



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
КАФЕДРА ХИМИИ, ЭКОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ

**Радиационное состояние почв территории Челябинского
городского бора**

**Выпускная квалификационная работа по направлению
05.03.06 «Экология и природопользование»**

**Направленность программы бакалавриата
«Природопользование»**

Форма обучения очная

Проверка на объем заимствований: Выполнила:

78 % авторского текста

Студентка группы ОФ-401/058-4-1

Пенцова Ксения Викторовна

Работа рекомендован к защите

рекомендована/не рекомендована

«08» 06 2020г.

Зав. кафедрой Химии, экологии и МОХ

(название кафедры)

Ср Сутягин А.А.

Научный руководитель:

канд. хим. наук, доцент

Ср Сутягин Андрей Александрович

Челябинск
2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАХ.....	6
1.1 Формирование радиационного фона окружающей среды	6
1.2 Характеристика некоторых радионуклидов, формирующих радиационный фон	12
1.3 Радиоэкологическая ситуация на территории Челябинской области	17
ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧЕЛЯБИНСКОГО ГОРОДСКОГО БОРА	21
2.1 Общая характеристика Челябинского городского бора.....	21
2.2 Методы, используемые при изучении радиационного состояния почв Челябинского городского бора.....	26
ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ЧЕЛЯБИНСКОГО ГОРОДСКОГО БОРА	29
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	35
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	37
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Карта минерально-сырьевых ресурсов Челябинской области	41
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Методика измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine»	42
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Карта радиационного фона Челябинского городского бора	43

ВВЕДЕНИЕ

Территория Уральского региона, в том числе, входящая в его состав Челябинская область, является зоной аномально высокого радиационного фона. Причинами высокой активности радионуклидов во многом является техногенное воздействие на окружающую среду.

Общий радиационный фон формируется под воздействием трех основных компонентов: космического излучения; излучения рассеянных в земной коре, воздухе и других объектах природной среды естественных радионуклидов; излучения искусственных (техногенных) радионуклидов [22]. По данным Министерства экологии Челябинской области в настоящее время техногенное облучение населения региона складывается из нескольких компонентов:

- стратосферные выпадения искусственных радионуклидов;
- последствия предыдущих радиационных аварий на ПО «Маяк» и сбросов жидких радиоактивных отходов в р. Теча;
- деятельность объектов, имеющих сбросы и выбросы искусственных радионуклидов во внешнюю среду.

Так, на территории Челябинской области зарегистрировано более 500 предприятий, применяющих источники ионизирующего излучения.

В то же время наибольший вклад в суммарное облучение населения, как и в целом по Российской Федерации, вносит природное облучение населения. Для Челябинской области это объясняется существованием аномалии природной радиоактивной минерализации литосферы и гидросферы, что обуславливает повышенное содержание природных радионуклидов в воздухе помещений (радон) и в воде подземных источников питьевого водоснабжения на отдельных территориях области.

Челябинский городской бор является излюбленным местом отдыха жителей Челябинска. Его территория приурочена к местам выхода гранита, что является определяющим фактором естественного радиационного фона.

Многочисленные карьеры, сохранившиеся со времен добычи гранита в качестве строительного материала, являются местами пикников, по берегам некоторых из них функционируют кафе и аттракционы. В результате граниты могут выступать источниками воздействия естественной радиации на человека.

От гранитных источников радон может поступать в воду карьеров, а также поступать в почвы. Почвенный компонент является одним из основных накопителей радионуклидов, аккумулируя их в верхних почвенных горизонтах. Радиоактивные вещества из почвы могут попадать в растения, а далее по пищевой цепочке – в организм человека. Некоторая часть радионуклидов может вымываться осадками в водоёмы. В итоге, повышенный радиационный фон может оказывать негативное влияние на биологические системы.

С учетом сказанного исследование современного радиационного состояния почв Челябинского городского бора как объекта, используемого в культурно-бытовых и рекреационных целях, может выступать в качестве актуальной теоретической и практической задачи, позволяющей не только конкретизировать знания об источниках поступления естественных радионуклидов в окружающей среде, но и получать практическую информацию для проведения мероприятий по благоустройству территории Челябинского городского бора, для выбора мест организации культурного отдыха населения с соблюдением требований безопасности человека и здоровьесбережения.

Цель работы – изучение радиационного состояния почв Челябинского городского бора.

Достижение цели предполагает реализацию ряда задач, основными из которых являются:

- 1) обзор научной и научно-популярной литературы посвященной проблеме формирования радиационного фона территорий, поведения

радионуклидов в окружающей среде, а также мониторинга радиационно загрязненных территорий;

2) отбор проб почв на отдельных территориях Челябинского городского бора и определение удельной активности естественных радионуклидов в исследуемых почвах;

3) сравнение полученных результатов с нормативными значениями.

Объектом исследования является удельная активность естественных радионуклидов.

Предметом исследования являются почвы Челябинского городского бора.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОАКТИВНОСТИ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

1.1 Формирование радиационного фона окружающей среды

Радиационный фон – радиоактивное излучение, формирующееся на поверхности планеты от естественных и техногенных источников, в условиях существования и воздействия которого постоянно находится человек.

Встречающиеся в природе радиоактивные элементы принято называть естественными. Большинство из них – тяжёлые элементы с порядковыми номерами от 81 до 96 [26]. В целом в природе насчитывается порядка 70 естественных радионуклидов, некоторые из них обладают настолько долгим периодом полураспада, что он на много порядков может превосходить предполагаемый возраст Вселенной [24].

Появление радиоактивного облучения является естественным явлением, обусловленным ядерными реакциями, протекающими в результате геохимических процессов образования химических элементов. При данном процессе менее устойчивые изотопы, характеризующиеся меньшим периодом полураспада, превращаются в более устойчивые изотопы химических элементов. Результатом данного процесса является образование элементарных частиц, характеризующихся определенным запасом энергии, формирующей характерный спектр излучения.

Жизнь на Земле возникла и развивается в условиях постоянного облучения [21], а естественный радиационный фон нашей планеты напрямую связан с историей развития биосферы. С самого момента зарождения Земли планета постоянно была подвержена влиянию космического излучения. Огромное количество радионуклидов космического происхождения было задействовано в процессе формирования земной коры. Существует мнение, что именно благодаря радиоактивному распаду, разогревшему недра планеты, стали возможны

различные тектонические процессы, в том числе и расплавление магмы, и образование горных систем. На тех участках земной коры, где располагались многочисленные разломы, сдвиги и растяжения земной коры, радионуклиды могли выходить на поверхность, и таким образом возникали территории с высоким ионизирующим излучением. Процессы формирования сверхновых звезд также оказывали существенное влияние на Землю – уровень космического излучения на ней повышался в десятки раз. Но сверхновые появлялись обычно один раз за несколько миллионов лет, и постепенно радиоактивность нашей планеты снижалась.

В настоящее время биосфера Земли по-прежнему испытывает воздействие космического ионизирующего излучения и радионуклидов, рассеянных в различных областях планеты: в атмосферном воздухе, горных породах, морях и океанах, в подземных водах и в живых организмах. Совокупность перечисленных составляющих радиационного фона (ионизирующего излучения) принято называть естественным радиоактивным фоном. Естественная радиоактивность объединяет в себе несколько компонентов:

- космическое излучение,
- радиоактивные элементы в составе недр планеты,
- радионуклиды в воде, пище, воздухе и стройматериалах.

Радиация естественного происхождения является неотъемлемой частью природной среды обитания человека. В 1896 г. этот феномен обнаружил французский учёный А. Беккерель. Впоследствии, в 1912 г. австрийский физик В. Гесс открыл космические лучи в процессе сравнения ионизации воздуха на уровне моря и в горах.

Мощность космического излучения неоднородна. Ближе к поверхности земли она уменьшается за счет экранирующего атмосферного слоя; в горах она сильнее, поскольку защитный экран атмосферы на высоте значительно ослаблен [11].

Космические частицы состоят из мягкой и жёсткой компоненты. Мягкая компонента, в свою очередь, состоит из электронов, позитронов и фотонов, которые по своей проникающей способности довольно близки к гамма-излучению. Жесткую компоненту составляют мю-мезоны (мюоны) и нейтрино, обладающие очень высокой проникающей способностью. Мю-мезоны проникают в литосферу на глубину до 3 км, а нейтрино пронизывают Землю насквозь и далее удаляются в космическое пространство.

Ионизирующее излучение, испускаемое радиоактивными веществами природного происхождения, которые содержатся в воде, почве и горных породах, и космические лучи образуют фоновое излучение, к которому уже адаптировалась обитающая на планете биота. По мнению отечественного радиобиолога А. М. Кузина, атомная радиация природного радиоактивного фона служила одним из главных факторов возникновения жизни на нашей планете, следовательно, она является необходимым условием для нормального и естественного существования живых организмов.

В среднем интенсивность гамма-излучения на высоте 1 м от поверхности земной коры колеблется от 10 мкР/ч до 15 мкР/ч, временами достигая 25 мкР/ч. В различных частях биосферы естественный фон отличается в 2-3 раза. К примеру, на уровне моря фон в 3 раза ниже, чем в горах на высоте 3 км. Впрочем, существуют участки планеты, на которых радиационный фон превышает средний в десятки и сотни раз. Например, в Бразилии, располагается возвышенность, где радиационный фон примерно в 800 раз выше среднего, доза облучения там составляет 250 мЗв в год. Такие территории существуют в Индии (город Коччи, штат Керала), Китае (округ Яйцюань), на Мадагаскаре, в Нигерии и Австрии, а также в ряде других регионов планеты. Повышенный радиационный фон на подобных участках Земли, как правило, обусловлен выходом на поверхность горных пород, содержащих аномально высокое количество радионуклидов

семейств урана и тория. Подобные петрографические ассоциации включают в себя щелочные граниты, фосфориты, сиениты, осадочные битуминозные породы. Флора, фауна и человек в этих регионах на протяжении длительного периода времени приспосабливались к высокому уровню радиационного фона, а потому развиваются нормально и не имеют негативных отклонений в развитии [26].

Добавляющей к естественной радиоактивности при формировании радиационного фона выступает искусственная радиоактивность, возникающая в результате действия техногенных факторов. Крупные аварии на объектах атомной промышленности и энергетики приводят к повышению радиационного фона, как местным, так и глобальным. Так, например, во время аварии на Чернобыльской АЭС радиационный фон в Киеве превышал естественный фон в несколько десятков раз. [26]

К искусственным радиоактивным изотопам относятся радионуклиды, которые, как правило, не существуют в природе. Лишь некоторые из них в ничтожно малых количествах могут встречаться в горных породах, преимущественно же они появились в середине XX века благодаря деятельности человека. К таким радиоактивным веществам относят продукты деления радиоизотопов, используемых при атомных взрывах и управляемых ядерных реакциях.

Радионуклиды искусственного происхождения достаточно легко включаются в пищевые цепи и впоследствии могут накапливаться в живых организмах. К наиболее опасным искусственным радионуклидам относятся цезий-137 и стронций-90, которые являются продуктами распада урана, а также получаемый искусственным путём плутоний-239. Источниками поступления их в природную среду могут служить аварийные выбросы и утечки из атомных реакторов, хранилищ и могильников радиоактивных отходов, заводов ядерного топливного цикла, и ядерные взрывы [26].

О процессах распределения радионуклидов в толще земной коры и в литосфере в целом на глубинах, недоступных прямому наблюдению, учёные могут судить исключительно по косвенным фактам и общим представлениям о строении Земли. В настоящее время наибольшим признанием пользуется концепция, согласно которой радиоактивность пород снижается с глубиной, но всё же остаётся измеримой до весьма существенных глубин. В 1906 г. Стретт установил, что радиоактивные элементы накапливаются в гранитном слое континентальной коры, что в последующие годы было подтверждено другими исследованиями.

Наибольшее содержание радионуклидов естественного происхождения отмечается в изверженных породах кислого и щелочного состава, богатых калием. В основном радиоактивные элементы обнаруживаются в акцессорных минералах: цирконе, монаците, ксенотиме, ортите, апатите и сфене. Касательно главных породообразующих минералов установлено, что силикатные минералы, прежде всего полевые шпаты, обладают в среднем в 3 раза большей радиоактивностью, чем феррические. Таким образом, в практической работе существует эмпирическое правило: магматические породы светлых оттенков более радиоактивны, чем тёмных.

Установлено, что среди осадочных пород наиболее высокой радиоактивностью обладают глины и глинистые сланцы. В них содержание радионуклидов довольно близко к кислым изверженным породам – гранитам. По результатам анализа разнообразных диаграмм гамма-каротажа глубоких скважин и данных лабораторного радиометрического изучения существенного количества образцов осадочных горных пород было установлено, что наименьшей радиоактивностью среди них обладают чистые химические и органические осадки, такие как каменная соль, яшмы, известняки, гипс, кварцевые пески, доломиты, кремнистые сланцы. Морские осадочные породы в общей сложности более радиоактивны, чем континентальные.

Основным источником радиоактивных элементов в почвах обычно считаются почвообразующие породы. В связи с этим, почвы, которые были развиты на кислых магматических породах, довольно богаты радиоактивными элементами (ураном, калием, радием, торием), а почвы, образовавшиеся на основных и ультраосновных породах, бедны ими. В глинистых почвах практически всегда наблюдается гораздо больше радиоизотопов, чем в песчаниках.

Почвы, будучи рыхлыми образованиями, по своему вещественному составу похожи на осадочные породы, в результате чего они во многом подчиняются закономерностям распределения естественных радионуклидов в отложениях подобного генезиса. Тонкая коллоидная фракция почв, с которой связаны обменно-сорбционные процессы, значительно богаче радиоактивными элементами в сравнении с более крупными частицами. Значительное обогащение почвы наблюдается в слоях с высоким содержанием органического вещества. Но прямой зависимости между радиоактивностью почв и количеством органического вещества в них, как правило, не наблюдается.

Атмосфера земли всегда содержит газообразные радиоактивные вещества, представленные такими инертными газами как радон, актинон, торон, источником их служат эманлирующие горные породы. Радиоактивные эманации попадают из почвы в атмосферу, после чего разносятся воздушными потоками. Радиоактивные газы, в свою очередь, в процессе распада превращаются в твёрдые радиоизотопы, впоследствии выпадающие на земную поверхность в виде активных осадков.

Активность представляет собой количество ядер, распадающихся за единицу времени. Традиционно в качестве единицы активности применяется беккерель (Бк). В международной системе единиц (СИ) данная единица единицей измерения является обратная секунда (s^{-1}). Внесистемной единицей активности является кюри (Ки, $1 \text{ Бк} \approx 2,703 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$). В практическом опыте наиболее часто используют единицы удельной

активности (удельной концентрации) радиоактивного вещества. Они демонстрируют активность единицы площади, объёма или массы какой-либо среды (Ки/м², Бк/г, Бк/м³) [26].

Радиоактивные элементы, которые поступают в почву в результате техногенных выбросов промышленных предприятий, благодаря локальному ветровому переносу пылевых частиц и аэрозолей золо- и шлакоотвалов, в результате добычи и переработки полезных ископаемых, сжигания ископаемого топлива, складирования отходов горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, влияния автотранспорта, применения минеральных удобрений и так далее, рассеиваются и мигрируют, попадая в почвы и воды близлежащих территорий. Кроме того, повышенные концентрации радионуклидов могут являться следствием самих месторождений или рудопроявлений данных элементов. Существенные площади повышенных содержаний радиоактивных элементов в результате большого числа материнских и дочерних естественных и техногенных радионуклидов служат дополнительным источником облучения местного населения.

1.2 Характеристика некоторых радионуклидов, формирующих радиационный фон

Первые наблюдения за явлением радиоактивности в почвах и горных породах проводили ещё в начале XX века. Исследования, проводимые в дальнейшем, показали, что все объекты географической оболочки Земли обладают определённой радиоактивностью. Общее представление о порядке наиболее часто наблюдаемых величин естественной радиоактивности почв, растений, земной коры и гидросферы представлены в таблице 1. Среди естественных радионуклидов учёными преимущественно рассматриваются уран, торий и радий.

Таблица 1 – Среднее содержание естественных радионуклидов в объектах географической оболочки Земли (по А. П. Виноградову и Л. А. Перцову)

Объект	Содержание элемента, масс. %		
	Уран	Торий	Радий
Земная кора	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-11}$
Почва	$1 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-11}$
Морская вода	$3 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-14}$
Пресная вода	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-15}$
Зола растений	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-11}$

Опасность в отношении загрязнения почвы могут представлять в основном лишь долгоживущие антропогенные радионуклиды, характеризующиеся довольно продолжительным временем их пребывания в почве; например, торий-232 и уран-238 [8].

Торий (Th) – химический элемент с порядковым номером 90. Светло-серый металл с плотностью $11,72 \text{ г/см}^3$, температура плавления его составляет $1750 \text{ }^\circ\text{C}$. Торий имеет 6 изотопов, из которых два долгоживущих: торий-232 ($T_{1/2}=1,39 \cdot 10^{10}$ лет) и ионий-230 ($T_{1/2}=8 \cdot 10^4$ лет). Скорость распада тория довольно мала. За 14 миллиардов лет количество атомов тория-232 уменьшается только в 2 раза. Поскольку возраст Земли всего лишь 4,5 млрд лет, то можно предположить, что существенное количество данного элемента сохранилось ещё с момента формирования нашей планеты.

Руды тория по своему генезису являются магматическими. При разрушении месторождений формируются россыпи, богатые минералами тория. Основным источником тория служат пески, содержание минерал монацит [26]. Наряду с другими природными изотопами тория, торий-232 образуется в малых количествах в процессе распада изотопов урана. Торий принадлежит к радиоактивному семейству урана-238, к ряду урана-радия [12].

Среднее содержание тория в земной коре составляет $1,3 \cdot 10^{-3}$ % по массе, а магматические горные породы и осадочные ($1,8 \cdot 10^{-3}$ % и $1,1 \cdot 10^{-3}$ %, соответственно) содержат значительно больше тория, чем магматические средние ($7 \cdot 10^{-4}$ %), основные ($3 \cdot 10^{-4}$ %) и в особенности ультраосновные горные породы ($5 \cdot 10^{-7}$ %). Известно порядка 120 минералов, содержащих в своём составе торий, главные из них – торит, монацит, торианит, циркон, ортит и апатит. Извлекают торий преимущественно из монацитовых россыпей [6].

Природные воды содержат очень мало тория ($1-2 \cdot 10^{-9}$ %), в результате чего торий довольно слабо мигрирует в гидро- и биосфере. Торий присутствует в почвах преимущественно в форме изоморфных примесей в минералах, прежде всего, в первичных кислых силикатах – в их кристаллическую решетку он встраивается значительно легче [15].

Радий (Ra) – это химический элемент с порядковым номером 88. Это серебристо-белый блестящий металл с плотностью 6 г/см^3 , его температура плавления составляет $700 \text{ }^\circ\text{C}$. Элемент имеет 4 изотопа: радий-226 ($T_{1/2}=1602$ года), мезоторий-228 ($T_{1/2}=6,7$ года), актиний X-226 ($T_{1/2}=11,4$ сут.) и торий X-224 ($T_{1/2}=3,64$ сут.).

По своим химическим свойствам радий довольно близок с барием, изоморфно может замещать его в следующих минералах: барите (сульфат бария) и витерите (карбонат бария). В природных водах радий встречается в форме хлорида. Для радия, помимо изоморфного замещения, существенное значение имеют радиоактивный распад урана-238 в породах (радий является продуктом данного распада), а также избирательное поглощение высшими растениями. Данное свойство растительных организмов, наиболее вероятно, было унаследовано ими от древних форм жизни, для которых радиоактивность радия служила дополнительным источником энергии [15].

В результате альфа-распада радия-226, сопровождаемого гамма-излучением, образуется радиоактивный газ – радон [26]. Среднее

содержание радия в земной коре составляет 10^{-10} % по массе. Радий-226 входит в состав всех руд урана (около 0,3 г/т). В рудах урана, помимо того, содержится изотоп радий-223, в рудах тория – радий-224 и радий-228. В результате вымывания из урановых руд в воде радий находится в растворённом состоянии, а также входит в состав вторичных минералов. Содержание радия в горных породах обычно составляет $2 \cdot 10^{-11}$ – $5 \cdot 10^{-12}$ г/г, в донных осадках – $5 \cdot 10^{-11}$ г/г.

В геологии изотопы радия (особенно, радий-228) нашли применение для определения возраста океанических осадочных пород и минералов. Радий используют в геохимии как индикатор смешения и циркуляции вод океанов (изотопы радий-226 и радий-228), а также для определения концентрации урана по равновесной активности радия [5].

Значительный интерес среди естественных радионуклидов представляет калий-40 (К-40) в силу его высокой распространённости в земной коре. Природный калий содержит три изотопа: калий-39, калий-40 и калий-41, из которых только калий-40 радиоактивен. Количественное соотношение этих трёх изотопов в природе выглядит следующим образом: 93,08 %, 0,012 %, 6,91 %.

Калий-40 распадается двумя путями. Порядка 88 % его атомов испытывают бета-излучение и превращаются в атомы кальция-40. На один акт распада калия-40 приходится около 0,893 бета-частиц с энергией 1311 кэВ и 0,107 гамма-квантов с энергией 1461 кэВ. Остальные 12 % атомов, испытывая К-захват, претерпевают изменения и превращаются в атомы аргона-40. На данном свойстве калия-40 основан калий-аргоновый метод определения абсолютного возраста горных пород и минералов [26].

Калий-40 в значительной мере определяет радиоактивность растений и животных. В организме он накапливается в мышечной ткани, эритроцитах, печени, головном мозге и легких [3]. Калий, в том числе радиоактивный К-40, может присутствовать в качестве изоморфной

примеси, и, кроме того, интенсивно сорбируется глинами – гидрослюдами и монтмориллонитом [15].

В нормах радиационной безопасности (НРБ) отсутствуют нормативы для удельной активности естественных радионуклидов, поэтому при сравнении для них часто принимаются во внимание значения средней удельной активности в гранитах, используемых в строительстве [19]. В гранитах в среднем удельная активность радия-226 составляет 130 Бк/кг, тория-232 – 140 Бк/кг, калия-40 – 800 Бк/кг, удельная эффективная активность естественных радионуклидов составляет 381 Бк/кг [10].

Среди техногенных радионуклидов, участвующих в формировании радиационного фона, наибольшее значение имеют долгоживущие продукты радиоактивного распада цезий – 137 и стронций-90.

Цезий является типичным редким и рассеянным элементом; среднее его содержание в земной коре составляет (по массе) $3,7 \cdot 10^{-4} \%$, в магматических горных породах (в ультраосновных – $1 \cdot 10^{-5} \%$, в основных – $1 \cdot 10^{-4} \%$, в кислых – $5 \cdot 10^{-4} \%$) и осадочных $1,2 \cdot 10^{-3} \%$. Цезий геохимически тесно связан с гранитным расплавом; концентрируется в пегматитах вместе с Li, Be, Ta и Nb. Известно несколько собственных минералов цезия, среди них поллуцит и авогадрит имеют важное промышленное значение [19].

Цезий по своим химическим свойствам напоминает калий, растворяется в воде, а в организме может размещаться в мягких тканях и селезёнке. Довольно легко выводится из организма. Цезий-137 также может входить в состав атмосферных выпадений [4].

ПДК по удельной активности цезия-137 в почве составляет 185 Бк/кг [13].

Стронций-90 – бета-излучатель с периодом полураспада 29,12 лет. Его максимальная энергия составляет 0,54 эВ. При его распаде образуется дочерний радионуклид ^{90}Y с периодом полураспада 64 ч.

Подобно ^{137}Cs , данный радионуклид может находиться в растворимой и нерастворимой в воде формах.

На стронций-90 приходится значительная часть активности в смеси продуктов ядерного взрыва. Так, при Чернобыльской катастрофе 35 % суммарной активности сразу после взрыва и 25 % через 15-20 лет составлял стронций-90. Значительное количество радионуклида было выброшено в среду при ядерной аварии на ПО «Маяк» в 1957 г. и при ветровом разносе 1967 г.

Являясь элементом, изоморфным кальцию, стронций-90, попавший в организм, практически полностью депонируется костной тканью. Особенно интенсивно этот процесс происходит у детей, хотя из детского организма радионуклид выводится быстрее, чем из взрослого.

Период полувыведения стронция-90 из организма человека составляет 90-154 суток. Депонирование радионуклида в костной ткани приводит к последующим нарушениям работы красного костного мозга - основной кроветворной ткани, обладающей очень высокой радиочувствительностью. От стронция-90, накопленного в тазовых костях, облучаются генеративные ткани. Поэтому ПДК для этого радионуклида примерно в 100 раз ниже, чем для цезия-137.

1.3 Радиоэкологическая ситуация на территории Челябинской области

Город Челябинск, как и Челябинская область, входит в группу регионов России с неблагоприятной экологической обстановкой. При этом, радиационное загрязнение вносит существенный вклад в общую экологическую ситуацию.

Территории, находящиеся в черте крупных промышленных городов, претерпевают существенные изменения структуры и состава почвенного покрова. В широком понимании городской почвой, или урбанозёмом – может быть любая почва, располагающаяся и функционирующая в

условиях города. Почвы в такой экологической среде живут и развиваются под воздействием аналогичных факторов, как и в случае с естественными почвами, но антропогенный фактор в городских условиях становится определяющим [8]. В результате, поведение естественных радионуклидов, вносящих наибольший вклад в радиационную обстановку на территории Челябинского городского бора, может существенно изменяться под влиянием антропогенного фактора.

Челябинский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Уральское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Челябинский ЦГМС – филиал ФГБУ «Уральское УГМС») располагает сетью наблюдения и осуществляет контроль уровня радиационного фона по всей территории Челябинской области. Наблюдения осуществляются регулярно, 1 раз в сутки.

По многолетним данным сети наблюдения среднестатистический уровень радиационного фона на территории Челябинской области в среднем составляет 0,11 мкЗв/ч. Такой уровень обусловлен преимущественно природной составляющей.

Среднемесячное значение гамма-фона за декабрь 2019 г. в Челябинске составило 0,13 мкЗв/ч. В целом, в декабре 2019 г. радиационная обстановка на территории Челябинской области была стабильная [20].

Согласно данным комплексного доклада Министерства экологии Челябинской области, в 2018 г. среднегодовая эффективная доза облучения на одного жителя Челябинской области от природных источников в 2018 г. составила 3,859 мЗв/год. Ведущим фактором облучения населения от природных источников является радон в воздухе помещений, на долю которого приходится до 88 % от суммарной коллективной эффективной дозы облучения населения от всех природных источников радиационного воздействия [17, 18].

По результатам радиохимического исследования продовольственного сырья и пищевых продуктов на содержание цезия-137 и стронция-90, в том числе на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате прошлой деятельности ПО «Маяк», превышения санитарных регламентов по содержанию стронция-90 и цезия-137 в исследованных пробах не фиксируется, не выявлено нарушений законодательства в области обращения с радиоактивными веществами. Во всех населённых пунктах значение средней индивидуальной эффективной дозы техногенного облучения населения значительно ниже регламента, установленного НРБ (1 мЗв/год). В 2018 году средняя эффективная доза техногенного облучения для одного жителя Челябинской области составляла 0,006 мЗв, что не превышает среднероссийский показатель (0,009 мЗв).

Наибольший вклад в коллективную эффективную дозу облучения местного населения на территории области вносят природные источники излучения – 85,71 %.

По отчетам Зеленогорского государственного геологического предприятия территория Челябинской области является неблагоприятной по содержанию в литосфере урана и тория и, соответственно, радона и торона. Общее число скоплений естественных радионуклидов (как точечных, так и площадного распределения) на территории области составляет 2450. Наибольшая концентрация скоплений наблюдается, преимущественно, в центральной части области, распределяясь с севера на юг. Наибольший значимый вклад в формирование доз внешнего облучения вносят высокоминерализованные радиоактивные аномалии коренных пород: Аяцкое, Борисовское и Анненское.

В области можно выделить несколько геологических провинций, различающихся по значениям радонового потенциала: Вишневогорская-Ильменогорская, Юго-Коневская, Челябинско-Джабыкская и Кацбахско-Суукдинская. На территории области зарегистрировано большое

количество источников питьевого водоснабжения, в которых наблюдается превышение регламента по суммарной альфа-активности и по содержанию радона-222. В то же время, превышения содержания других радионуклидов, кроме радона-222, в питьевой воде не зафиксировано.

Средняя удельная эффективная активность природных радионуклидов в добываемых строительных материалах составляет 127 Бк/кг. Максимальная удельная эффективная активность природных радионуклидов составила 706 Бк/кг (для гранитов Сосновского района).

Выводы по первой главе

1. Радиационный фон природных территорий складывается из источников природного и техногенного происхождения, формируясь в течении длительного времени.

2. Основными радионуклидами, способствующими формированию естественной радиации, являются изотопы урана, тори и радия, а также распространенный в природе ^{40}K . Основными дозообразующими радионуклидами техногенного происхождения являются ^{90}Sr и ^{137}Cs .

3. Наибольший вклад в суммарное облучение населения Челябинской области вносит природное облучение населения, вызванное существованием аномалии природной радиоактивной минерализации литосферы и гидросферы, что обуславливает повышенное содержание радона в воздухе помещений и в воде подземных источников питьевого водоснабжения на отдельных территориях области.

ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Общая характеристика Челябинского городского бора

Челябинский городской бор располагается на западной и юго-западной окраинах города. На севере и востоке бор ограничивает течение реки Миасс, на юге – каменный карьер, там же бор примыкает к пригородному поселку. Парк культуры и отдыха имени Ю. А. Гагарина, созданный в 1936 г. и расположившийся в северо-восточной части городского бора, занимает 1200 га и является одним из любимых мест отдыха жителей города.

Городской бор расположен на высоте 25-40 м над уровнем реки, самая высокая его точка располагается в 60 м над уровнем реки Миасс и в 273 м над уровнем моря.

Вся площадь бора, согласно лесоустройству, проведённому в 1938-1939 годах, разделена широкими просеками на квадратные кварталы, имеющие стороны около 500 м, таким образом площадь одного квартала составляет 0,25 км². На пересечении просек установлены специальные квартальные столбы, на которых располагается нумерация кварталов. Нумерация идет с северо-западного направления на юго-восток по горизонтальным линиям. Кварталы эти имеют важное хозяйственное значение – они необходимы для территориального разделения лесного массива с целью лучшей ориентации. Просеки также имеют немаловажное значение для обеспечения противопожарной безопасности соснового бора и, помимо этого, обеспечивают удобство сообщения с любой частью бора.

Челябинский сосновый бор лежит на Челябинском гранитном массиве. Рельеф всхолмленный, с отдельными сопками высотой 8-15 м с пологими склонами. Во многих местах бора имеются выходы гранитного фундамента на поверхность в виде каменных глыб, россыпей, больших гранитных плит [27].

Широкая и низменная долина реки Миасс, обозначающая границу бора, в некоторых местах заходит глубоко в сосновый массив на расстояния от 100 м до 400 м, а изредка даже до 700 м от уреза воды. По большей части это болотистые и мокролуговые территории.

Граниты бора довольно разнообразны. Среди них в северо-западной части можно встретить розовый, крупно- и мелкозернистый, а в южной части территории городского бора – светло-серые гранито-порфириды с крупными включениями полевого шпата, а также серые слюдяные, среднезернистые.

Река Миасс огибает бор с северной и западной границы. Длина реки в пределах бора составляет около 10 км.

На территории Челябинского городского бора можно встретить несколько удивляющих своей красотой и живописностью искусственных водоемов, расположенных в бывших каменоломнях. В периоды времени до революции и в годы первых пятилеток советской власти довольно активно разрабатывались месторождения гранита. Свои карьеры в бору имели горкомхоз, ЧТЗ, ЧГРЭС, ферросплавный завод, «Станкострой». С течением времени гранит потерял популярность, уступая более современным строительным материалам, и, таким образом, каменоломни остались брошенными, а впоследствии и заполнились водой. Теперь карьеры украшают Челябинский бор. В бору расположено несколько крупных карьеров, а также ряд более мелких в Парке им. Гагарина. На крупных карьерах часто можно встретить довольно много отдыхающих, это карьеры Шершнеvский (Студенческий), Изумрудный, и Голубой (Уфимский).

На территории бора также располагается естественное лесное озеро – в квартале №41. Типичное лесное, блюдцеобразное, частично заболоченное. Данное озеро представляет интерес благодаря своеобразной болотной растительности и обитающими в нём в довольно большом количестве тритонами.

В квартале №30 бора расположен исток реки Чикинка, протекающей по территории всего бора и впадающей в Миасс.

В бору можно встретить довольно много заболоченных территорий, преимущественно по берегам реки Миасс, но также и по течению реки Чикинки в старых, давно забытых каменоломнях и в понижениях рельефа.

Первые описания Челябинского городского бора появились в трудах И. М. Крашенинникова в 1905 г. Есть сведения, что в сороковых годах XVIII века бор имел протяженность свыше 12 км и в южной части, на правом берегу, доходил до поселка Сосновского. На тот момент площадь бора составляла более 25 км².

В 1914 г. бор заходил дальше современного Митрофановского совхоза и простирался свыше чем на 7 км с севера на юг, а площадь его составляла около 16 км². В 1960-х годах профессор А. Д. Сысоев отмечал значительное сокращение площади бора с 2500 га в 1736 г. до 1216 га в 1966 г., таким образом площадь бора сократилась более чем на две трети.

На сегодняшний день тенденция к уменьшению площади бора сохраняется, в связи с интенсивным ростом территории города и его населения.

Растительность Челябинского городского бора представлена по большей части сосновыми породами (91,4 %) с примесью березы бородавчатой и пушистой, ольхи и осины. В последние годы в состав древостоя также вошли тополь бальзамический, клен ясенелистный, татарский и остролистный, дуб черешчатый, карагач и лиственница сибирская. На участках с более влажным климатом растут смешанные сосново-березовые растительные сообщества, на заболоченных участках – ольшаники. В глубине бора и на его окраинах, в основном на тех участках, где ранее горел лес, можно встретить березняки. В сильно разреженных сосновых насаждениях довольно хорошо развит подлесок: боярышник кроваво-красный, кизильник черноплодный, шиповник коричный, ракитник русский, жимолость татарская, спирея городчатая, малина, дрок

красильный, рябина обыкновенная. Травяной покров бора насчитывает более двух сотен видов и не слишком отличается своеобразием. В глубине бора у основания сосен можно встретить кукушкин лен, зеленые мхи. В некоторых местах сохранились небольшие участки с напочвенным покровом, состоящим из различных видов лишайников.

Челябинский бор насчитывает более полусотни видов птиц. Наибольший интерес среди них представляют певчие птицы: пеночка, зяблик, конек, чаечка, щегол, иволга, дрозд, скворец и другие. Довольно часто на территории бора можно встретить ворон, сороки, дятлов, воробьи, кукушек. Хищные птицы представлены ястребом-перепелятником, малым канюком, черным коршуном, филином, пустельгой, соколом. Фауна пресмыкающихся и земноводных не слишком разнообразна: змея-медянка, ящерицы живородящая и прыткая, тритон, лягушка остромордая. В бору обитает много насекомых: чешуекрылые, комары, стрекозы, осы, муравьи, кузнечики, жуки, кокциnellиды, шмели. Также обитателем бора является непарный шелкопряд, который наносит существенный вред листовным деревьям. Из млекопитающих, обитающих в городском бору, можно выделить зайца-беляка, летучих мышей, белку, лесных мышей [27].

Челябинской городской бор является также важным объектом курного наследия города. Несмотря на то, что сосновый бор располагается в черте города и, казалось бы, должен быть уже давно досконально изучен, он по-прежнему постепенно открывает свои тайны для исследователей. Например, в мае 2020 г. недалеко от поселка Каменные Карьеры челябинские краеведы В. Пухов и И. Казанцев обнаружили гранитное надгробие на могиле купца, скончавшегося в 1887 г. Кладбище давно закрыли, церковь на его территории снесли, а памятник истории остался. По мнению равнодушных жителей города, данную надгробную плиту необходимо сохранить в областном архиве как музейный экспонат, чтобы сохранить связь исторических времён и событий [4].

Бор пользуется большой популярностью у всех горожан: кто-то приходит погулять и отдохнуть от городской суеты, кто-то занимается активными видами спорта. Для спортсменов организована лыжная база и несколько тренировочных и игровых площадок, а для отдыхающих помимо красот соснового леса и карьеров может быть интересен радоновый родник в южной части бора, неподалёку от Изумрудного карьера. Радоновый родник вырывается на поверхность с большой глубины. Радоновые воды чистые, холодные и содержат радиоактивный газ – радон, часто используемый в медицине для лечения различных заболеваний.

Сосновый бор получил второе название – лёгкие города, что немаловажно для Челябинска как города с развитой промышленностью и плотной застройкой. Но, несмотря на всю ценность Челябинского городского бора, на его территорию регулярно покушаются с попытками вырубки деревьев, строительства каких-либо объектов. Например, сейчас идёт активная борьба с вырубкой и уничтожением лесного массива под проект строительства на территории городского бора хирургического корпуса областной детской клинической больницы [1; 2]. Но по итогу по решению суда в мае 2020 г. были изменены границы памятника природы. Теперь их общая протяженность увеличилась до 57,28 км (до изменения составляла 53,97 км), а его площадь выросла до 1184,61 га (до изменения составляла 1130,48 га). Протяженность границ и площадь челябинского городского бора увеличились за счет включения в состав памятника природы территорий, расположенных в урочище «Монахи» и в пойме реки Миасс (от моста по улице Худякова до плотины пруда Коммунар) [25].

Строительство крупных хозяйственных, культурно-бытовых объектов, в том числе и объектов здравоохранения, на территории Челябинского городского бора может сказаться и на радиационной обстановке участка, отведённого под строительство, поскольку Челябинск расположен на крупном месторождении гранитов (приложение 1, рисунок

1.1). Вырубка лесного массива может негативно повлиять на почвенный покров и в дальней перспективе, в отсутствии должного контроля, привести к его деградации, что, в свою очередь, повлечёт развитие овражных систем. Подстилаящая поверхность будет обнажаться, граниты будут выходить на поверхность, вследствие чего будет наблюдаться рост значений радиационного фона. Это, в свою очередь, может повлиять на живые организмы – они приспособились к существующему уровню радиационного фона, а повышение его может вызвать даже некоторые заболевания у животных и растений.

В настоящее время существует очень мало исследований, посвящённых радиационному состоянию бора. Безусловно, мы регулярно можем наблюдать социальную активность, направленную на защиту городского бора, но связана она лишь с угрозой вырубки деревьев, и крайне редко рассматривается возможность возникновения иных проблем на данной территории.

2.2 Методы, используемые при изучении радиационного состояния почв Челябинского городского бора

Пробы почв отбирались в летне-осенний период. Пробы были отобраны при входе в Челябинский городской бор, возле ж/д станции Солнечная вблизи г. Монахи и вблизи пос. Шершнёвские каменные карьеры, радиационный фон в этих точках был различным – 16 мкР/ч, 33 мкР/ч и 14 мкР/ч соответственно.

При изучении почв и почвогрунтов рассматривалось состояние генетического горизонта на глубине 0-20 см, исключая лесную подстилку. Были составлены три объединённые пробы. Обработка проводилась по стандартным и общепринятым методикам.

Подготовка проб к анализу почвы заключалась в высушивании образцов на воздухе с периодическим перемешиванием, что привело к прекращению действия микробиологических процессов и связанных с

ними биохимических изменений образцов. Если образцы для просушивания помещать в сушильный шкаф с вытяжной вентиляцией и нагревательной системой, то температура в шкафу не должна превышать 40 °С. Недопустима сушка проб в микроволновой печи. Материал счетного образца был тщательно измельчен и перемешан для создания равномерного распределения радионуклидов по объему счетного образца. Также из проб были удалены корни растений и инородные включения.

Измерение удельной активности естественных радионуклидов проводилось при помощи методики измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine» (приложение 2). Измерения активности на сцинтилляционных гамма-спектрометрах выполняются методом эталонных спектров (МЭС) или, как его ещё называют, методом энергетических окон. Спектр анализируемого счетного образца, содержащий смесь радионуклидов раскладывается на составляющие. Разложение осуществляется по спектрам эталонных источников каждого радионуклида, аттестованных по активности и измеренных в той же геометрии, что и анализируемый образец. Коэффициенты разложения при этом оказываются пропорциональными активности радионуклидов, присутствующих в счетном образце. Коэффициент пропорциональности устанавливается при градуировке спектрометра по чувствительности.

Измерение радиационного фона в Челябинском городском бору проводилось при помощи дозиметра-радиометра МКС-05 «ТЕРРА». Данный прибор предназначен для измерения амбиентного эквивалента дозы $H\cdot(10)$ и мощности амбиентного эквивалента дозы $H\cdot(10)$ (далее – МЭД) гамма- и рентгеновского излучения, а также плотности потока бета-частиц. Дозиметр используется для дозиметрического и радиометрического контроля на промышленных предприятиях; экологических исследований; контроля радиоактивного загрязнения денежных купюр в банках; контроля радиационной чистоты жилых

помещений, зданий и сооружений, прилегающих к ним территорий, предметов быта, одежды, поверхности грунта на приусадебных участках, транспортных средств [9].

Карта радиационного фона Челябинского городского бора была составлена при помощи географической информационной системы QGIS, для интерполяции применялся метод обратного взвешивания расстояний.

Интерполяция по методу взвешенных расстояний (IDW) использует предположение, что объекты, расположенные ближе к другу в большей степени похожи, чем удаленные друг от друга. Чтобы найти значение в какой-либо точке, метод IDW использует опорные точки, находящиеся в окрестностях искомой.

Если выборки с высотами относительно равномерно распределены, и характеристики поверхности не меняются в различных частях ландшафта, можно с достаточной точностью интерполировать значения поверхности на основе значений в близлежащих точках. Чтобы учесть различную удаленность точек от искомой точки, значениям опорных точек, расположенных ближе к ней, присваивается больший вес.

Это основа метода интерполяции, известного как метод (обратных) взвешенных расстояний – Inverse Distance Weighting (IDW). Как следует из названия, вес значения уменьшается по мере увеличения расстояния от искомой точки.

Эти опорные точки будут оказывать большее влияние на интерполируемое значение, чем те, которые от нее удалены на значительное расстояние. Таким образом, метод IDW предполагает, что каждая опорная точка оказывает локальное влияние, которое уменьшается с расстоянием. Точкам, находящимся в окрестностях искомой, присваиваются весовые значения большие, чем удаленным от нее точкам. Отсюда и вытекает название метода: метод (обратных) взвешенных расстояний.

Метод взвешенных расстояний – это жесткий интерполятор, при котором максимальные и минимальные значения на проинтерполированной поверхности могут иметь только опорные точки. Результирующая поверхность чувствительна к кластеризации и присутствию в данных экстремальных значений. Метод взвешенных расстояний предполагает, что поверхность была получена с использованием локальной вариации, которая может быть учтена с помощью определения области поиска соседей. [16].

ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ЧЕЛЯБИНСКОГО ГОРОДСКОГО БОРА

На первом этапе работы были проведены натурные измерения радиационного фона в северной части Челябинского городского бора, как территории, наиболее активно используемой населением города в культурно-бытовых и рекреационных целях. По итогам работы составлена карта радиационного фона Челябинского городского бора, представленная в приложении 3, рисунок 3.1.

В качестве основных было выбрано 30 точек измерений. Большинство из них находится вдоль троп, располагающихся в просеках Челябинского городского бора. Три из них находятся в районе г. Монахи, на открытой местности, окружённой сосновым лесом. На остальных участках лес состоит преимущественно из лиственных пород с примесью хвойных. Измерения радиационного фона велись каждые 20 метров, но они не отображены на карте в связи с тем, что фон остаётся неизменным по отношению к выбранным основным точкам.

В целом радиационная обстановка в Челябинском городском бору незначительно превышает средние значения по Челябинску и Челябинской области, составляющие 11-13 мкР/ч, исходя из данных, опубликованных в свободном доступе Челябинским ЦГМС, но значительные превышения фона наблюдаются в северо-западной части бора в районе г. Монахи (до 33 мкР/ч), что, наиболее вероятно, обусловлено выходом на поверхность эманерирующих подстилающих пород – гранитов, являющихся носителями радиоактивных элементов. Помимо естественных выходов они также, наиболее вероятно, обнажаются в результате водной и ветровой эрозии – измерения проводились на склоне г. Монахи, где, судя по всему, идёт смыв почвы. Минимальные значения радиационного фона в 10-12 мкР/ч наблюдаются в северо-восточной части бора вблизи зоопарка, где дорожки асфальтированы, а выходов горных пород на поверхность не наблюдается.

Некоторое превышение среднего фонового значения в северо-восточной части бора вблизи лесной тропы, наиболее вероятно, обусловлено развитием оврага – в результате эрозии почвы обнажается материнская порода.

Безопасным считается уровень радиации до величины, приблизительно 0,5 мкЗв/ч (до 50 мкР/ч) [23]. Таким образом, радиационный фон Челябинского городского бора можно считать допустимым и безопасным, а превышения средних значений фона по Челябинской области, вполне вероятно, может быть обусловлено выходами на поверхность эманлирующих горных пород.

В данной работе более детально было изучено радиационное состояние почв Челябинского городского бора, была рассмотрена удельная активность в почвенных образцах таких естественных радионуклидов как калий-40, радий-226, цезий-137, торий-232. Результаты измерения проб почв на гамма-спектрометре представлены в таблице 2. Погрешности при определении входят в пределы нормы.

Таблица 2 – Результаты измерения проб почв Челябинского городского бора

№ места отбора пробы	Место отбора пробы	Радионуклид	Активность, Бк/кг	Погрешность, %
1	2	3	4	5
1	Ж/д ст. Солнечная, Монахи	К-40	1120	18
		Ra-226	52	18
		Cs-137	11,6	19
		Th-232	<19	–
2	Вход в ЧГБ	К-40	760	19
		Ra-226	39	16
		Cs-137	30	19
		Th-232	<73	–

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
3	Пос. Шершнёвские каменные карьеры	K-40	680	19
		Ra-226	42	13
		Cs-137	16	22
		Th-232	<54	–

По результатам измерений для более наглядного отображения данных был составлен график, представленный на рисунке 1. По нему мы можем судить о распределении радионуклидов на разных точках отбора проб и сравнить удельные активности изучаемых элементов.

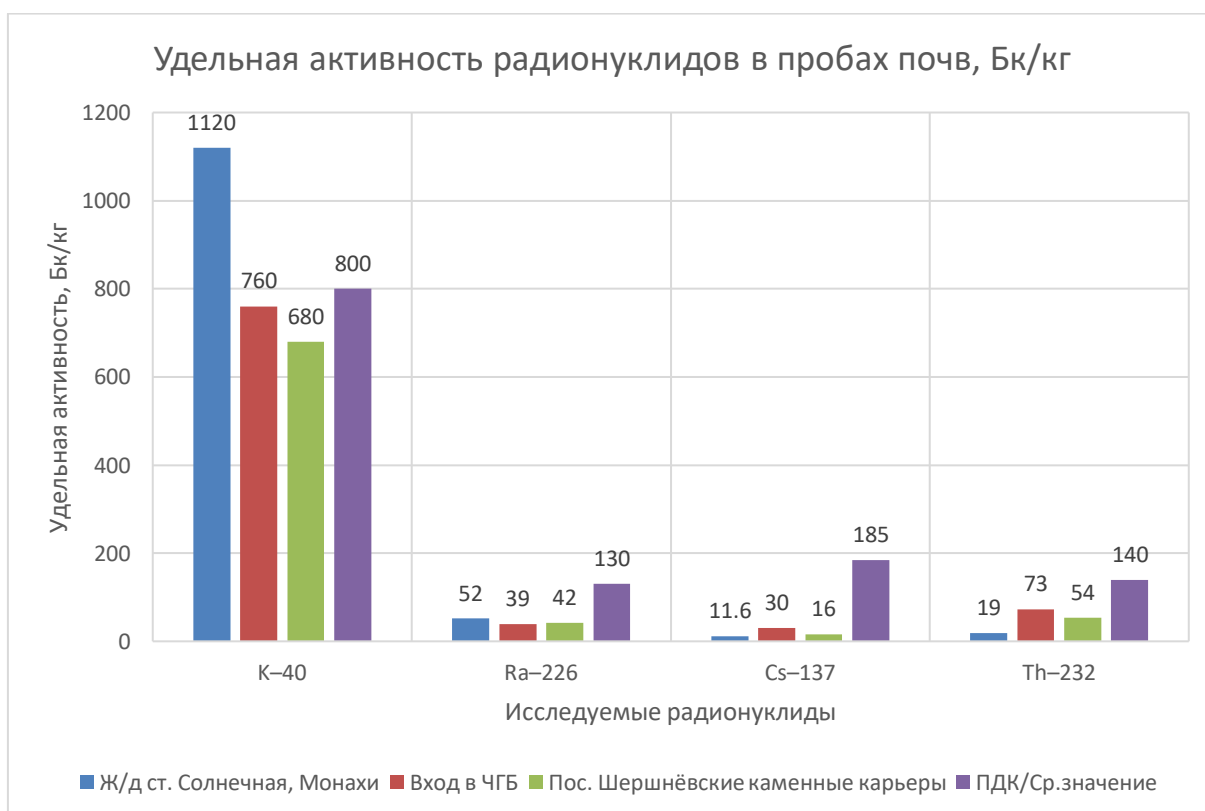


Рисунок 1 – Удельная активность радионуклидов в пробах почв Челябинского городского бора

Результаты определений показывают, что основным радионуклидом, обуславливающим естественный радиационный фон в исследуемых точках, является калий-40. Максимальным значением удельной активности радионуклида характеризуется первая точка отбора (ж/д станция

Солнечная), при этом данная величина в 1,4 раза превышает нормативные значения для строительных гранитов. В остальных точках калий-40 также является преобладающим радионуклидом, но его значения не превышают нормативов. Следует также отметить, что для точек 2 и 3, расположенных примерно в одной части бора, значения удельной активности калия-40 достаточно близки. Это может быть обусловлено достаточно высокой распространённостью в земной коре.

Удельная активность радия-226 так же имеет большие значения на первой точке отбора. В то же время, для всех исследуемых почв удельная активность радионуклида имеет достаточно близкие значения, что можно объяснить равномерным распространением гранита в почвах по всей территории парка.

Удельная активность тория-232 наибольшая на второй точке отбора проб (вход в городской бор), при этом, активность радионуклида при перемещении вглубь территории бора уменьшается, и наименьшим значением характеризуется точка у Монахов. В данном случае наблюдается некоторое отклонение от общих правил: считается, что активность тория, входящего в состав слюды, как порообразующего минерала гранита обычно возрастает при увеличении количества калия. В данном же случае наблюдается обратная ситуация: по мере возрастания удельной активности калия – 40 удельная активность тория падает.

Значения удельной активности радия-226 и тория-232 не превышают нормативных значений для строительных гранитов (130 Бк/кг и 140 Бк/кг соответственно). Обычно среднее содержание радия-226 и тория-232 в земной коре и горных породах довольно невелико, и значения удельной активности данных элементов на территории исследования вполне подтверждают этот факт.

Наличие калия-40 и тория-232 также можно связать с деятельностью ТЭЦ. Ранее, до использования природного газа, в качестве сырья

применялся каменный уголь, который содержит в себе естественные радиоактивные элементы.

С этим фактом может быть связано и содержание в почве цезия-137, проявляющего наибольшую активность так же в точке отбора проб при входе в бор. Данный радионуклид может иметь естественное происхождение, входя в состав горных пород, в частности гранитов, и проведённое исследование показывает, что его удельная активность вполне соответствует фоновым значениям. Более высокое значение при входе в бор может быть так же связано с техногенным воздействием, которому данная территория подвергается в большей степени, чем другие две точки отбора проб, более удалённые и находящиеся в лесной зоне. Можно предположить, что наличие цезия-137 также связано с аэральными выбросами при сжигании каменного угля, использовавшегося в качестве топлива на ТЭЦ.

Также можно просчитать удельную эффективную активность естественных радионуклидов, которая определяется по формуле (1):

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,31A_{Th} + 0,085A_K \quad (1)$$

где A_{Ra} – удельная активность радия-226, находящаяся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого естественных рядов;

A_{Th} – удельная активность тория-232, находящаяся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого естественных рядов;

A_K – удельная активность калия-40, Бк/кг.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов для первой точки отбора проб почвы составляет 172,09 Бк/кг; для второй – 199,23 Бк/кг; для третьей – 170,54 Бк/кг. Согласно данным ранее проведённых исследований других учёных [10], средняя удельная эффективная активность данных естественных радионуклидов в гранитах составляет 381 Бк/кг. Данные, полученные в ходе исследований, проведённых в рамках этой работы, не превышают значение в 381 Бк/кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя результаты проведённого исследования, следует отметить, что в целом радиационное состояние почв Челябинского городского бора вполне соответствует установленным нормам.

Наличие калия-40 и тория-232 может быть связано с двумя факторами: наличие в составе гранита, а также включение в состав каменных углей, которые довольно долгое время использовались в качестве сырья на ТЭЦ. Кроме того, калий-40 сам по себе довольно распространён в земной коре.

Наличие в почве цезия-137 может быть обусловлено тем, что он может включаться в состав горных пород, в частности гранитов, которые служат материнской породой для почвы на территории Челябинского городского бора – значения удельной активности данного элемента соответствует фоновым значениям. Иной причиной его нахождения в почве могут служить аэральные выбросы с ТЭЦ при сжигании каменного угля в качестве топлива. В том или ином случае, значения его удельной активности достаточно невелики.

По результатам выполненной работы можно сделать ряд выводов:

1. Радиационный фон Челябинского городского бора несколько выше средних значений, характерных для Челябинской области в целом, что обусловлено выходами гранитов. Наибольшие значения наблюдаются в северо-западной части бора и в районе оврага, расположенного на востоке.

2. Основным радионуклидом, вносящим вклад в формирование естественного радиационного фона, является калий-40, максимум удельной активности которого наблюдается в зоне Монахов.

3. Определенные значения радия-226, тория-232 и цезия-137 не превышают нормативных значений для строительных гранитов.

4. Установленные распределения удельных активностей естественных радионуклидов в почвах бора соотносятся с изменением радиационного фона исследуемых территорий.

5. В целом радиационная обстановка на территории Челябинского городского бора может считаться допустимой и безопасной.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Блог Александра Подопригоры. Не слезем [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://podoprigora74.livejournal.com/876735.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 19.05.2020.
2. Блог Александра Подопригоры. С них не слезут [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://podoprigora74.livejournal.com/860767.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 19.05.2020
3. Бурлаенко, В. З. Исследования влияния радиации на состояние почв [Текст] / В. З. Бурлаенко, С. Г. Котченко, Л. Н. Скипин, Е. В. Захарова, Е. В. Гаевая, А. О. Ознобихина // Аграрный вестник Урала. – 2017. – №4 (158). – С. 37–43.
4. Вечерний Челябинск. В городском бору нашли надгробный памятник XIX века [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://vecherka.su/articles/news/157408/>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 28.05.2020.
5. Горная энциклопедия. Радий [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://www.mining-enc.ru/r/radij/>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 15.04.2020.
6. Горная энциклопедия. Торий [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://www.mining-enc.ru/t/torij/>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 15.04.2020.
7. Горная энциклопедия. Цезий [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://www.mining-enc.ru/c/cezij-5560/>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 15.04.2020.
8. Грицко, П. П. Содержание урана и тория в верхнем горизонте городских почв Иркутска и природных почв в его окружении [Электронный ресурс] / П. П. Грицко, В. И. Гребенщикова. – Вестник

Иркутского государственного технического университета, 2012. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/soderzhanie-urana-i-toriya-v-verhнем-gorizonte-gorodskih-pochv-irkutska-i-prirodnih-pochv-v-ego-okruzhenii>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 10.05.2020.

9. Дозиметр-радиометр МКС-05 «ТЕРРА» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : http://www.doza.ru/docs/radiation_control/MKS_05_Terra.pdf, свободный. – Загл. с экрана.

10. Единое окно доступа к информационным ресурсам. Защита от радиационного излучения [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/566/77566/58651?p_page=11, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 10.05.2020

11. Естественный радиационный фон [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://www.quarta-rad.ru/useful/vse-o-radiacii/estestvenniy-radiacionniy-fon/>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 21.05.2020.

12. Испытательная лаборатория Лаб24. Торий-232 в почве [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://lab-24.ru/catalog/toriy-232/>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 19.05.2020.

13. Каблова, К. В. Накопление и распределение долгоживущих радионуклидов ^{90}Sr , ^{137}Cs и органического вещества в почвенном компоненте экосистеме озера Малые Кирпичики [Электронный ресурс] / К. В. Каблова, С. Г. Левина. – Вестник Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета, 2013. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/nakoplenie-i-raspredelenie-dolgozhivuschih-radionuklidov-90sr-137cs-i-organicheskogo-veschestva-v-pochvennom-komponente-ekosistemy>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 10.05.2020.

14. ЛСРМ. Методики [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://lsrm.ru/help/sertificates/metodiki.php/>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 19.05.2020.

15. Мажайский, Ю. А. Основные особенности естественной радиоактивности почв и пород рязанского региона [Электронный ресурс] / Ю. А. Мажайский, Г. А. Кононова, С. А. Тобратов. – Электрон. дан. – Режим доступа : https://www.rsu.edu.ru/wp-content/uploads/2015/03/13-Torbatov_statia051108.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 19.05.2020.

16. ArcGIS Desktop. Как работает метод обратных взвешенных расстояний [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.4/extensions/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 15.01.2020.

17. Министерство экологии Челябинской области. Комплексный доклад [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://www.mineco174.ru/htmlpages/Show/protectingthepublic>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 10.05.2020.

18. Министерство экологии Челябинской области. 2.5. Радиационная обстановка на территории Челябинской области [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://mineco174.ru/htmlpages/Show/protectingthepublic/2016/25Radiacionnayaobstanovkanate>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 10.05.2020.

19. Официальный интернет–портал правовой информации [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 10.05.2020.

20. Радиационная обстановка на территории Челябинской области в декабре 2019 года [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим

доступа : <http://chelpogoda.ru/pages/226.php>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 10.05.2020.

21. Радиационный фон [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e133.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 15.01.2020.

22. Радиационный фон – природный и техногенный [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-3/section-3/3-3/3-3-1>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 15.01.2020.

23. Радиация: общие сведения, единицы измерения, влияние на человека [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://www.kakras.ru/doc/dosimeter-radiometer.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 15.01.2020.

24. Радиоэкологическая обстановка в регионах расположения предприятий Росатома [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://фцп-ярб2030.рф/upload/iblock/9c7/9c7b89a361985b86cb1821993e310983.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 10.05.2020.

25. Сетевое издание информационное агентство «Урал-пресс-информ». Облсуд пояснил свою позицию по вопросу изменения границ челябинского городского бора [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://uralpress.ru/news/sreda-obitaniya/oblsud-poyasnil-svoyu-poziciyu-po-voprosu-izmeneniya-granic-chelyabinskogo>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 21.05.2020.

26. Старков, В. Д. Радиационная экология [Текст] / В. Д. Старков, В. И. Мигунов. – Тюмень : ФГУ ИПП «Тюмень», 2003. – 304 с.

27. Челябинский городской бор [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа : http://www.xn--74-6kca2cwbo.xn--p1ai/nature/parks/chelyabinskiy_gorodskoy_bor/, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 15.01.2020.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Карта минерально-сырьевых ресурсов Челябинской области

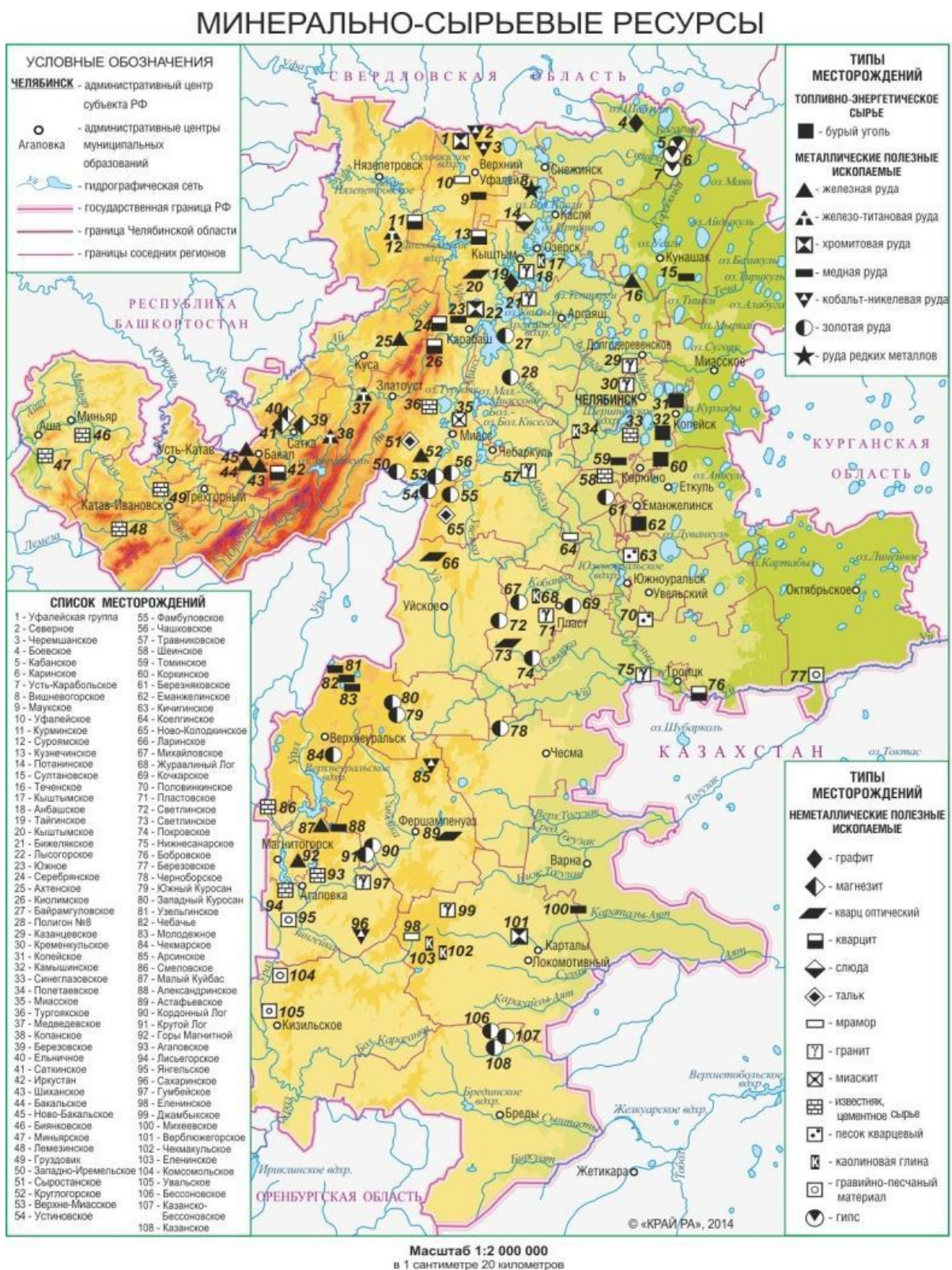


Рисунок 1.1 – Карта минерально-сырьевых ресурсов Челябинской области

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Методика измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine»

Измерения активности на сцинтилляционных гамма-спектрометрах выполняются методом эталонных спектров (МЭС) или, как его ещё называют, методом энергетических окон. Спектр анализируемого счетного образца, содержащий смесь радионуклидов раскладывается на составляющие. Разложение осуществляется по спектрам эталонных источников каждого радионуклида, аттестованных по активности и измеренных в той же геометрии, что и анализируемый образец. Коэффициенты разложения при этом оказываются пропорциональными активности радионуклидов, присутствующих в счетном образце. Коэффициент пропорциональности устанавливается при градуировке спектрометра по чувствительности.

Спектрометр должен быть откалиброван по чувствительности (установлена матрица чувствительности) для каждой используемой геометрии, для каждого радионуклида, который планируется измерять.

Обработка данных на полупроводниковых гамма-спектрометрах проводится модельным методом с использованием площадей пиков полного поглощения энергии (ППП) в спектрограмме. В этом методе основным информативным параметром является площадь ППП S .

Диапазон измерения удельной активности (УА) при использовании гамма-спектрометров зависит от чувствительности (эффективности) детектора, геометрии измерения, измеряемого радионуклида, предполагаемое наличие других радионуклидов в измеряемой пробе и определяется для каждого конкретного случая отдельно.

Нижняя граница диапазона измерения УА определена, как минимальная измеряемая активность (МИА) для времени измерения 1 час

и неопределённости 50 % при отсутствии в счетном образце других нуклидов в геометрии измерения – сосуд Маринелли объемом 1 литр.

Средства измерений и вспомогательное оборудование:

Гамма-спектрометр со следующими метрологическими и техническими параметрами:

- *со сцинтилляционным блоком детектирования:*

Состав:

а) Сцинтилляционный блок детектирования на основе NaI с размером не менее 40×40 мм либо на основе LaBr с размером не менее 25×25 мм;

б) ПО семейства SpectraLine (SpectraLineGP, SpectraLineBG, SpectraLineUltimate) или Lsrn2000.

Метрологические характеристики:

а) Энергетическое разрешение по линии 661 кэВ не более 8 %;

б) Интегральная нелинейность не более ± 1 %;

в) Временная нестабильность за время непрерывной работы (24 часа) не более 1 %.

- *с полупроводниковым блоком детектирования:*

Состав:

а) Полупроводниковый блок детектирования на основе ОЧГ;

б) ПО семейства SpectraLine (SpectraLineGP, SpectraLineBG, SpectraLineUltimate) или Lsrn2000.

Метрологические характеристики:

а) Энергетическое разрешение по линии 1332 кэВ не более 3,5 кэВ;

б) Интегральная нелинейность не более $\pm 0,05$ %;

в) Временная нестабильность за время непрерывной работы (24 часа) не более 0,1 %.

Источники для градуировки энергетической шкалы спектрометров и оперативного контроля чувствительности:

Перечень источников, необходимый для реализации настоящей методики, зависит от конкретной спектрометрической задачи. Необходимо иметь набор источников для градуировки спектрометра по энергии, источник для контроля чувствительности. Организации, выполняющей калибровку спектрометра по чувствительности, необходимо иметь эталонные источники гамма-излучения радионуклидный состав, которых соответствует составу измеряемых проб. Организации, выполняющей калибровку по эффективности регистрации гамма-квантов, необходимо иметь набор эталонных источников с радионуклидами, энергии линий которых лежат во всём интересующем диапазоне.

В состав спектрометра должны входить кюветы для измерения. Обычно используют сосуды Маринелли объемом 1л. При небольших объемах проб используются кюветы меньшего размера, например, так называемая «Дента» или чашка «Петри».

Требование к спектрометрам:

Спектрометры должны иметь действующие свидетельства о поверке. Спектрометры должны быть откалиброваны по энергии и по чувствительности или эффективности регистрации в используемых геометриях и соответствующие записи должны быть внесены в свидетельство о поверке. Свидетельство должно содержать: диапазон измеряемых энергий, список аттестованных геометрий измерения с перечнем радионуклидов для которых выполнена калибровка по чувствительности, активность контрольного источника, полученную на спектрометре.

Условия измерений:

При выполнении измерений должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха от 10 до 35 °С;
- атмосферное давление от 84.0 до 106.6 кПа;
- относительная влажность воздуха от 30 до 90 %;

- напряжение сети переменного тока частотой (50 ± 1) Гц от 187 до 242 В.

Подготовка счетных образцов.

Счетные образцы для измерений готовят из проб в соответствии с утвержденными для данной измерительной лаборатории инструкциями. Конкретизация способов отбора и подготовки пробы выносится за рамки настоящей методики. Для пищевых продуктов, лесопромышленной продукции и почв эти способы приведены в инструкциях.

Плотность материала счётного образца (навески) не должна отличаться более чем на 1 г/см^3 от плотности калибровочных источников.

Материал счетного образца тщательно измельчают и перемешивают для создания равномерного распределения радионуклидов по объему счетного образца.

Взвешивают пустую кювету до заполнения ее материалом счетного образца.

Проверяют на радиационную чистоту кювету для счётного образца. Интегральную скорость счёта от пустой кюветы за время измерения 30 минут сравнивают со скоростью счёта фона, если расхождения меньше 10 %, то кювета считается радиационно чистой.

Заполняют кювету материалом счетного образца до установленного объёма геометрии измерения. После заполнения измерительной кюветы поверхность счетного образца выравнивается по горизонтальному уровню.

Взвешивают кювету, заполненную материалом счетного образца.

Определяют массу счетного образца по результатам взвешивания до и после заполнения кюветы с неопределённостью не более 2 %.

При использовании процедуры концентрирования радиоактивного материала (сырья) проба должна быть взвешена до и после концентрирования. Некоторые способы концентрирования приведены в инструкциях.

Объём, массу навески, погрешность массы, материал навески, массы пробы и сырья заносят в паспорт на образец для измерения.

Подготовка к выполнению измерений

Порядок подготовки спектрометров к измерениям:

Готовят спектрометры к выполнению измерений в соответствии с Инструкцией по эксплуатации и Руководством пользователя ПО «SpectraLine». Подготовка спектрометров включает в себя:

- а) прогрев спектрометра;
- б) коррекция энергетической градуировки, в) оперативный контроль фона.

Подготовка спектрометров перед началом измерений:

Включают спектрометры в соответствии с Инструкцией по эксплуатации и запускают ПО «SpectraLine». Все дальнейшие операции проводят с помощью ПО «SpectraLine» в соответствии с Руководством пользователя.

После прогрева спектрометров в течении 30 минут (или в течении времени выхода на рабочий режим, приведенного в свидетельстве о поверке комплекса) производят коррекцию энергетической градуировки. Конкретные действия оператора при выполнении коррекции градуировки описаны в Руководстве пользователя ПО «SpectraLine».

Проводят оперативный контроль интегрального фона спектрометров за время не менее 10 мин. Конкретные действия оператора при выполнении оперативного контроля интегрального фона описаны в Руководстве пользователя ПО «SpectraLine». Если фон изменился, то пытаются установить и устранить причину его изменения. Так, если изменения связаны с радиоактивным загрязнением спектрометра, следует произвести дезактивацию загрязненных поверхностей и повторить измерения интегрального фона. Если же выяснить причины изменения фона и устранить их источники не удастся, необходимо провести новое измерение и сохранение фона.

Раз в 3 месяца проводят контроль чувствительности спектрометров, путем измерения активности контрольных источников. Проводится измерение контрольного источника за время 10 мин. и расчет его удельной активности (активности) и сравнение с паспортным значением .

Выполнение измерений

Операции, непосредственно выполняемые оператором при работе с программой при измерении счетных образцов, приведены в руководстве пользователя ПО «SpectraLine».

Проведение измерений на гамма спектрометре.

Установить соответствующий счетный образец на детектор гамма-спектрометра в рабочее положение для измерений.

В ПО SpectraLine вызвать окно анализатора и нажать на кнопку «Пуск». Ввести параметры счетного образца в появившееся окно «свойства спектра» из паспорта на образец. Из перечня геометрий измерения, в которых отградуирован спектрометр, выбрать геометрию, соответствующую образцу. Из паспорта на измеряемый образец ввести в программу массу счётного образца и его материал (если используется модельный метод расчёта активности). В случае отбора из сырья пробы и её предварительного концентрирования нужно ввести массу полученного образца (навески), отобранной пробы и массы сырья.

В следующем окне нужно выбрать время измерения. Рекомендуется проводить измерение спектра счетного образца за время не менее 10 мин. Если загруженность спектрометра позволяет проводить длительные измерения спектра, рекомендуется устанавливать время набора около 60 мин. При выполнении поставленной задачи (достижения необходимой точности, установления факта, что актив- ность пробы заключена в заданном интервале) измерение можно остановить, в противном случае нуж- но продолжить измерение, увеличив установленное время в программе. После измерения нужно остановить набор спектра и сохранить его на жёсткий диск.

Примечание. Следует отметить, что продолжительность измерений более 4 часов на практике не имеет смысла, т.к. в этом случае случайная составляющая неопределённости (неопределенность по типу А), как правило, уже существенно ниже систематической (по типу В), и продолжение измерений не изменит принципиально общую неопределённость результата.

Обработка результатов измерений

Расчет активности А и неопределённости её определения ΔA производят с помощью ПО «SpectraLine» в соответствии с Руководством пользователя.

Активность радионуклидов для гамма-тракта может быть рассчитана как методом эталонных спектров, так и модельным методом (кнопка с соответствующей пиктограммой, выбор метода осуществляется из выпадающего меню по стрелке вниз справа от кнопки).

Результат расчёта активности выводится в окне «Информация об активности» в виде таблицы с колонками «нуклид», «активность», «погрешность».

Результаты расчёта активности при необходимости можно вывести в виде отчёта по заранее подготовленному шаблону. Для этого нужно нажать на кнопку «Отчёт» в окне «Информация об активности»

Оформление результатов

Результат измерения активности по каждому анализируемому радионуклиду представляют в виде (3.1):

$$A \pm \Delta A, \text{ либо } A (\delta A), \quad (3.1)$$

где А – активность радионуклида в источнике, Бк;

ΔA – абсолютная неопределённость определения суммарной активности для $P=0,95$, Бк .

δA – относительная неопределённость определения активности для $P=0,95$, %.

При $\delta A > 50 \%$ приводится лишь верхняя граничная оценка измеряемой активности: активность в счётном образце не более $A \pm \Delta A$.

Контроль точности результатов измерений

Точность результатов измерений, выполненных по настоящей МВИ, гарантируется при условии работоспособности спектрометров, соблюдении правил эксплуатации согласно технической документации на них. Целесообразно периодически (один раз в 3 месяца) проводить контроль точности результатов измерения.

Раз в 3 месяца проводят контроль точности результатов измерения спектрометров, путем измерения активности контрольных источников. Проводится измерение контрольного источника за время 10 мин. и расчет его удельной активности (активности) и сравнение с паспортным значением.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Карта радиационного фона Челябинского городского бора

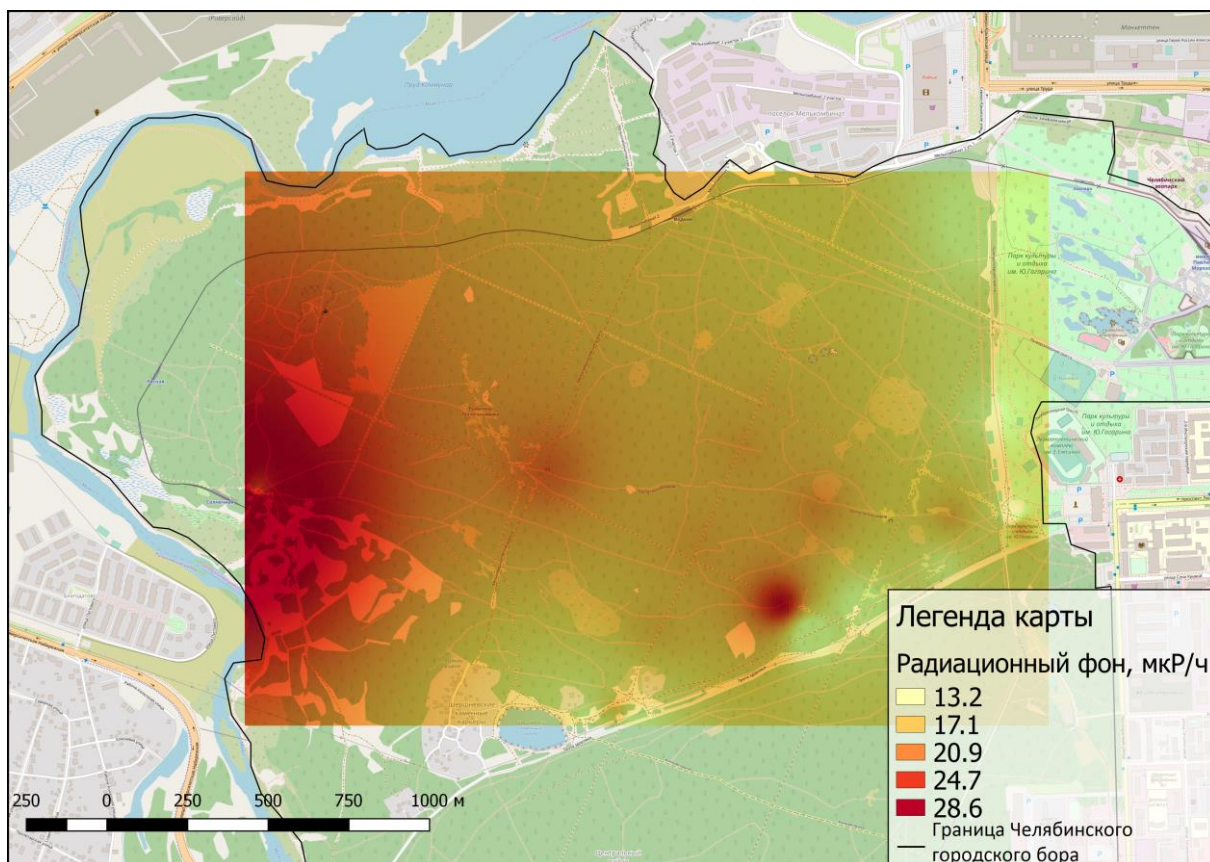


Рисунок 3.1. – Карта радиационного фона Челябинского городского бора