park, Poland. / Stobinski, M., Jedrzejek, F., Kubica, B. // Nukleonika. – 2018. – V. 63(4). – P. 105–111.

741. Strok M. Fractionation of natural radionuclides in soils from the vicinity of a former uranium mine Zirovski vrh, Slovenia / Strok M., Smodis B. // J. Environ. Radioactivity. – 2010. –№ 1. – V. 101. – P. 22–28.

742. Strok, M. Soil–to–plant transfer factors for natural radionuclides in grass in the vicinity of a former uranium mine. / M. Strok, B. Smodis. // Nuclear Engineering and Design. – 2013. – №261. – P. 279–284.

743. Strumińska–Parulska, D. A review of the occurrence of alpha–emitting radionuclides in wild mushrooms. / Strumińska–Parulska, D., & Falandysz, J. //International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – V. 17(21). – P. 1–20. doi:10.3390/ijerph17218220

744. Strumińska–Parulska, D. Beta–emitting radionuclides in wild mushrooms and potential radiotoxicity for their consumers. / Strumińska–Parulska, D., Falandysz, J., & Moniakowska, A. // Trends in Food Science and Technology. – 2021. – V. 114. – P. 672–683. doi:10.1016/j.tifs.2021.06.015

745. Strumińska–Parulska, D. Bolete mushroom boletus bainiugan from yunnan as a reflection of the geographical distribution of $^{210}$Po, $^{210}$Pb and uranium ($^{234}$U, $^{235}$U, $^{238}$U) radionuclides, their intake rates and effective exposure doses. / Strumińska–Parulska, D., Olszewski, G., Moniakowska, A., Zhang, J., & Falandysz, J. // Chemosphere. – 2020. – V.253. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.126585

746. Strumińska–Parulska, D. I. $^{210}$Po and $^{210}$Pb bioaccumulation and possible related dose assessment in parasol mushroom (macrolepiota procera). / Strumińska–Parulska, D. I., Olszewski, G., & Falandysz, J. //Environmental Science and Pollution Research. – 2017. – V. 24(34). – P. 26858–26864. doi:10.1007/s11356–017–0458–4

747. Sushkova S. Environmental pollution of soil with PAHs in energy producing plants zone. / Sushkova Svetlana, Minkina Tatiana, Deryabkina Irina, Rajput Vishnu, Antonenko Elena, Nazarenko Olga, Yadav Kumar Brijesh , Hakki Erdogan, Mohan Dinesh. // Science of the Total Environment. – 2019. – 655. – P. 232–241

748. Sýkora I., Holý K., Jeskovský M., Müllerova M., Bulko M., Povinec P.P. Long-term variations of radionuclides in the Bratislava air // Jour. of Envir. Rad. – 2017. – V. 166. – P. 27-35.

749. Szabó K. Z., Udvardi B., Horváth Á., Bakacsi Z., Pásztor L., Szabó J., Laczkó L., Szabó C. Cesium-137 concentration of soils in Pest County, Hungary. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2012. – Vol. 110. – P. 38-45.

750. Szymańska, K. $^{210}$Po and $^{210}$Pb in forest mushrooms of genus leccinum and topsoil from northern poland and its contribution to the radiation dose. / Szymańska, K.,

Falandysz, J., Skwarzec, B., & Strumińska–Parulska, D. // Chemosphere. – 2018. – V. 213. – P. 133–140. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.09.022

751. Tagami, K. Aggregated transfer factor of $^{137}$Cs in wild edible mushrooms collected in 2016–2020 for long–term internal dose assessment use. / Tagami, K., Yasutaka, T., Takada, M., & Uchida, S. //Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – P.237. doi:10.1016/j.jenvrad.2021.106664

752. Taira, Y. Current concentration of artificial radionuclides and estimated radiation doses from $^{137}$Cs around the chernobyl nuclear powerplant, the semipalatinsk nuclear testing site, and in nagasaki. / Taira, Y., Hayashida, N., Brahmanandhan, G. M., Nagayama, Y., Yamashita, S., Takahashi, J., Takamura, N. //Journal of Radiation Research. – 2011. – V. 52(1). – P. 88–95. doi:10.1269/jrr.10104

753. Taira, Y. Evaluation of environmental contamination and estimated exposure doses after residents return home in kawauchi village, fukushima prefecture. / Taira, Y., Hayashida, N., Orita, M., Yamaguchi, H., Ide, J., Endo, Y., Takamura, N. //Environmental Science and Technology. – 2014. – V. 48(8). – P. 4556–4563. doi:10.1021/es404534y

754. Taira, Y. Evaluation of environmental contamination and estimated radiation doses for the return to residents' homes in kawauchi village, fukushima prefecture./ Taira, Y., Hayashida, N., Yamaguchi, H., Yamashita, S., Endo, Y., & Takamura, N. // PLoS ONE. – 2012. – V. 7(9). doi:10.1371/journal.pone.0045816

755. Takahashi, J. Six–year monitoring of the vertical distribution of radiocesium in three forest soils after the Fukushima Dai–ichi Nuclear Power Plant accident. / Takahashi, J., Onda, Y., Hihara, D., Tamura, K. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2019. –V. 210. – P. 105811

756. Tans P.P. Natural atmospheric $^{14}$C variation and the Suess effect (англ.) / Tans P.P., de Jong A.F.M., Mook W.G. // Nature : journal. – 1979. – V. 280, № 5725. – P. 826–828.

757. Taskin, H. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. / H. Taskin, M. Karavus, P.A, A. Topuzoglu, S. Hidiroglu, G. Karahan. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2009. – №100. – P. 49–53.

758. Theobald A., Trends in synoptic circulation and precipitation in the Snowy Mountains region, Australia, in the period 1958–2012 / A. Theobald, H. McGowan, J. Speirs. // Atmospheric Research. – 2016. – V. 169. – P. 434–448.

759. Todorovic D. Concentration measurements of $^{7}$Be and $^{137}$Cs in ground level air in the Belgradecity area. /Todorovic D., Popovic D., Djuric G.// Environment International. – 1999. – №1. – V. 25. – P. 59–66.

760. Todorovic, D. $^{7}$Be and $^{210}$Pb concentration ratio in ground level air in Belgrade area. / Todorovic, D., Popovic, D., Djuric, G., Radenkovic, G. //J. Environ. Radioactivity –2005. – V. 79. – P. 297–307.

761. Topcuoğlu S., Monitoring of radionuclide concentrations in marine algae from the Turkish Bllack Sea Coast and Bosphorus during the period of 1984–2001. // J. Black Sea Mediterranean Environment. – 2005. – V. 11. – P. 195–204.

762. Toriyama, J. Distribution of radiocesium in different density fractions of temperate forest soils in Fukushima. / Toriyama, J., Kobayashi, M., Hiruta, T., Shichi, K. // Forest Ecology and Management. – 2018. – 409. – P. 260–266.

763. Turhan, Ş., Distribution of terrestrial and anthropogenic radionuclides in Turkish surface soil samples. / Turhan, Ş., Kose, A., Varinlioğlu, A., Şahin, N.K., Arıkan, İ., Oğuz, F., Yucel, B., Ozdemir, T., // Geoderma. – 2012. – V.187–188. – P.117–124.

764. Tuo, F. Radionuclides in mushrooms and soil–to–mushroom transfer factors in certain areas of china. / Tuo, F., Zhang, J., Li, W., Yao, S., Zhou, Q., & Li, Z. //Journal of Environmental Radioactivity. 2017. – V. 180. – P. 59–64.

765. Türkekul, İ. Interpolated mapping and investigation of environmental radioactivity levels in soils and mushrooms in the middle black sea region of turkey. / Türkekul, İ., Yeşilkanat, C. M., Ciriş, A., Kölemen, U., & Çevik, U. //Isotopes in Environmental and Health Studies. – 2018. – V. 54(3). – P. 262–273.

766. Ugbede Fredrick O., Osahon Okhuomaruyi D. Soil-to-plant transfer factors of $^{238}$U and $^{232}$Th in rice from Ezillo paddy fields, Ebonyi State, Nigeria / // Journal of Environmental Radioactivity – 2021. – № 106606. – P. 233.

767. UNSCEAR, 1988. Report to the General Assembly. Sources and Effects of Ionizing Radiation (United Nations, New York), 647.

768. UNSCEAR, 1993. Report to the General Assembly. Sources and Effects of Ionizing Radiation (United Nations, New York). Annex A, 59

769. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly, Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. V. I: Sources. UN, NY, 2000. 654 p.

770. UNSCEAR 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Vol. I, Annex B: Exposures of the public and workers from various sources of radiation. UN, NY, 2008. 463p.

771. Usoskin I.G., G.A. Kovaltsov. Production of cosmogenic $^{7}$Be isotope in the atmosphere: Full 3–D modeling. // J. Geophys. Res. – 2008.– V. 113(D12). – D12107.1–12.

772. Vaasma, T. The enrichment behavior of natural radionuclides in pulverized oil shale–fired power plants. / T. Vaasma, M. Kiisk, T. Meriste, A. H. Tkaczyk. // Journal of Environmental Radioactivity. — 2014. — P. 1–7.

773. Van T.N. Modelling the mitigation speeds of $^{137}$Cs, $^{90}$Sr and $^{131}$I in the topsoils and assessment of the radiological hazards / Van Thang Nguyen, Han Phan Thi Ngo Son Vi Xuan, Trong Tran Huu, Thu Huynh Nguyen, Phonga Hao Le Congab // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2019. – V. 169. – P. 216–224.

774. Vandenhove H., Proposal for new best estimates of the soil–to–plant transfer factor of U, Th, Ra, Pb and Po. / Vandenhove H., Olyslaegers G., Sanzharova N., Shubina O., Reed E., Shang Z., Velasco H.// Journal of Environmental Radioactivity. – 2009. – V. 100, – I. 9. – P. 721–732.

775. Varduni, T.V., Minkina T.M., Buraeva E.A., Gorbov S.N., Mandzhieva S.S., Omel’chenko G.V., Shimanskaya E.I., V’yukhina A.A., Sushkova S.N. Accumulation of radionuclides by pylaisiella moss (Pylaisia Polyantha) under urboecosystem conditions. // American Journal of Applied Sciences. – 2014. – V.11 (10). – P. 1735–1742.

776. Velasco, H. A review of $^{137}$Cs and $^{40}$K soil–to–plant transfer factors in tropical plants. / Velasco, H., Anjos, R.M.// Journal of Environmental Radioactivity. – 2021. – V. 235–236. – P. 106650,

777. Velasco H., Analysis of radionuclide transfer factors from soil to plant in tropical and subtropical environments. / Velasco H., Ayub J.J., Sansone U. // Applied Radiation and Isotopes. – 2008. –V. 66. – I. 11. – P. 1759–1763.

778. Vinichuk M., Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on 137Cs uptake by plants grown on different soils. / Vinichuk M., Mårtensson A., Ericsson T., Rosén K. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – V. 115. – P. 151–156.

779. Volosov A.G. Peculiarities of distribution of anthropogenic radionuclides in soils and soil fractions of conjugated floodplain landscapes of the Yenisey river. / Volosov A.G., Linnik V.G., Korobova E.M., Krupskaya V.V., Brown J.E. // Radioprotection. – 2011. – № 6. – V. 46. SUPPL. – P. S573–S577.

780. Vosel Y., Belyanin D., Melgunov M., Vosel S., Mezina K., Kropacheva M., Zhurkova I., Shcherbov B.. Accumulation of natural radionuclides ($^{7}$Be, $^{210}$Pb) and micro-elements in mosses, lichens and cedar and larch needles in the Arctic Western Siberia. // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – Vol. 28. – P. 2880–2892

781. Vysokoostrovskaya, E.B., Krasnov, A.I., Smyslov, A.A. A map of natural gamma radiation doses in the Russian territory. in: Proc. Int. Conf. on Radioactivity and Radioactive Elements in the Human Environment (Tomsk, 22–24 May 1996). Tomsk. Politekhn. Univ., Tomsk. 1996. 177–179.

782. Walling, D. E. Interpretation of caesium–137 in lacustrine and other sediments: the role of catchment–derived inputs / D. E. Walling, Q. He // Hydrobiologia – 1992. –№ 235/236 – P. 219–230.

783. Walling, D.E. Use of caesium–137 as a tracer in the study of rates and patterns of floodplain sedimentation / D.E.Walling, Q. He //Tracers in Hydrology – 1993. – № 215 – P. 319–328.

784. Wallova, G. Monitoring of radionuclides in soil and bone samples from Austria. / Gabriela Wallova, Norbert Kandler, Gabriele Wallner. // ournal of Environmental Radioactivity. – 2012. – №107. – P. 44–50.

785. Wang, L. Natural radionuclide concentrations in soils around Baoji coal–fired power plant, China. / L. Wang, X. Lu. // Radiation Effects Defects Solids. – 2007. – №162. – P. 677–683.

786. Wang W.X., Yang, Y.X. Wang L.M., Liu Q.C., Xia Y.F. Studies on natural radioactivity of soil in Xiazhuang uranium ore field, Guangdong. China. Environmental Science. – 2005. – 25. – P.120–123.

787. Wells T., Differences in soil organic carbon and soil erosion for native pasture and minimum till agricultural management systems / Wells T., Hancock G.R., Martinez C., Dever C., Kunkel V., Gibson A., // Science of The Total Environment. – 2019. – V. 666. – P. 618–630

788. Wen, X. Radiation effect of coal–fired power plants on soil in Sichuan. / X. Wen, B. Liang, Z. Yuan. // Sichuan Environment. – 1995. – №14 (2). P. 51–54.

789. Yadav Manjulata. Levels and effects of natural radionuclides in soil samples of Garhwal Himalaya. / Manjulata Yadav, Mukesh Rawat, Anoop Dangwal, Mukesh Prasad, G. S. Gusain, R. C. Ramola. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2014. – №2. – P.869–873.

790. Yan, Xun. Radionuclides distribution, properties, and microbial diversity of soils in uranium mill tailings from southeastern China. / Xun Yan, Xuegang Luo. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2015. – №139. – P. 85–90.

791. Yang,Ya–Xin, Radioactivity concentrations in soils of Xiazhung granite area, China. / Yang,Ya–Xin, Xin–min,Wu, Zhong–ying, Jiang,Wei–xing,Wang, Ji–gen, Lu, Jun, Lin, Lei–Ming, Wang, Yuan–fu, Hsia // Journal of Applied Radiation and Isotopes. – 2005. – V. 63. – P. 255–259.

792. Yoshimori M. Production and behavior of beryllium 7 radionuclide in the upper atmosphere. // Advances in Space Research. – 2005. – V.36. – P. 922–926.

793. Zarubinan, E. The content of accidental radionuclides in mushrooms from the 30–km zone of chernobyl nuclear power station. // Mikologiya I Fitopatologiya. – 2004. – V. 38(3). – P. 36–40.

794. Zheng M., Sjolte J., Adolphi F., Aldahan A., Possnert G., Wu M., Muscheler R. Solar and meteorological influences on seasonal atmospheric $^{7}$Be in Europe for 1975 to 2018. // Chemosphere. – 2021. – V. 263. – P. 128318

795. Ziembik, Z., Multiple regression model application for assessment of soil properties influence on $^{137}Cs$ accumulation in forest soils. / Ziembik, Z., Dołhańczuk–Środka, A., Wacławek, M. //Water Air Soil Pollut. – 2009. – V. 198. – P. 219–232.

796. Ziembik, Z., Assessment of $^{137}Cs$ and $^{239,240}Pu$ distribution in forest soils of the Opole anomaly. /Ziembik, Z., Dołhańczuk–Środka, A., Komosa, A., Orzel, J., Wacławek, M. // Water Air Soil Pollut. – 2010. – V. 206. – P. 307–320.

797. Ziembik Z., Illustration of constrained composition statistical methods in the interpretation of radionuclide concentrations in the moss Pleuroziumschreberi / Z. Ziembik, A. Dołhańczuk–Śródka, T. Majcherczyk, M. Wacławek. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – V. 117. – P. 13–18.

798. Zytoon A Mohamed. Determination of $^{40}K$, $^{232}Th$ and $^{238}U$ activity concentrations in ambient PM2.5 aerosols and the associated inhalation effective dose to the public in Jeddah City, Saudi Arabia. / A Mohamed Zytoon, Hani M. Aburas, Mohammed I. Abdulsalam. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2014. – №129. – P. 148–156.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ПОЛУЧЕННЫХ В РАМКАХ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

## *П1.1 Распределение мощности эквивалентной дозы на природных и урбанизированных территориях Северного Кавказа*

***Зоны наблюдения радиационно-опасных объектов Ростовской области***

1. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2000-2004 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621706 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621274; заявл. 15.10.15; дата гос. рег. 26.11.15.

2. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2010-2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621422 РФ / Бураева Е. А., Дергачева Е. В., Долгополов А.В.,Заруднев А.А., Иванов Е.С., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621153; заявл.23.08.2016.; дата гос. рег. 21.10.2016.

3. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2016-2019 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621985 РФ / Андрюшина И.Н., Бураева Е.А., Антонова Ек.Ю., Антонова Ел.Ю., Иванков Д.В., Исаева Е.В., Машаров К.С., Михайлова Т.А., Плахотняя Д.П., Сидорина У.А., Ширяева А.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621769; заявл. 08.10.2020 г.; дата гос. рег. 21.10.2020 г.

4. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории ПХРО ФГУП РосРАО в 2016-2017 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020622746 РФ / Андрюшина И.Н., Бураева Е.А., Антонова Ел.Ю., Антонова Ек.Ю., Иванков Д.В., Исаева Е.В., Машаров К.С., Плахотняя Д.П., Сидорина У.А., Ширяева А.А., Михайлова Т.А.; заявка № 2020622746; заявл. 15.12.2020 г.; дата гос. рег. 22.12.2020 г.

***Природно-техногенная территория Новочеркасской ГРЭС и г. Новочеркасска Ростовской области:***

5. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС в 2012-2013 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621660 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621208; заявл. 01.10.15; дата гос. рег. 18.11.15.

6. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на природно-техногенных территориях Новочеркасской ГРЭС в 2014-2017 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621794 РФ / Бураева Е.А., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621637; заявл. 24.09.2020 г.; дата гос. рег. 05.10.2020 г.

7. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городе Новочеркасске в 2019 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020620083 РФ / Бураева Е.А., Глазунова Е.В., Горбунов А.С., Дергачева А.В., Ерчихин А.Д., Зайвый В.С., Кащаева Е.А., Ляхова Н.В., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019622548; заявл. 25.12.2019 г.; дата гос. рег. 17.01.2020 г.

***Природные и урбанизированные территории Ростовской области:***

8. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных и урбанизированных территорий Ростовской области**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620291 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Тимченко А.А., Шиманская Е.И., Семин Л.В., Горлачев И.А., Вардуни Т.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621830; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 17.02.15.

9. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных и урбанизированных территорий Ростовской области в 2013-2015 годах**: свид. о

гос. рег. базы данных № 2016621420 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Долгополов А.В., Заруднев А.А., Иванов Е.С., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621151; заявл.23.08.2016; дата гос. рег. 21.10.2016.

10. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на особо охраняемых природных территориях Ростовской области в 2012-2019 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020622342 РФ / Бураева Е.А., Джура К.О., Ляхова Н.В., Михайлова Т.А., Швецова Д.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020622223; заявл. 12.11.2020 г.; дата гос. рег. 19.11.2020 г.

11. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городе Ростове-на-Дону в 2019 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2019622465 РФ / Бураева Е.А., Глазунова Е.В., Горбунов А.С., Дергачева А.В., Ерчихин А.Д., Зайвый В.С., Кащаева Е.А., Ляхова Н.В., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019622421; заявл. 11.12.2019 г.; дата гос. рег. 23.12.2019 г.

12. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории г. Ростова-на-Дону в 2020-2021 годах**: № 2022621210: заявл. 31.05.2022: опубл. 22.06.2022: Бюл. №7 / Е.А. Бураева, А.Е. Шадин, О.В. Каменев, Н.В. Маломыжева; правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» (Южный федеральный университет**).**

13. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городе Таганроге в 2021 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021622576 РФ / Бураева Е.А., Костырев Б.П., Плахотняя Д.П., Сидорина У.А., Сивцов А.В., Бобылев В.А., Михайлова Т.А.; заявка № 2021622533; заявл. 17.11.2021 г.; дата гос. рег. 19.11.2021 г.

14. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городе Таганроге в 2022 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2022621340 РФ / Бураева

Е.А., Козенко О.А., Маломыжева Н.В.; заявка № 2022621238; заявл. 31.05.2022 г.; дата гос. рег. 08.06.2022 г.

15. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в малых городах Ростовской области в 2019-2021 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021622601 РФ / Бураева Е.А., Ляхова Н.В., Калашникова К.А., Антонова Е.Ю., Антонова Е.Ю., Сидорина У.А., Ревнивцев И.С., Сивцов А.В., Михайлова Т.А.; заявка № 2021622511; заявл. 17.11.2021 г.; дата гос. рег. 23.11.2021 г.

16. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территориях сельский поселений Ростовской области в 2019-2020 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021620540 РФ / Бураева Е.А., Огиенко А.В., Ляхова Н.В., Антонова Ел.Ю., Антонова Ек.Ю., Калашникова К.А., Сидорина У.А., Деревяга Д.Е., Шаповалов Е.С., Михайлова Т.А.; заявка № 2021620412; заявл. 18.03.2021 г.; дата гос. рег. 22.03.2021 г.

17. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в населенных пунктах Чертковского района Ростовской области в 2020-2022 годах:** свид. о гос. рег. базы данных № 2022622808 РФ / Бураева Е. А., Бобылев В.А., Плахотняя Д.П., Шаповалов Е.С., Шульга В.В., Маломыжева Н.В; заявка № 2022622750; заявл. 01.11.2022 г.; дата гос. рег. 09.11.2022 г.

***Природные территории Республики Адыгея:***

18. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных и урбанизированных территорий республики Адыгея**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620308 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Тимченко А.А., Шиманская Е.И., Семин Л.В., Горлачев И.А., Вардуни Т.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621813; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 17.02.15.

19. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных территорий Республики Адыгея в 2009-2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621425 РФ / Бураева Е. А., Дергачева Е. В., Долгополов А.В., Заруднев А.А., Иванов Е.С., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В., Шаповалова Е.С.;

заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621157; заявл.23.08.2016; дата гос. рег. 21.10.2016.

20. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных территорий Республики Адыгея в 2017 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2019620171 РФ / Бураева Е.А., Андрюшина И.Н., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А., Пронина Е.В., Проценко В.В., Саевский А.И.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019620068; заявл. 18.01.2019 г.; дата гос. рег. 25.01.2019 г.

21. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения природных территорий Республики Адыгея в 2018-2019 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621774 РФ / Глазунова Е.В., Бураева Е.А., Антонова Ек.Ю., Антонова Ел.Ю., Иванков Д.В., Исаева Е.А., Кащаева Е.А., Машаров К.С., Плахотняя Д.П., Сидорина У.А., Ширяева А.А., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621638; заявл. 24.09.2020 г.; дата гос. рег. 01.10.2020 г.

22. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в Республике Адыгея 2020-2022 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2022622804 РФ / Бураева Е. А., Бобылев В.А., Костырев Б.П., Плахотняя Д.П., Сивцов А.В., Сидорина У.А., Шаповалов Е.С., Маломыжева Н.В; заявка № 2022622743; заявл. 01.11.2022 г.; дата гос. рег. 09.11.2022 г.

***Краснодарский и Ставропольский края и высокогорные районы Северного Кавказа***

23. **Мощность эквивалентной дозы гамма излучения природных и урбанизированных территорий Краснодарского края**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620224 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Тимченко А.А., Шиманская Е.И., Семин Л.В., Горлачев И.А., Вардуни Т.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621820; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 09.02.15.

24. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городах Краснодарского края в 2011, 2020-2021 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021622665 РФ / Бураева Е.А., Машаров К.С., Костырев Б.П., Плахотняя Д.П., Сивцов А.В., Сидорина У.А., Сенин И.Н., Спиридонов Д.Ю., Михайлова Т.А.; заявка № 2021622509; заявл. 17.11.2021 г.; дата гос. рег. 26.11.2021 г.

25. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в станицах Краснодарского края в 2020-2021 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2022620258 РФ / Бураева Е.А., Костырев Б.П., Плахотняя Д.П., Сидорина У.А., Сивцов А.В., Рачейсков Н.А., Шульга В.В., Михайлова Т.А.; заявка № 2022620124; заявл. 30.01.2022 г.; дата гос. рег. 01.02.2022 г.

26. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в городах Кавказских минеральных вод в 2021 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021621966 РФ / Бураева Е.А., Ляхова Н.В., Швецова Д.А., Есин Е.С., Михайлова Т.А.; заявка № 2021621819; заявл. 03.09.2021 г.; дата гос. рег. 15.09.2021 г.

27. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на территории Дигорского района Республики Северная Осетия – Алания в 2013 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621416 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Нефедов В.С., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621143; заявл. 17.10.2017 г.; дата гос. рег. 01.12.2017 г.

28. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на пиках Чегет и Терскол, Республика Кабардино-Балкария в 2013 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621415 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Колесников И.А., Михайлова Т.А., Нефедов В.С., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621142; заявл. 17.10.2017 г..; дата гос. рег. 01.12.2017 г.

29. **Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения на плато Шаджатмаз (Республика Кабардино-Балкария) в 2018-2020 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020622488 РФ / Бураева Е.А., Михайлова Т.А., Машаров К.С.; заявка № 2020622213; заявл. 12.11.2020 г.; дата гос. рег. 02.12.2020 г.

### *П1.2 Радионуклидный и элементный составы объектов окружающей среды*

***Зоны наблюдения радиационно-опасных объектов Ростовской области:***

1. **Удельная активность $^{137}$Cs в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС на период с 2000 по 2008 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620268 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Данилова А.А., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Давыденко А.М.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621819; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 12.02.15.

2. **Удельная активность $^{137}$Cs в почвах Ростовской АЭС с 2010 по 2014 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 20156214720 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Малышевский В.С., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621005; заявл. 27.07.15; дата гос. рег. 24.09.15.

3. **Удельная активность $^{137}$Cs в почвах 30-ти километровой зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621505 РФ /Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Нефедов В.С., Кубрина В.К., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621223; заявл. 31.10.2017 г.; дата гос. рег. 19.12.2017 г.

4. **Удельная активность $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$К в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2000-2004 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621632 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621185; заявл. 24.09.15; дата гос. рег. 09.11.15.

5. **Удельная активность $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K в почвах зоны наблюдения Ростовской АЭС за период с 2010 по 2014 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620267 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Данилова А.А., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Давыденко А.М.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621818; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 12.02.15.

6. **Удельная активность естественных радионуклидов в почвах 30-ти километровой зоны наблюдения Ростовской АЭС в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621506 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Нефедов В.С., Кубрина В.К., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621224; заявл. 31.10.2017 г.; дата гос. рег. 19.12.2017 г.

7. **Физико-химический и элементный состав почв, прилегающих к Ростовской АЭС**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621569 РФ / Минкина Т.М., Сушкова С.Н., Бураева Е.А., Иванков Д.И., Карташев С.С., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621333; заявл. 07.08.2020 г.; дата гос. рег. 27.08.2020 г.

8. **Физико-химический и элементный состав почв, прилегающих к филиалу Южного территориального округа ФГУП РосРАО**: свид. о гос. рег. базы данных № 2020621509 РФ / Минкина Т.М., Бурачевская М.В., Бураева Е.А., Литвинов Ю.А., Иванков Д.И., Карташев С.С., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2020621332; заявл. 07.08.2020 г.; дата гос. рег. 21.08.2020 г.

***Природно-техногенная территория Новочеркасской ГРЭС и г. Новочеркасска Ростовской области:***

9. **Удельная активность радионуклидов в почвах природно-техногенной зоны Новочеркасской ГРЭС**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620307 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Данилова А.А., Аветисян С.Р., Стасов В.В., Давыденко А.М.; заявитель и

правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621812; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 17.02.15.

10. **Удельная активность радионуклидов в почвах природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621454 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Савин И.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621148; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 11.12.2017 г.

11. **Удельная активность радионуклидов в почвах и растениях г. Новочеркасска Ростовской области в 2019-2020 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021621891 РФ / Бураева Е.А., Горбунов А.С., Дергачева А.В., Джура К.О., Ляхова Н.В., Топорков Н.В., Швецова Д.А., Михайлова Т.А.; заявка № 2021621820; заявл. 03.09.2021 г.; дата гос. рег. 06.09.2021 г.

***Природные и урбанизированные территории Ростовской области:***

12. **Удельная активность $^{137}$Cs в почвах на территории Ростовской области в 2012-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621437 РФ /Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621137; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 07.12.2017 г.

13. **Удельная активность естественных радионуклидов в почвах на территории Ростовской области в 2012-2013 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621438 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621136; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 07.12.2017 г.

14. **Удельная активность естественных радионуклидов в почвах на территории Ростовской области в 2014-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621453 РФ / Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К.,

Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И., Стасов В.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621144; заявл. 16.10.2017 г.; дата гос. рег. 11.12.2017 г.

15. **Удельная активность радионуклидов в почвах территории Ботанического сада Южного федерального университета в 2013-2014 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621445 РФ / Барахов А.В., Бураева Е. А., Гончарова Л.Ю., Гордиенко С.Г., Дергачева Е. В., Заруднев А.А., Кубрина В.К., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621175; заявл.31.08.2016; дата гос. рег. 26.10.2016.

16. **Удельная активность радионуклидов в почвах особо охраняемых природных территорий Ростовской области в 2012-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2021621938 РФ / Бураева Е.А., Горбунов А.С., Дергачева А.В., Джура К.О., Ляхова Н.В., Топорков Н.В., Швецова Д.А., Михайлова Т.А.; заявка № 2021621847; заявл. 08.09.2021 г.; дата гос. рег. 10.09.2021 г.

17. **Активность радионуклидов в естественных почвах Ростовской агломерации с 2012 по 2016 годы** / Горбов С.Н., Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Бураева Е.А Свидетельство 2018620958 Российская Федерация. База данных; заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» - №2018620594; заявл. 17.05.18; дата регистрации в Реестре баз данных 02.07.2018.

18. **Активность радионуклидов в антропогенно-преобразованных почвах Ростовской агломерации с 2012 по 2016 годы** / Бураева Е.А., Горбов С.Н., Безуглова О.С., Тагивердиев С.С., Козырев Д.А., Дергачева Е.В.; Свидетельство 2018620989 Российская Федерация. База данных: заявитель и патентообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет» - №2018620601; заявл. 17.05.18; дата регистрации в Реестре баз данных 05.07.2018.

19. **Элементный состав почв Ростовской области в 2012-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621417 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Кубрина В.К., Проценко В.В., Стасов В.В., Тройченко Р.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621145; заявл. 17.10.2017 г.; дата гос. рег. 01.12.2017 г.

***Природные территории Республики Адыгея:***

20. **Удельная активность $^{137}$Cs в почвах Республики Адыгея в 2010-2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621447 РФ / Бураева Е. А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е. В., Заруднев А.А., Кубрина В.К., Москалев Н.Н., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621174; заявл.31.08.2016; дата гос. рег. 27.10.2014.

21. **Удельная активность $^{137}$Cs в почвах Республики Адыгея в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2017621504 РФ / Бураева Е.А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621222; заявл. 31.10.2017 г.; дата гос. рег. 19.12.2017 г.

22. **Удельная активность $^{226}$Ra, $^{232}$Th, $^{40}$K в почвах Адыгеи за 2010-2014 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621480 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Малышевский В.С., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621002; заявл. 27.07.15; дата гос. рег. 23.09.15.

23. **Удельная активность естественных радионуклидов в почвах Республики Адыгея в 2015-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2018620013 РФ / Бураева Е.А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е.В., Иванков Д.В., Кубрина В.К., Нефедов В.С., Проценко В.В., Саевский А.И.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621219; заявл. 31.10.2017 г.; дата гос. рег. 09.01.2018.

24. **Элементный состав почв Республики Адыгея в 2012-2016 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2018620210 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А.,

Дергачева Е.В., Кубрина В.К., Саевский А.И., Стасов В.В., Тройченко Р.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2017621152; заявл. 17.10.2017 г.; дата гос. рег. 05.02.2018 г.

***Радионуклиды и тяжелые металлы в воздухе, породах, донных отложениях, объектах флоры***

25. **Удельная активность радионуклидов в приземном слое воздуха города Ростова-на-Дону**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015620289 РФ / Бураева Е.А., Нефедов В.С., Триболина А.Н., Дергачева Е.В., Данилова А.А., Малышевский В.С., Стасов В.В., Давыденко А.М., Аветисян С.Р.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2014621832; заявл. 18.12.14; дата гос. рег. 17.02.15.

26. **Элементный состав атмосферных аэрозолей**: свид. о гос. рег. базы данных № 2019620151 РФ / Бураева Е.А., Глазунова Е.В., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А., Пронина Е.В., Проценко В.В., Саевский А.И.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019620066; заявл. 18.01.2019 г.; дата гос. рег. 24.01.2019 г.

27. **Содержание радона (Rn-222) в объектах окружающей среды на территории Ростовской области в 2001 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621619 РФ / Бураева Е. А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е. В., Долгополов А.В., Кубрина В.К., Малышевский В.С., Нефедов В. С., Стасов В. В., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621196; заявл.06.09.2016; дата гос. рег. 29.11.16.

28. **Содержание радона (Rn-222) в объектах окружающей среды на территории Республики Адыгея в 2013 – 2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621489 РФ / Бураева Е. А., Гордиенко С.Г., Дергачева Е. В., Долгополов А.В., Кубрина В.К., Малышевский В.С., Нефедов В. С., Стасов В. В., Шаповалова Е.С.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621276; заявл.29.09.2016.; дата гос. рег. 07.11.2016.

29. **Удельная активность радионуклидов в лесной подстилке горных районов Республики Адыгея с 2011 по 2017 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 2019622324 РФ / Бураева Е.А., Глазунова Е.В., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А., Пронина Е.В., Ширяева А.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019622221; заявл. 26.11.2019 г.; дата гос. рег. 10.12.2019 г.

30. **Удельная активность радионуклидов в грибах Северного Кавказа с 2012 по 2014 годы**: свид. о гос. рег. базы данных № 2019622401 РФ / Бураева Е.А., Андрюшина И.Н., Кащаева Е.А., Михайлова Т.А., Пронина Е.В., Ширяева А.А.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2019622323; заявл. 06.12.2019 г.; дата гос. рег. 17.12.2019 г.

31. **Удельная активность радионуклидов в растительных объектах Ростовской области в 2003-2005 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621705 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621273; заявл. 15.10.15; дата гос. рег. 26.11.15.

32. **Удельная активность радионуклидов в растениях природно-техногенной территории Новочеркасской ГРЭС**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621444 РФ / Аветисян С.Р., Арысланова Ф. Ш., Бураева Е. А., Дергачева Е. В., Кубрина В.К., Москалев Н.Н., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621176; заявл.31.08.2016; дата гос. рег. 26.10.2016.

33. **Удельная активность радионуклидов в объектах бриофлоры Республики Адыгея в 2012-2015 годах**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621421 РФ / Аветисян С.Р., Арысланова Ф.Ш., Бураева Е.А., Дергачева Е.В., Кубрина В.К., Москалев Н.Н., Нефедов В. С., Стасов В.В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621152; заявл.23.08.2016; дата гос. рег. 21.10.2016.

34. **Удельная активность радионуклидов в объектах бриофлоры г. Ростова-на-Дону в 2009 году**: свид. о гос. рег. базы данных № 2016621423 РФ / Аветисян С.Р., Арысланова Ф. Ш., Бураева Е. А., Дергачева Е. В., Кубрина В.К., Москалев Н.Н., Нефедов В. С., Стасов В. В., Тер-Оганесян Н.В.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2016621154; заявл.23.08.2016; дата гос. рег. 21.10.2016.

35. **Удельная активность радионуклидов в донных отложениях Цимлянского водохранилища**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621734 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621270; заявл. 15.10.15; дата гос. рег. 04.12.15.

36. **Удельная активность $^{226}$Ra, $^{232}$Th и $^{40}$К в породах Северного Кавказа**: свид. о гос. рег. базы данных № 2015621659 РФ / Аветисян С.Р., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Данилова А.А., Дергачева Е.В., Нефедов В.С., Стасов В.В., Триболина А.Н.; заявитель и правообладатель Южный федеральный университет (RU) – заявка № 2015621210; заявл. 01.10.15; дата гос. рег. 18.11.15.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНЫХ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОСОБИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ В РАМКАХ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### *П2.1. Учебник*

1. Давыдов М.Г. Радиоэкология: учебник для вузов. / М.Г. Давыдов, **Е.А. Бураева**, Л.В. Зорина, В.С. Малышевский, В.В. Стасов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2013, 635 с.

### *П2.2. Учебные пособия*

2. Малышевский В.С., **Бураева Е.А.**, Триболина А.Н. Ростовская атомная электростанция: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Типография ЮФУ, 2013. – 72с.
3. **Бураева Е.А.**, Малышевский В.С., Стасов В.В., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Триболина А.Н. Радиоэкологический мониторинг зоны наблюдения Ростовской АЭС: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Типография ЮФУ, 2013. – 68 с.
4. Дергачева Е.В., **Бураева Е.А.**, Малышевский В.С. Чем опасен радон? Пособие для школьников. Ростов-на-Дону: Типография ЮФУ, 2013. – 68 с.
5. **Бураева Е.А.**, Малышевский В.С. Занимательная радиоэкология: пособие для школьников. Ростов-на-Дону: Информационный центр Ростовской АЭС, 2013. 52 с.

### *П2.3. Учебно-методические пособия*

6. **Бураева Е.А.**, Попова М.Д., Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика подготовки проб почвы и растительности для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 25 с.
7. **Бураева Е.А.**, Попова М.Д., Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования

«Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика подготовки проб атмосферных аэрозолей для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 40 с.

8. **Бураева Е.А.**, Попова М.Д., Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика подготовки проб донных отложений для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 39 с.

9. **Бураева Е.А.**, Попова М.Д., Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика подготовки проб воды и атмосферных осадков для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 44 с.

10. **Бураева Е.А.**, Зыкова Т.И., Нефедов В.С. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиометрия и спектрометрия» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Основы спектрометрии бета-излучающих радионуклидов). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012, 32 с.

11. **Бураева Е.А.**, Нефедов В.С. Учебно-методическое пособие к курсу «Дозиметрия ионизирующих излучений» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Основы дозиметрии ионизирующих излучений). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 44 с.

12. **Бураева Е.А.**, Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная

безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика отбора проб воды для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 46 с.

13. **Бураева Е.А.**, Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика отбора проб атмосферных аэрозолей и осадков для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 40 с.

14. **Бураева Е.А.**, Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика отбора проб почвы и растительности для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 36 с.

15. **Бураева Е.А.**, Тимченко А.А. Учебно-методическое пособие к курсу «Радиоэкология» для студентов физического факультета, обучающихся по специальности основного профессионального образования «Радиационная безопасность человека и окружающей среды». Лабораторный спецпрактикум (Методика отбора проб донных отложений для радионуклидного анализа). Ростов-на-Дону: типография ЮФУ, 2012. 40 с.

16. Шиманская Е.А., Сазыкина М.А., Гуськов Г.Е., Сазыкин И.С., Вардуни Т.В., **Бураева Е.А.**, Шерстнев А.К. Бриоиндикация токсичности приземного слоя воздуха: учебно-методическое пособие. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2014. – 64 с.

17. Дергачева Е.В., **Бураева Е.А.** Основы радиометрии радона в объектах окружающей среды: учебно-методическое пособие. Часть 1. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2014. – 57 с.