



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ЮУрГПУ»)

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

**Пространственная оценка гамма-фона города Чебаркуль**  
**Выпускная квалификационная работа по направлению**  
**05.03.06 Экология и природопользование**

**Направленность программы бакалавриата**  
**«Природопользование»**  
**Форма обучения очная**

Проверка на объем заимствований:  
60,75 % авторского текста

Работа рекомендована к защите  
рекомендована/не рекомендована

« 8 » июня 2023г.

Зав. кафедрой Химии, экологии и методики  
обучения химии

Сутягин А.А. Сутягин А.А.

Выполнила:

Студентка группы ОФ-401/058-4-1  
Кучина Екатерина Евгеньевна

Научный руководитель:

д-р. б. наук, профессор

Назаренко Назар Николаевич Назаренко Назар Николаевич

Челябинск  
2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ИОНИЗИРУЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – ХАРАКТЕРИСТИКА И МОНИТОРИНГ .....	6
1.1 Понятие об ионизирующих излучениях, их виды .....	6
1.2 Радиационный фон .....	8
1.3 Биологическое действие ионизирующего излучения .....	19
1.4 Радиационный мониторинг .....	26
1.5 Мониторинг радиационного фона на территории города Чебаркуль	31
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	32
2.1 Характеристика объекта исследования .....	32
2.2 Экологическое картографирование .....	36
2.3 Методика исследования .....	42
ГЛАВА 3. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ГАММА-ФОНА ГОРОДА ЧЕБАРКУЛЬ .....	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА .....	58

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность** данной работы обусловлена наличием проблем оценке радиационной обстановки в городе.

Прежде всего, существует относительно небольшое количество наблюдательных пунктов не только в самом Чебаркульском районе, но и во всей Челябинской области. Между тем, любые объекты общественной инфраструктуры, использующие источники ионизирующего излучения, могут быть потенциальным источником попадания радиоактивных веществ в окружающую среду. Однако существующие пункты мониторинга охватывают лишь часть этих объектов, и представленные средние показатели по городу не всегда информативны для жителей относительно радиационной обстановки в конкретных жилых районах.

Второй проблемой является социально-психологический фактор по отношению к радиации. Так существует общественное заблуждение о том, что любое радиационное излучение является опасным и может привести к гибели. Радиация является обычным физическим явлением, которое в некоторых случаях может нанести вред организму, но в малых дозах не представляет угрозы для здоровья.

Также достаточно широко распространено мнение о том, что все радиоактивные вещества имеют одинаковое воздействие на организм. Однако это тоже неверно. Каждый элемент имеет свою радиоактивность, которая определяет ее воздействие на ткани и клетки человека. Поэтому, радиоактивное иод-131, который активно используется в медицине для лечения заболеваний щитовидной железы, не представляет угрозы для окружающей среды и населения в малых количествах.

В целом, вопросы радиационной безопасности необходимо изучать и интерпретировать на основе реальных фактов и убедительных научных данных. Необходимо грамотно информировать население о реальных рисках и опасностях, связанных с радиацией, и тщательно отличать правду

от мифов и ложных убеждений. Человеческое восприятие было сильно искажено, особенно после серии техногенных аварий в Челябинской области. Одним из наиболее заметных последствий среди них является Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). Эти аварии, наряду с информационными сообщениями, о небольших повышениях радиации в различных местах области и города, могли бы привести к заинтересованности населения об общей радиационной обстановке на местах их проживания.

**Цель** исследования: оценка пространственного распределения величин гама-фона на территории г. Чебаркуль.

Для реализации цели поставлены следующие **задачи**:

1. Изучить источники радиации и характеристики радиационной обстановки в Чебаркульском районе Челябинской области.
2. Выявить и объяснить закономерности пространственного распределения гамма-фона в г. Чебаркуль.
3. Определить показатели радиационного фона в г. Чебаркуль.
4. Составить карту пространственного распределение гамма-фона на территории города.

**Объект** исследования: показатели величин гамма-фона (мкР/ч).

**Предмет** исследования: характер пространственного распределения гамма-фона в г. Чебаркуль.

**Научная новизна** – проведено картографирование актуальных величин гамма-фон г. Чебаркуль в различные сезоны года, что позволяет визуализировать уровни радиации в разных областях города и выделить потенциально опасные зоны.

**Практическая значимость** – результаты работы могут быть использованы жителями города, а также органами местного самоуправления, для общего понимания радиационной обстановки в городе.

**Методы исследования** – использованы методы анализа, синтеза, мониторинга, методы полевых инструментальных исследований, методы геоинформационного картографирования, пространственной интерполяции и математико-статистические методы.

**Структура исследования.** Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 58 страницах, содержит 7 рисунков. Список использованных источников включает в себя 23 названия. Приложение представлено в виде рисунка.

# ГЛАВА 1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – ХАРАКТЕРИСТИКА И МОНИТОРИНГ

## 1.1 Понятие об ионизирующих излучениях, их виды

Ионизирующие излучения – это все излучения, контакт со средой которых приводит к ионизации с образованием электрических зарядов разных знаков [3].

Нас интересуют два известных типа ионизирующего излучения: прямое ионизирующее излучение и непрямое ионизирующее излучение.

Прямое ионизирующее излучение возникает, когда кинетическая энергия заряженных частиц достаточна для ионизации атомов при столкновении с веществом. Это включает в себя корпускулярное излучение, которое включает в себя потоки электронов, позитронов и тяжелых заряженных частиц, таких как протоны, нейтроны и атомные ядра.

С другой стороны, косвенное ионизирующее излучение относится к излучению, которое генерирует вторичные заряженные частицы при взаимодействии со средой. Эта категория включает фотонное излучение (включая электромагнитное излучение, рентгеновские лучи и гамма-лучи), а также потоки нейтронов и других незаряженных частиц.

Виды коротковолнового излучения, способные ионизировать среду первоначально определялись ГОСТ 15485-74 [2].

Известны несколько видов ионизирующего излучений:

Альфа-излучение.

Когда природный радионуклид подвергается радиоактивному распаду, он выделяет поток ядер гелия, также известных как альфа-частицы. Эти альфа-частицы имеют массу 4 атомных единицы массы (и) и заряд +2. Их энергия обычно колеблется от 4 до 7 МэВ. В воздухе альфа-частицы могут преодолевать расстояния в 8-10 см, в то время как в

биологической ткани они могут проникать лишь на несколько десятков микрометров.

Из-за малого радиуса действия альфа-частиц в веществе в сочетании с их высокой энергией они демонстрируют самую высокую плотность ионизации на единицу длины по сравнению с другими типами излучения - до 10 000 ионных пар на сантиметр длины пути.

Бета-излучение.

Во время радиоактивного распада образуется поток электронов или позитронов. Бета-частицы имеют массу, равную  $1/1838$  массы атома водорода, и несут заряд  $+1$  (позитрон) или  $-1$  (бета-частица). Энергия бета-излучения обычно не превышает нескольких МэВ. В воздухе бета-частицы могут преодолевать расстояния от полуметра до двух метров, в то время как в биологических тканях их радиус действия составляет около 2-3 см.

По сравнению с альфа-частицами бета-частицы обладают меньшей способностью к ионизации, образуя несколько десятков ионных пар на сантиметр длины пути.

Нейтронное излучение.

Нейтроны – это, нейтральные частицы с массой, равной массе атома водорода. При взаимодействии с веществом нейтроны теряют свою энергию в результате упругих и неупругих столкновений. При контакте с атомными ядрами нейтроны могут генерировать как заряженные частицы, так и гамма-фотоны. Быстрые нейтроны в процессе потери своей энергии при упругих и неупругих столкновениях передают часть своей энергии ядрам. При упругом рассеянии начальная кинетическая энергия нейтрона равна сумме кинетических энергий рассеянных нейтронов. В этом случае отскакивающее ядро становится способным вызывать ионизацию, если оно приобретает более высокую кинетическую энергию.

В связи с нашей темой гамма-излучение имеет особое значение. Гамма-излучение возникает в результате изменений энергетических состояний атомных ядер, ядерных превращений или аннигиляции частиц.

Ключевой отличительной особенностью гамма-излучения по сравнению с альфа- и бета- излучением является его высокая проникающая способность при низкой ионизирующей мощности. Другими словами, гамма-излучение обладает низкой плотностью ионизации на единицу пройденного расстояния.

Рентгеновское излучение относится к фотонному излучению, состоящему из тормозного излучения и/или характеристического излучения. Он образуется, когда энергия фотонов не превышает 1 МэВ (в ускорителях электронов и рентгеновских трубках). Тормозное излучение – тип фотонного излучения с непрерывным энергетическим спектром, возникающий в результате замедления заряженных частиц. Характеристическое излучение, с другой стороны, относится к фотонному излучению с дискретным энергетическим спектром, возникающему в результате изменений энергетических состояний атомных электронов [12].

Дополнительная схожесть рентгеновского и гамма-излучения проявляется в способности образовывать вторичные электроны при взаимодействии с веществом. Вторичными электронами являются фотоэлектроны при фотоэффекте. Электроны, образовавшиеся в результате воздействия фотонного излучения, производят ионизацию, аналогично первичным электронам той же энергии [3].

## 1.2 Радиационный фон

Космическая составляющая радиационного фона.

Вторичное излучение возникает, когда первичные частицы взаимодействуют с материей Земли и атмосферы. Этот процесс может привести к созданию новых частиц, которые представляют собой вторичное излучение. Примеры таких частиц – космические лучи, нейтрино, гамма-лучи и другие.

Вторичное излучение более слабое, чем первичное, но оно все еще может иметь важные последствия для здоровья и технологий. Например,



вторичное излучение может вызывать мутации в ДНК человека и других организмов, повреждать электронику и другие технологии, а также вызывать рак и другие заболевания.

Изучение космического излучения и его влияния на Землю является важной задачей для науки и технологии. Научные исследования помогают понимать, как излучение влияет на живые организмы, как его можно контролировать и как использовать его в различных технологиях, таких как космические и радиационные системы. Первичное галактическое излучение состоит из частиц, которые возникли в межзвездном пространстве и попали в Солнечную систему. Примерно 90 % этого излучения состоит из протонов высокой энергии, в то время как ионы гелия-4 составляют оставшиеся 10 %.

Первичное солнечное излучение, которое происходит от вспышек на Солнце, вызывает появление протуберанцев - выступов над его поверхностью. Однако первоначальное солнечное излучение обладает относительно низкой энергией и не является значительным источником внешней радиации на Земле. В то же время, в верхних слоях атмосферы, которые более подвержены этому виду излучения, мощность поглощенной дозы может временно увеличиться в несколько сот раз [1].

При столкновении частиц высокой энергии первичного космического излучения с атомными ядрами на расстоянии около 20 км от поверхности Земли происходит образование вторичного излучения с высокой энергией. Это вторичное излучение включает нейтроны, протоны, электроны, фотоны и другие частицы. Таким образом, образуется вторичное космическое излучение.

В результате таких столкновений частицы с меньшей энергией подвергаются потере энергии в результате ионизации. Многие из образующихся частиц во вторичном космическом излучении обладают достаточной энергией для инициирования последующих ядерных взаимодействий.

Протоны и нейтроны вторичного излучения, будучи неспособными к существенной генерации в значительных количествах в нижних слоях атмосферы из-за быстрого рассеяния энергии в результате ионизации и взаимодействия с атомными ядрами, преимущественно возникают в верхних слоях атмосферы. Ближе к поверхности Земли наблюдается значительное снижение плотности потока протонов и нейтронов, и их вклад в общую мощность дозы на уровне моря составляет всего несколько процентов.

Исключением являются нижние слои тропосферы, где основной вклад в мощность поглощенной дозы вносят ядра азота и кислорода. Продукты активации (космогенные радионуклиды) образуются в результате реакций с участием азота и кислорода [5].

Однако в нижних слоях атмосферы доминирующим фактором, влияющим на мощность поглощенной дозы, является присутствие электронов, образующихся в результате распада ионов, ионизации воздуха другими заряженными частицами или ионизации во время каскадных ливней.

Интенсивность потока частиц космического излучения претерпевает временные изменения из-за колебаний солнечной активности, возникновения солнечных вспышек и изменений атмосферного давления. Максимальный уровень ионизации наблюдается в периоды минимальной солнечной активности, в то время как минимальный уровень ионизации соответствует пику солнечной активности.

На уровне моря годовая эффективная эквивалентная доза космического излучения составляет приблизительно 0,3 мЗв (или 0,003 Зв), что примерно эквивалентно мощности гамма-излучения в 3,4 мкГр/ч. Ионизирующая составляющая составляет 93 % дозы, в то время как нейтронная составляющая составляет 7 % [5].

Излучение окружающей среды вырабатывается радиоактивными элементами, встречающимися в природе в горных породах, строительных

материалах, живых организмах, воде и воздухе. На его долю приходится 5/6 годовой эквивалентной дозы, получаемой населением.

Горные породы, содержащие природные радионуклиды, являются основным источником радиоактивных веществ в биосфере. Под воздействием эрозии (водной, ветровой и механической) горные породы разрушаются, и радиоактивные вещества распространяются в окружающей среде. Это приводит к насыщению окружающей среды радионуклидами. Количество радионуклидов, присутствующих в окружающей среде, зависит от типа и расположения горных пород.

Существуют средние значения концентраций радионуклидов в различных типах горных пород. Например, согласно данным Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР), средняя концентрация калия-40 в граните составляет 1200 Бк/кг, радия-226 – 100 Бк/кг, а тория-232 – 80 Бк/кг.

Деятельность растительного и животного мира играет значительную роль в процессах миграции радиоактивных изотопов и их вовлечения в естественные круговороты [14].

Некоторые изотопы образуют смесь со стабильными изотопами, которые активно участвуют в метаболических процессах и обеспечивают функционирование органов и систем живых организмов. Примерами таких изотопов являются калий-40, углерод-14 и тритий.

На накопление этих изотопов в организме в первую очередь влияет концентрация присутствующих в нем стабильных изотопов. Присутствие других радиоактивных изотопов в биологической системе зависит от их концентрации в окружающей среде. Например, в золе растений, произрастающих на обычных почвах, концентрация урана составляет приблизительно  $3 \cdot 10^{-4}$  г/кг, в то время как в растениях, выращенных на почвах, обогащенных ураном, она составляет около  $2 \cdot 10^{-3}$  г/кг. Примерами таких изотопов являются уран-238, радий-226, торий-232, полоний-210 и свинец-210.

Антропогенная составляющая радиационного фона.

Антропогенное воздействие на радиационный фон предполагает использование человеком природных радионуклидов, добываемых из земной коры, а также искусственных радионуклидов и техногенных источников излучения.

Добыча и утилизация природных радионуклидов, таких как уран и торий, для различных целей, включая производство энергии и промышленное применение, способствуют антропогенному радиационному облучению. Эти действия могут привести к выбросу радиоактивных материалов в окружающую среду, потенциально повышая уровень радиации.

Кроме того, искусственные радионуклиды, которые образуются в результате ядерных реакций на атомных электростанциях, исследовательских установках или при испытаниях ядерного оружия, также могут вносить свой вклад в радиационный фон. Аварийные выбросы или ненадлежащее захоронение радиоактивных отходов могут еще больше усугубить это воздействие.

Техногенные источники излучения, такие как медицинские диагностические и терапевтические процедуры, связанные с использованием ионизирующего излучения, промышленная деятельность с использованием источников излучения и ядерные аварии, также способствуют общему радиационному облучению в результате деятельности человека.

Таким образом, антропогенное воздействие на радиационный фон охватывает как преднамеренное использование естественных и искусственных радионуклидов, так и непреднамеренный выброс излучения из различных технологических источников, что подчеркивает важность надлежащих методов и правил радиационной безопасности.

В России ежегодно диагностируется свыше 30 тыс. новообразований, из них более 10 тыс. – злокачественные. Радиоактивные вещества

используются обычно в виде изотопов, которые могут быть либо поглощены тканями организма (радиоактивный йод, радиоактивный цезий и др.), либо введены в них путем инъекций (радионуклиды йода, цезия, кобальта и др.). Наиболее опасны для здоровья человека радиоактивные вещества, содержащие в своем составе йод или цезий.

Ситуации создания доз облучения [1]:

1. Во время рентгенодиагностических процедур всего тела.
2. При диагностической визуализации конкретных органов используются фармацевтические препараты, содержащие радиоактивные изотопы, такие как фосфор-32, хром-57, йод-133 и другие, вводимые внутрь.
3. Во время лучевой терапии используются такие радиоактивные источники, как кобальт-60 (который составляет 75,6 % всех терапевтических установок), цезий-137 (5,6 %), линейные ускорители (10,7 %) и другие.

Эта практика предполагает преднамеренное использование радиации в медицинских целях, что способствует антропогенному облучению. Важно обеспечить соблюдение надлежащих мер безопасности и протоколов, чтобы свести к минимуму потенциальные риски для пациентов и медицинского персонала. Регулирующие органы и руководящие принципы регулируют безопасное использование радиации в этих диагностических и терапевтических процедурах.

При рентгенодиагностических процедурах максимальная средняя годовая доза на костный мозг, ЖКТ и все тело составляет: 1310 мкГр/г, 860 мкГр/г и 1386 мкГр/г, соответственно. При этом следует отметить, что средняя эквивалентная доза облучения в районах с «нормальным» радиационным фоном равняется 2200 мкЗв/г [1].

При рентгеноскопии, рентгенографии и флюорографии поглощенная доза в гонадах равняется 166 мкГр в год, 169 мкГр в год и 0,9 мкГр в год, соответственно. А генетически значимая доза равняется 77 мкГр в год, 149 мкГр в год и 1 мкГр в год [1].

Во время терапии орган, на который воздействуют, получает значительную нагрузку, обычно составляющую от 20 до 60 Гр, в течение нескольких сеансов. В результате половые железы подвергаются вредному побочному эффекту, когда они поглощают дозу, равную 1 Гр от первичной дозы облучения на поверхности тела. С учетом рассеянного излучения в половых железах поглощенные дозы составляют 0,607 Гр на 1 Гр поверхностной дозы для женщин (при терапии яичников) и 0,845 Гр для мужчин (при облучении коленной чашечки) [1].

Ещё одним источником облучения населения являются предметы, регулярно используемые человеком в быту. Например, содержащие радий-226 часы в циферблате приводят к облучению с мощностью дозы в 0,074 мкГр/ч [16]. Рентгеновское излучение, создаваемое цветным телевизором, генерирует мощность дозы, равную 0,003 мкГр/ч, а на расстоянии в 5 см от экрана – 100 мкГр/ч (10 миллирад/ч) [10].

#### Испытания ядерного оружия.

Во второй половине 20-го века ядерные испытания были проведены пятью государствами, обладающими ядерным оружием, в различных регионах мира. Соединенные Штаты провели в общей сложности 1056 ядерных испытаний. Китай провел 43 испытания (6 атмосферных, 17 подземных и 20 подводных). Советский Союз провел 715 ядерных испытаний, из них 207 – в атмосфере и 508 – под землей или под водой. Примечательно, что самыми мощными испытаниями, мощность которых достигала 58 мегатонн в тротиловом эквиваленте, были испытания водородной бомбы, проведенные на архипелаге Новая Земля. Соединенное Королевство провело 43 испытания, из них 21 – в атмосфере и 24 – под землей или под водой. Франция провела 198 ядерных испытаний, из них 45 – в атмосфере и 154 – под землей или под водой. Согласно данным Министерства атомной энергетики Российской Федерации, средний общий выброс энергии в результате всех ядерных испытаний составил 261,965 мегатонны в тротиловом эквиваленте, в то время как в

Соединенных Штатах было зафиксировано 218,86 мегатонны в тротиловом эквиваленте [1].

На протяжении 35 лет ядерные испытания имели далеко идущие последствия, приведшие к глобальному загрязнению радионуклидами всей биосферы. Соединенные Штаты приступили к испытаниям ядерного оружия в 1945 г. Наиболее интенсивные периоды ядерных испытаний пришлось на период с 1954 г. по 1958 г. (большинство испытаний проводили Соединенные Штаты) и между 1961 г. и 1962 г. (большинство испытаний проводил Советский Союз). В 1963 г. значительное число стран подписали договор об ограниченном запрещении ядерных испытаний, который запрещал атмосферные ядерные испытания, но не касался подземных испытаний. Впоследствии только Китай и Франция провели серию ядерных испытаний в атмосфере, причем последнее атмосферное испытание состоялось в 1980 г. [1].

«Долгоживущие» радионуклиды вносят значительный вклад в дозу облучения, получаемую населением. Примерно половина радиоактивных продуктов, образующихся после атмосферного ядерного взрыва, оседает в радиусе 100 км от эпицентра. Следовательно, площадь, затронутая выпадением радиоактивных материалов на сушу и водные поверхности, составляет 30000 км<sup>2</sup>.

Оставшаяся половина радиоактивных осадков попадает в стратосферу и тропосферу. Мелкие аэрозольные частицы (радиусом в несколько микрометров) возвращаются на поверхность Земли в течение месяца через тропосферу. Благодаря атмосферной циркуляции радиоактивные осадки из тропосферы могут переноситься и осаждаться за тысячи километров от эпицентра взрыва.

За исключением мелких аэрозольных частиц, присутствующих в тропосфере, большинство радионуклидов попадают в стратосферу, где они подвергаются длительному перемешиванию, прежде чем в конечном итоге осесть на поверхности Земли. Примечательно, что наибольшая доля

выпадения радионуклидов приходится на северное полушарие, поскольку там было проведено значительное количество ядерных испытаний.

После ядерного взрыва образуются различные искусственные радионуклиды, наиболее опасным из которых является плутоний-239. Плутоний-239 естественным образом не образуется в окружающей среде. После взрыва радионуклиды первоначально оседают вблизи эпицентра взрыва (частицы радиусом более 100 мкм). Радиус этой зоны составляет несколько десятков километров. В течение 48 час. после взрыва радиоактивные осадки выпадают на поверхность Земли, вызывая поверхностное загрязнение местности. Это загрязнение в первую очередь является результатом радиоактивного распада плутония-239 и урана-238. В свою очередь, ядерные испытания, произведенные в гидросфере или литосфере (суммарно их было произведено 1520), вызывают радиоактивное загрязнение вод мирового океана (как непосредственно, так и со стоком), а также загрязнение грунтовых вод.

Ядерные испытания в литосфере, в частности, приводят к изменениям в тектонических процессах. Характер этих изменений зависит от состава слоев породы на глубине испытания. После ядерного взрыва происходит дополнительное увеличение подвижности земной коры, накладывающийся на естественную сейсмическую активность земной коры. Например, в регионе Каспийского моря подземные ядерные испытания привели к смещению сейсмической активности в сторону северных районов, где до испытаний преобладали менее подвижные формы. Аналогичные процессы можно наблюдать на Новой Земле, Кольском полуострове и в Пермском крае.

Любой подземный ядерный взрыв вызывает тепловые, химические, механические и радиационные явления, которые нарушают естественный цикл процессов как на поверхности, так и внутри земной коры. В результате любой ядерный взрыв, проводимый в литосфере, запускает длительную цепочку изменений в природных процессах. Эти изменения



затрагивают не только литосферу, но и гидросферу и атмосферу. Более того, зона загрязнения, вызванного взрывом, постоянно расширяется.

Даже «мирные подземные ядерные взрывы», направленные на улучшение экологической обстановки на территории, оказались экономически неэффективными из-за высокого уровня радиоактивного загрязнения. Эта экономическая неэффективность сохранялась даже тогда, когда применялись ядерные взрывы малой мощности [7].

Другой проблемой является демонтаж ядерных боеголовок, который приводит к загрязнению окружающей среды. Например, в 1990 г. у Советского Союза было 25000 ядерных боеголовок. При среднем сроке службы в 15 лет требовалось ежегодно заменять 1650 ядерных боеголовок. Процесс демонтажа сложен и опасен и включает в себя несколько этапов: разборку боеголовок, извлечение ядерного заряда и электромеханических компонентов. В России демонтаж осуществляется специализированными производственными предприятиями. Тритиевые заряды отправляются в Челябинск, урановые – в Екатеринбург, а плутониевые – в Северск.

Автономные электростанции (АЭС) обладают рядом неоспоримых преимуществ: высокой выработкой электроэнергии, относительно низкой стоимостью топлива и экологической безопасностью при нормальной эксплуатации. В 1994 г. общая установленная мощность атомных электростанций по всему миру достигла 350 000 мегаватт (МВт). В том году атомные электростанции были представлены в 29 странах.

Доля искусственных выбросов радионуклидов в окружающую среду в ходе ядерного топливного цикла составляет приблизительно 4 % для атомных электростанций и 96 % для предприятий по переработке ядерного топлива.

Контролируемые и организованные выбросы, как правило, характерны для ядерного топливного цикла. Выбросы атомных электростанций выбрасываются через дымоходы высотой 100-150 м., что приводит к снижению концентрации искусственных радионуклидов в

приповерхностном слое за счет более эффективного рассеивания в атмосфере. В случае безаварийной эксплуатации атомные электростанции поддерживают высокие коэффициенты удержания искусственных радионуклидов, которые достигаются за счет технологических мероприятий по удержанию радионуклидов как в теплоносителе, так и в активной зоне. Кроме того, постоянно совершенствуются технические меры по удержанию искусственных радионуклидов.

Все вышесказанное относится к условиям безаварийной эксплуатации атомных электростанций и установок по переработке ядерного топлива. Вероятность аварий на этих объектах оценивается в  $10^{-6}$ , но количество и состав выбросов искусственных радионуклидов во время аварий могут варьироваться. Они зависят от мощности реактора, степени и характера повреждений в активной зоне, а также времени, прошедшего с начала аварии. В течение 1 часа в атмосферу может быть выброшено до 30 % от общей активности, что эквивалентно 0,004 ядерным взрывам мощностью 1 мегатонна. Такая ситуация возможна в случае значительного повреждения активной зоны.

Поскольку образование радионуклидов во время ядерного взрыва совпадает с моментом их выброса в окружающую среду, он характеризуется большим количеством короткоживущих радионуклидов. В свою очередь, во время аварии на атомной электростанции значительная часть искусственных радионуклидов образуется задолго до момента выброса в окружающую среду. Следовательно, аварии на атомных электростанциях характеризуются более высоким содержанием долгоживущих радионуклидов. В результате снижение уровня радиоактивного загрязнения после аварии на атомной электростанции будет более длительным по сравнению с ядерным взрывом.

Благодаря небольшой высоте выброса радиоактивной загрязнение будет охватывать меньшую площадь земной поверхности, но из-за

большого числа долгоживущих элементов загрязнение будет сохраняться более длительный промежуток времени.

Однако при аварии на Чернобыльской атомной электростанции была спрогнозирована малая площадь радиоактивного загрязнения, но вследствие неоднократного изменения направления потока воздушных масс и их скорости, а также длительного периода производившихся выбросов (10 суток), площадь, подвергшаяся загрязнению, оказалась огромной. При этом она имеет сложную пространственную характеристику. Суммарный выброс искусственных радионуклидов составил  $50 \cdot 10^6$  Ки (3,5 % искусственных радионуклидов, которые содержались в активной зоне во время аварии).

Хотя каменный уголь содержит небольшое количество радионуклидов, его массовая доля в общем облучении населения становится значительной из-за большого объема угля, который сжигается. Основная часть радионуклидов попадает в атмосферу вместе с пылью при сжигании угля [9].

В бытовых условиях также есть источники радиоактивного излучения. Например, при производстве глянцевой бумаги для журналов широко используется каолин, белая глина, которая содержит радиоактивные изотопы урана и тория. Различная стеклянная посуда, включая вазы, графины и бокалы, также может содержать искусственные изотопы свинца, что может приводить к облучению населения.

### 1.3 Биологическое действие ионизирующего излучения

Физическая стадия повреждения клетки включает поглощение клеткой энергии излучения посредством ионизации атомов. Даже при смертельной дозе для млекопитающих, которая составляет 1000 рад, ионизируется только  $1 \cdot 10^{-6}$  молекул, и ткани получают чрезвычайно малое количество энергии (2 кал/г). Это явление известно, как «радиобиологический парадокс», который относится к несоответствию

между экстремальной реакцией биологической системы (включая летальные исходы) и минимальным количеством энергии, поглощаемой системой.

Кроме того, стоит отметить, что большинство ионизированных молекул рекомбинируют. В результате воздействие радиации на биологические системы не может быть объяснено исключительно первичными изменениями физических параметров внутри клеток, что делает теории, основанные на попадании в цель и точечном нагреве, неадекватными. Предположительно, когда ионизирующее излучение взаимодействует с живым организмом, в действие вступают другие механизмы, приводящие к повреждающим эффектам [15].

Эти реакции протекают цепочно: радикал или химически автономная молекула, которая вступает в реакцию после ионизации, запускает две другие активные молекулы, называемые радикалами. Эти радикалы действуют как катализаторы и индуцируют образование других активных молекул или фрагментов. В результате начинается первичное воздействие ионизирующего излучения на живой организм, причем значительную роль играют как прямые, так и косвенные эффекты [13].

Первичные физические процессы, которые происходят после воздействия ионизирующего излучения в живых организмах, включают образование веществ с высокой химической реакционной способностью. Основа биологических эффектов ионизирующего излучения связана с продуктами радиолиза воды ( $H$ ,  $OH$ ,  $HO_2$ ,  $H_2O_2$ ), но ионизирующее излучение также может оказывать непосредственное воздействие на молекулы и надмолекулярные структуры.

Излучение способно вызывать различные изменения денатурации, включая отслоение радикалов, разрушение слабых связей, деполимеризацию и многое другое. Эти эффекты могут привести к изменениям в структуре и функциях биологических молекул, таким как повреждение ДНК и денатурация белка. Кроме того, ионизирующее

излучение может инициировать химические реакции и генерировать активные формы кислорода, которые могут вызвать окислительный стресс и дальнейшее повреждение клеточных компонентов.

Важно отметить, что биологические эффекты ионизирующего излучения сложны и многогранны, включая комбинацию прямых и непрямых взаимодействий с клеточными компонентами. Конкретные результаты зависят от таких факторов, как тип и энергия излучения, полученная доза и конкретная задействованная биологическая система. В биологическом эффекте процессы миграции энергии и возникновения метастабильных изменений могут быть значительными в результате длительного сохранения возбужденного состояния в макромолекулярных субстратах. Использование различных методов исследования (таких как люминесцентные и масс-спектрометрические методы) в экспериментах, связанных с радиобиологией, показывает, что энергия, получаемая от ионизирующего излучения, не обязательно реализуется в месте взаимодействия. Энергия воздействует на самое слабое место биологической системы, двигаясь по специфическим путям, присущим этой структуре.

Было показано возникновение незаметных долгоживущих повреждений при облучении, которые выявляются при воздействии факторов, не связанных с радиацией [4].

То, как организм реагирует на ионизирующее излучение, зависит от величины экспозиционной дозы (измеряемой в рентгенах или серых тонах) и поглощенной дозы. На тяжесть радиационного поражения влияют как доза облучения, так и продолжительность воздействия. Если облучение кратковременное, повреждающие эффекты будут более заметными по сравнению с длительным воздействием в той же дозе. В случае фракционного облучения биологические эффекты снижаются. Организм может переносить такое излучение в больших кумулятивных дозах.

При оценке тяжести радиационного поражения значительную роль играют возраст организма и его индивидуальная реактивность. Значительные различия в индивидуальной реактивности наблюдаются в экспериментах на животных, где некоторые собаки могут пережить однократное воздействие 600 Рад, в то время как другие погибают при дозе 275 Рад. Было обнаружено, что беременные особи и молодые организмы более чувствительны к ионизирующему излучению. Старые организмы обладают самой низкой сопротивляемостью из-за снижения регенеративных процессов.

Воздействие ионизирующего излучения на организмы можно разделить на две основные категории: генетические и соматические эффекты. Генетические эффекты наблюдаются у потомства, в то время как соматические эффекты наблюдаются непосредственно в организме, подвергшемся воздействию радиации.

Соматические эффекты можно далее классифицировать на ранние и поздние эффекты. Ранние соматические эффекты проявляются в течение от нескольких минут до двух месяцев после облучения. Эти эффекты включают покраснение кожи, помутнение хрусталика глаза, повреждение кроветворной системы и могут даже привести к лучевой болезни и смерти.

Следовательно, может потребоваться несколько лет, прежде чем отдаленные соматические эффекты станут заметны. Эти эффекты включают изменение цвета кожи, появление злокачественных опухолей, подавление иммунного ответа организма и сокращение продолжительности жизни. Раскрыты общие принципы воздействия ионизирующего излучения:

Даже незначительное количество поглощенной энергии может оказать глубокое пагубное воздействие на биологические процессы организма.

Биологическое воздействие ионизирующего излучения может быть унаследовано будущими поколениями через генетические особенности организма.

Биологические последствия ионизирующего излучения проявляются в скрытом периоде: заметные признаки вреда организму проявляются не сразу.

Период латентности может иметь различную продолжительность, варьирующуюся от нескольких минут до десятков лет. Длительность латентного периода зависит от полученной дозы облучения, а также от возраста организма и его чувствительности к радиации. Например, высокие дозы облучения, достигающие десятков тысяч рад, могут привести к быстрой гибели организма, в то время как длительное воздействие низких доз облучения может вызвать изменения в нервной системе или возникновение опухолей через многие годы после облучения [10; 11].

При оценке радиочувствительности организма важным фактором является возраст человека, интенсивность его обмена веществ, физиологическое состояние и условия облучения. Помимо дозы облучения, которой организм был подвергнут, роль играют также мощность дозы, характер облучения (однократное, повторное, фракционированное, хроническое, внутреннее или внешнее, общее или частичное), а также физические свойства излучения (гамма-излучение, бета- или альфа-частицы), определяющие проникновение излучения в организм и вызываемую им ионизацию. Взаимодействие этих факторов позволяет оценить биологическую эффективность облучения.

Когда дело доходит до внутреннего радиационного облучения организма (в случаях, когда источником излучения являются изотопы, попавшие в организм), химические характеристики изотопа играют решающую роль. Эти характеристики определяют его участие в метаболизме, его способность накапливаться в определенных органах и характер радиационного воздействия на биологическую систему.

Степень радиочувствительности была обнаружена у различных биологических объектов, таких как микроорганизмы и растения [7; 8].

Микроорганизмы можно ранжировать с точки зрения радиочувствительности следующим образом: вирусы являются наименее чувствительными, за ними следуют бактериальные споры, дрожжи, плесневые грибки, а бактерии являются наиболее чувствительными. Однако эта классификация не является фиксированной, поскольку существуют виды бактерий, которые более устойчивы, чем вирусы. Среди бактерий существует широкий диапазон чувствительности в пределах одной популяции. В популяции бактерий всегда существует больше радиорезистентных клеток, для их уничтожения требуются гораздо более высокие дозы облучения по сравнению с дозами, которые могут убить большинство бактерий. Грамотрицательные бактерии более восприимчивы к радиации, чем грамположительные бактерии. Напротив, птицы и млекопитающие менее устойчивы к радиации по сравнению с растениями [6].

Небольшие дозы радиации могут стимулировать активность растений, приводя к увеличению зеленой массы, интенсивности роста, всхожести семян и многому другому. Однако более высокие дозы, варьирующиеся от 200 Гр. до 400 Гр, могут привести к снижению выживаемости растений, а также к возникновению уродств и мутаций. Изменения в растениях, возникающие в результате радиационного облучения, связаны с образованием первичных радиотоксинов. В малых дозах радиотоксины могут стимулировать жизнеспособность растений, в то время как в больших дозах они нарушают рост и развитие растений. Промывка семян в течение 24 час. после воздействия ионизирующего излучения снижает угнетение растений на 50-70 %. Лучевая болезнь у растений может возникнуть из-за воздействия различных видов ионизирующего излучения. Наиболее опасными видами излучения для растений являются альфа-излучение и нейтронное излучение, которые



нарушают метаболизм углеводов, липидов и нуклеиновых кислот в растениях.

Наиболее чувствительными к радиации частями растений являются их молодые ткани и корни. Основным симптомом лучевой болезни растений является задержка роста. Например, у молодой пшеницы, кукурузы и фасоли нарушение роста происходит через 20-30 час. после воздействия доз, превышающих 4 Гр. Однако различные исследования показали, что облучение сухих семян дозами от 3 Гр. до 15 Гр не только не подавляет рост, но и ускоряет большинство биохимических процессов. Этот эффект приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур и более быстрому развитию. У растений были выявлены вид специфичные, зависящие от сорта и индивидуальные изменения чувствительности к радиации [6].

Например, у традесканции проявляются симптомы лучевой болезни при дозе 40 рад, в то время как у гладиолуса симптомы проявляются при 6000 рад. Смертельная доза радиации для большинства высших растений колеблется от 2000 рад. до 3000 рад, в то время как для низших растений она составляет 30000 рад. Лучевая болезнь также повышает восприимчивость растений к инфекционным заболеваниям. Облученные растения становятся непригодными для потребления человеком и в качестве корма для скота, поскольку они могут передавать лучевую болезнь потребителям в результате внутреннего облучения. В настоящее время отсутствуют эффективные методы защиты высших растений от лучевой болезни.

Основными факторами, определяющими воздействие ионизирующего излучения на живые организмы, являются следующие:

1. Тип излучения: хотя все виды ионизирующего излучения могут воздействовать на живые организмы, существуют различия в количестве энергии, передаваемой различными типами излучения, что влияет на их проникающую способность.

2. Доза, полученная организмом: вероятность биологических последствий, возрастает с увеличением доз облучения.

3. Продолжительность облучения: доза, накопленная в течение недель, будет иметь меньшие последствия по сравнению с той же дозой, полученной в течение нескольких минут.

4. Облученная часть тела: конечности могут получать более высокие дозы облучения с менее выраженным повреждением, в то время как кровь и внутренние органы, расположенные в области малого таза, могут получить значительный ущерб от более низких доз облучения.

5. Возраст организма: из-за замедления процессов регенерации и деления клеток с возрастом организм пожилых людей менее чувствителен к воздействию ионизирующего излучения.

6. Биологические различия: некоторые люди более чувствительны к радиации, чем другие. По отдельности и в сочетании данные факторы определяют преобладающий тип лучевых реакций (общий или местный), а также специфичность и время проявления симптоматики и её влияния на организм [7].

#### 1.4 Радиационный мониторинг

Monitor (с лат.) переводится как «наблюдающий». Мониторинг, который производится путем систематического и повторного наблюдения за состоянием окружающей среды, базируется на понятии «наблюдение». Это позволяет отслеживать изменения в состоянии окружающей среды в течение времени и в разных пространственных точках.

Академик РАН Ю.А. Израэль в 1974 г. сформулировал более конкретное определение мониторинга. По Ю.А. Израэлю мониторинг – комплексная система наблюдений, оценки и прогнозирования состояния биосферы, включая её отдельные элементы под антропогенным воздействием [2]. В первую очередь в мониторинг входит изучение состояния окружающей среды при воздействии на неё загрязнений и

Радиационный контроль включает в себя мониторинг и обеспечение соблюдения нормативных документов для обеспечения безопасности от ионизирующего излучения. Оно проводится специализированными службами и должностными лицами с использованием контрольных устройств и методов для измерения уровней радиации и оценки радиационной обстановки. Цель состоит в том, чтобы собрать точную информацию о радиационном облучении и создать безопасную среду для населения. Радиационный контроль играет решающую роль в защите людей и окружающей среды от потенциальных радиационных опасностей и осуществляется усилиями преданных своему делу специалистов и регулирующих органов.

Основные цели проведения экологического мониторинга для оценки антропогенного воздействия на данную территорию [2]:

- наблюдение и оценка эксплуатационного состояния антропогенных источников воздействия;
- отслеживание и оценка различных факторов, связанных с антропогенной деятельностью;
- мониторинг динамического состояния окружающей природной среды и выявление изменений, вызванных антропогенными факторами;
- оценка физических параметров, характеризующих состояние окружающей среды;
- прогнозирование потенциальных изменений в состоянии окружающей среды в результате влияния различных антропогенных факторов, а также прогнозирование будущего состояния природной среды;
- мониторинг окружающей среды: в этом направлении осуществляется систематическое наблюдение за состоянием окружающей среды, включая атмосферу, водные ресурсы, почву, растительность и животный мир. Целью является определение уровней загрязнения, идентификация и оценка источников загрязнения, а также оценка воздействия на окружающую среду и экосистемы.

Практические аспекты мониторинга [2] включают:

- мониторинг качественных и количественных изменений факторов, влияющих на окружающую среду, и последующих изменений, происходящих в ней;
- оценка текущего фактического состояния природной среды и оценка степени ее загрязнения;
- прогнозирование состояния природной среды в ответ на потенциальное антропогенное загрязнение и описание характеристик такого состояния;
- мониторинг может быть классифицирован в зависимости от степени консолидации информации на несколько типов;
- глобальный мониторинг включает в себя наблюдение и прогнозирование процессов и явлений во всей биосфере Земли, включая все экологические компоненты, с целью выявления и устранения потенциальных экстремальных ситуаций;
- базовый (фоновый) мониторинг направлен на изучение глобальных природных явлений в их естественном состоянии, не подверженных влиянию человека;
- национальный мониторинг предполагает наблюдения, проводимые в масштабе всей страны;
- региональный мониторинг связан с наблюдением за процессами и явлениями в пределах конкретных регионов, характеризующихся их уникальными особенностями и закономерностями развития;
- местный мониторинг сосредоточен на отслеживании воздействия конкретных источников антропогенного загрязнения;
- мониторинг воздействия основан на наблюдении и оценке местного антропогенного воздействия в зоне повышенного риска.

Система государственного мониторинга структурирована на два функциональных типа мониторинга:

1. Базовый или стандартный мониторинг предполагает систематическое и оптимальное наблюдение за окружающей средой с использованием тщательно подобранного набора параметров, частоты измерений и географического охвата. Это обеспечивает максимальную экономическую эффективность и предоставляет исчерпывающую информацию о состоянии окружающей среды. Этот вид мониторинга проводится с помощью сети наблюдательных пунктов, распределенных по всей стране.

С другой стороны, мониторинг кризисов или чрезвычайных ситуаций предполагает оперативный контроль уровней загрязняющих веществ, выбросов и других критических факторов, а также принятие мер быстрого реагирования для предотвращения или сдерживания аварий и катастроф. Для содействия системам кризисного мониторинга создаются территориальные структуры, ответственные за мониторинг и контроль параметров окружающей среды.

2. Научный или прецизионный мониторинг фокусируется на точных и детализированных измерениях, предназначенных для научных исследований и анализа. При этом часто используются специализированные методы, оборудование и методологии для получения точных данных о конкретных параметрах окружающей среды. Научный мониторинг играет ключевую роль в понимании сложных экологических процессов, изучении долгосрочных тенденций и поддержке научных исследований и оценок [13].

Таким образом, базовый мониторинг обеспечивает систематическое и всестороннее наблюдение, а кризисный мониторинг фокусируется на оперативной реакции на критические ситуации и обеспечении безопасности.

Научный мониторинг предполагает точное изучение конкретных показателей природной среды для прогнозирования долгосрочных изменений, возникающих в результате экологического дисбаланса, и выявления тенденций в антропогенном воздействии. Она включает в себя калибровку и проверку значений, полученных в ходе основных мероприятий по мониторингу. Научный мониторинг поддерживается координирующими структурами, сформированными на базе существующих подразделений Российской академии наук.

Целями радиоэкологического мониторинга [13] являются следующие:

Наблюдение и оценка состояния территорий, загрязненных радионуклидами, включая особо опасные районы, и осуществление мер по снижению их рисков.

Параметры мониторинга, характеризующие радиоэкологическую ситуацию на загрязненных территориях и за их пределами.

Определение направления изменений в состоянии окружающей природной среды при эксплуатации опасных объектов класса 2 и деятельности, связанной с радиоактивным топливом, а также на загрязненных территориях.

Исследование изменений в состоянии здоровья людей, проживающих на территориях, пострадавших от радиоактивного загрязнения.

Базовый мониторинг в области радиационной экологии играет ключевую роль в сборе информации, которая является основой для дальнейшего анализа. Для получения этой информации базовый мониторинг применяет специальные методы исследования, специфические для изучаемых объектов.

## 1.5 Мониторинг радиационного фона на территории города Чебаркуль

Мониторинг радиационного фона на территории г. Чебаркуль осуществляет Челябинский центр по гидрометеорологии и мониторингу состояния окружающей среды – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Уральское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Челябинский ЦГМС – филиал ФГБУ «Уральское УГМС»). Челябинский ЦГМС имеет свою сеть наблюдений за радиационным фоном на территории Челябинской области. В данной сети наблюдений замеры осуществляются регулярно с периодичностью 1 раз в 24 час. [11].

По данным многолетних измерений среднестатистический показатель радиационного фона в Челябинской области равен 0,11 мкЗв/ч. Естественным считается значение от 0,1 до 0,16 мкЗв/ч. Относительной нормой считается не более 0,2 мкЗв/час, но многое зависит от продолжительности излучения. Показатель в 1 мЗв/час – это много, но на протяжении года – это норма, не подлежащая превышению. Хотя если эту дозу радиации разделить на количество часов в год, то это 0,57 мкЗв. Значение данное Челябинским ЦГМС, в основном, обусловлено природными факторами, такими как солнечная радиация и множество естественных источников повышения гамма-фона по территории города и области в целом [16].

## ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Характеристика объекта исследования

В пределах Уральского региона естественный радиационный фон определяется геологогеофизическими особенностями зон, указанных в приложении 1 (рисунок 1). Ключевыми факторами, определяющими радиационный фон, являются горные породы и минералы, содержащие природные радионуклиды в определенных концентрациях. Основными радионуклидами являются уран-238, торий-232 и продукты их распада, а также калий-40. Концентрация калия-40 в природном калии составляет 0,012 % [22].

Уральский регион имеет мозаичную структуру естественного радиационного фона. Такая мозаичная структура обусловлена наличием на территории Урала нескольких экологически-радиогеохимических зон. Каждая зона имеет свои уникальные характеристики, включая геологическое строение, накопление радиоактивной минерализации и специфические комплексы горных пород, обогащенные радиоактивными изотопами. Кроме того, в пределах каждой радиогеохимической зоны существуют районы с повышенной радиоактивностью горных пород и почв, а также районы с повышенными выбросами радона. Эти районы были определены на основе критериев концентраций урана-238 и тория-232 в минералах и горных породах, а также концентраций радона-222 и радона-224 в почвенном воздухе и воде. По мере увеличения концентрации этих элементов повышается и радиационный фон.

В аномальных зонах концентрация радия превышает 3 г/т, концентрация радона в воде составляет 60 Бк/л, концентрация радона в почвенном воздухе колеблется от 30 кБк/м<sup>3</sup> до 40 кБк/м<sup>3</sup>, а радиационный фон превышает 0,15 мкЗв/ч. В дополнение к этому, характерной особенностью Уральского региона является широкое распространение гранитных интрузий, разломов и областей пересечения различных



разломов, которые обладают более высокой проницаемостью и, следовательно, демонстрируют локальные скопления радиоактивных элементов в горных породах.

Эти характеристики позволили установить эколого-радиохимическое районирование Уральского региона, выделив соответствующие зоны [22]. Карта данного районирования представлена на рисунке 1 в приложении 1.

Главный источник антропогенного радиационного загрязнения на территории Челябинской области – авария, произошедшая 29.09.1957 г. на территории ПО «Маяк».

Ключевым моментом данной аварии стал взрыв в емкости-хранилище жидких радиоактивных отходов, который привел к массивному выбросу радионуклидов в атмосферу.

В результате аварии в атмосферный воздух было выброшено  $20 \cdot 10^6$  кюри  $\beta$ -активных продуктов деления. Основная доля выброшенных радионуклидов (около 90 %) выпала на территории промышленной площадки, а остальные радионуклиды были подняты в нижние слои тропосферы, на высоту до 1000 м и были рассеяны в северо-северо-восточном направлении от эпицентра взрыва, образовав Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС), который расположен на территории Челябинской, Свердловской и Тюменской областей.

По изолинии 0,1 Кюри/км<sup>2</sup> по стронцию-90 площадь загрязнения от данной аварии составила  $23 \cdot 10^3$  км<sup>2</sup>.

Данная площадь имеет форму узкой полосы шириной в 4-6 км и протяженной на 105 км.

После аварии в первые 7-10 суток была проведена дезактивация территории предприятия ПО «Маяк» и г. Озерска, а также эвакуация (отселение) населения четырех деревень, суммарное население которых составляло 1383 человека: Бердяниш, Сатлыкова, Галикаева, Русская Караболка [16].

После инцидента был проведен тщательный мониторинг для контроля уровней радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции и продуктов питания. В течение трех лет, с 1957 г. по 1959 г., было конфисковано значительное количество зерна, картофеля, мяса и молока, что составляло небольшой процент от годового производства продовольствия и кормов в пострадавшей зоне ВУРС.

Инцидент в 1958 г. привел к существенной потере сельскохозяйственных угодий в Челябинской и Свердловской областях, что привело к запланированной эвакуации жителей из загрязненных районов. В ответ на серьезное воздействие был создан Восточно-Уральский государственный заповедник, занимающий значительную территорию.

В период с 1957 г. по 1960 г. в общей сложности 23 населенных пункта, в основном расположенных в Челябинской области, подверглись обязательному переселению, затронувшему население примерно в 12 763 человека. На площади, границей которой служит изолиния 4 Кюри/км<sup>2</sup> по стронцию-90, была создана санитарно-охранная зона (СОЗ) со своим специальным ограничительным режимом (приложение 1, рисунок 1.1). Дополнительно была создана зона мониторинга, расположенная на удалении до 5 км от СОЗ. Суммарная площадь данной зоны составила 700 км<sup>2</sup> [16].

В Челябинской области в площадь СОЗ вошли следующие водоёмы: Бердяниш, Урускуль, Малый и Большой Игиш, Травяное, Малое Травяное, Алабуга, Кожаккуль, а также Куяныш. Суммарная площадь зеркала данных озер составляет 3800 Га.

С целью обеспечения безопасности населения, которое не было эвакуировано, произошла реорганизация лесного и сельского хозяйства: были созданы специализированные совхозы, четыре из которых расположено на территории Челябинской области, а 3 – на территории Свердловской области.

Однако в 1967 г. произошло вторичное загрязнение местности из-за пыли, переносимой ветром с территории, прилегающей к озеру Карачай. Причиной вторичного загрязнения были названы погодные условия, включая недостаточное количество осадков зимой, засушливую весну и сильные суховеи. В результате в апреле 1967 г. радиоактивные элементы были перенесены ветром на территорию общей площадью 1800 км<sup>2</sup>, при этом, по оценкам, общее количество перенесенного радиоактивного материала достигло приблизительно 6000 кюри.

Что касается конкретно нашей территории, территория Чебаркульского района характеризуется средними высотами 400-500 м. над ур. м. Рельеф района хребтово-увалистый, представлен системой расположенных почти меридионально невысоких горных хребтов, сложенных преимущественно магматическими, реже метаморфическими породами.

Преобладающий почвенный покров в этом районе состоит из горных серых и темно-серых лесных почв, часто с неполным развитием. Реже встречаются горные дерново-подзолистые почвы, а также щелочные черноземы и лугово-черноземные почвы (иногда засоленные). В условиях избыточного увлажнения присутствуют лугово-болотные, торфяно-глеевые и торфянистые почвы.

В регионе относительно много озер, образующих непрерывную полосу. Большинство озер обладают значительным объемом пресной воды. Междуречные пространства заболочены.

Одним из самых больших озер в этом районе является озеро Чебаркуль. Он расположен на высоте 320 м. Площадь поверхности озера составляет 20 км<sup>2</sup>. Озеро имеет плоское и твердое дно, максимальная глубина которого составляет 12 м, а средняя – 2,5 м. В озеро поступает смешанный сток, основным источником которого является таяние снега. Колебания уровня воды не превышают 1,25 м, причем самые высокие уровни наблюдаются в июне. Озеро замерзает в первой половине ноября и

оттаивает в мае. В центральной части озера расположен голый скалистый остров. Озеро питается рекой Еловка (из озера Еловое), горной рекой Кудряшевка и рекой Кундуруша (из озера Большой Еланчик). Река Чебаркуль, относящаяся к бассейну реки Обь, вытекает из озера Чебаркуль.

На территории Чебаркульского муниципального района нет крупных предприятий, загрязняющих атмосферу и образующих токсичные отходы, поэтому район считается экологически чистым.

Чебаркульский муниципальный район считается экологически чистым, так как на его территории отсутствуют крупные предприятия, которые загрязняют атмосферу и образуют токсичные отходы. В рамках национального проекта «Экология» в районе были созданы площадки для накопления твердых коммунальных отходов, а также проведены работы по ликвидации экологически вредных объектов и устранению несанкционированных свалок. Важным аспектом является также наличие уникальных памятников природы на территории района, которые имеют не только эстетическую ценность, но и важную роль в сохранении биологического разнообразия. Среди них можно отметить Варламовский государственный природный биологический заказник, Травниковский бор и другие особо охраняемые природные территории федерального значения. В районе также расположены заповедные места, включая озёра и их окрестности, которые являются уникальными экосистемами и подлежат особой охране.

## 2.2 Экологическое картографирование

Экологическая картография — это наука о сборе, анализе и представлении информации о состоянии окружающей среды с использованием картографических методов.

Главное отличие экологической картографии заключается в том, что ее развитие не ограничивается конкретными дисциплинарными границами,

а распространяется на интеграцию экологических элементов в смежные тематические области и включение различных других тематических материалов в экологию.

Экологическая картография пережила значительное развитие за последние 70 лет, прежде всего из-за резких изменений в состоянии природной среды, когда ухудшение ее состояния стало очевидным.

В свою очередь, экологическая картография делится на несколько взаимосвязанных компонентов. Первым основным компонентом является сбор информации, которая включает в себя данные дистанционного зондирования Земли, статистический анализ и методы полевых исследований. Ключевым требованием к этому компоненту экологической картографии является максимальная точность, своевременность и надежность собранных данных, поскольку качество этого компонента определяет общую ценность получаемого картографического продукта. Ещё одной важной составляющей экологического картографирования является аналитика полученных данных и с их последующей оценкой. Дополнительно, в данную категорию относят интеграцию, территориальное интерпретирование, а также выполнение тематических экологических карт, которые способны отобразить современное состояние экосистем, уровни антропогенного воздействия, оказываемого на данные экосистемы, а также расположение сети особо охраняемых природных территорий, ареалы расселения редких видов живых организмов, экологический каркас и другие характеристики исследуемых экосистем [8].

При определении экологической обстановки на конкретной территории важная роль отводится таким характеристикам данных, как точность и достоверность.

Можно выделить следующие источники информации, используемые для экологического картографирования [19]:

- данные дистанционного зондирования Земли;
- качественные и количественные статистические данные;

– данные о состоянии компонентов окружающей среды и биоиндикаторов, полученные с помощью экспедиционных и стационарных исследований.

Источники информации для экологического картографирования так же различаются по уровням достоверности данных, ведомственной принадлежности, используемым научным методом получения информации, особенностями представления информации.

Организации, являющиеся источниками данных, разделяют на: коммерческие, некоммерческие, государственные и научные.

Существуют множество классификаций экологических карт, что связано с наличием множества параметров, по которым можно произвести классификацию. Большая часть авторов использует классификации экологических карт по содержанию, тематике, источникам получения данных и научно-прикладному направлению. При последней классификации выделяют: инвентаризационные, оценочные, прогнозные и рекомендательные экологические карты [19].

Подходы и методики экологического картографирования. Разработка методов, подходов и приемов анализа экологического состояния отдельных региональных структур природного и социального деления происходит за счет всё увеличивающейся практической значимости экологического картографирования при отсутствии одного комплексного подхода к исследованиям.

Карты являются незаменимыми для отображения результатов исследования с учётом пространственной составляющей при изучении территориальных различий и взаимосвязей. Картографические материалы сопровождают большинство направлений исследований в области экологии, а также являются рабочим инструментом и итоговым документом одновременно. Из различных форм представления географических научных результатов исследований на практике является более предпочтительной карта. Помимо этого, в настоящее время к

картографическому материалу повышенный интерес проявляют не только специалисты, но и широкие круги населения. Последние публикации в научной печати показывают тенденцию к тому, что многие из тематических карт различного содержания начинают приобретать экологический характер при наличии экологического подхода к предмету отображения на карте.

В процессе разработки методологии для эколого-географических исследований картографическое представление играет важную роль, так как каждая новая методика оценки и анализа экологического состояния природной среды предполагает создание экологических карт. Эти карты являются визуализацией методологии проведения эколого-географических исследований.

Современные экологические карты отображают большинство показателей природно-ресурсного потенциала территории и воздействия техногенных факторов на окружающую природную среду. Некоторые показатели имеют вспомогательное значение, в то время как другие являются основным источником информации для последующего анализа. В ходе экологических исследований осуществляется поэтапный переход от анализа информации к синтезу, от оценки компонентов окружающей природной среды к оценке экологического потенциала ландшафтов с учетом антропогенного воздействия, которое оказывается на них.

В итоге, результатом эколого-географического комплексного исследования является набор карт как аналитического, так и комплексного содержания. В свою очередь, экологические карты разнообразны по методикам, тематике и используемыми элементами содержания. Наполнение карт напрямую зависит от назначения карты, её масштаба исследования и современного экологического состояния территории. Сейчас для экологических карт отсутствует единство содержания, согласованность и взаимная дополняемость, т.е. отсутствует подлинная системность карт.

ГИС в экологическом картографировании. Обострение экологических проблем в настоящее время ставит перед картографией всё новые задачи. Для решения этих задач необходимо качественная геоинформационная поддержка, которая позволит оказывать оперативную реакцию на изменения в окружающей природной среде.

Первые карты, созданные с использованием геоинформационных технологий (ГИС), были выполнены в девяностые годы XX в.

Именно тогда начался перевод аналоговой информации различных видов карт (географических, топографических и тематических) в цифровые системы. Параллельно с этим разрабатывались карты, изначально созданные в цифровом виде. Данные карты выполнялись в геоинформационных центрах, организациях и ведомствах. Именно они были сопровождением множеств экологических исследований, программ и проектов.

В настоящее время активно разрабатываются и применяются ГИС (географические информационные системы) с экологическим содержанием, которые предоставляют практические решения и ориентацию. Эти системы включают в себя связанные между собой серии карт и баз данных, позволяющие проводить оперативный анализ экологической ситуации и принимать обоснованные управленческие решения.

Экологические геоинформационные системы ориентированы как на территориальные единицы (регионы, административные районы, промышленные центры), так и на объекты импактного воздействия на окружающую среду (конкретные предприятия). Развитые геоинформационные системы дополнительно содержат автоматические картографические системы, модули аналитики и моделирования, а также базы данных [20].

Главные особенности картографирования с помощью геоинформационных систем: системность, автоматизированность,



целенаправленность, вариативность и оперативность. Под геоинформационным картографированием в первую очередь понимают системное создание и применение экологических карт, которое является ориентированным на сформулированные задачи управленческого характера. Структура и содержание экологических карт в геоинформационных системах являются многоплановыми, а подходы их составления полностью отображают программную среду, изученность объекта и технические способности, которыми обладали создатели карты.

Применение геоинформационных систем является особенно эффективным при эколого-географическом картографировании городов, так как город является особой экологической системой, отличающейся качественным и количественным составом загрязнителей, гораздо большим числом параметров, необходимостью дополнительного учета социальной сферы. Для картографирования городов необходимо создание комплексной системы, которая будет способно учитывать, как различные виды загрязнения на территории города, так и их влияние на социально-экономическую сферу. По данной причине, при мониторинге состоянии городов всё чаще прибегают к использованию геоинформационных систем, позволяющих обрабатывать огромные объёмы атрибутивной и территориальной информации, а затем представлять её в доступном для восприятия виде.

ГИС используются при:

- разработке научно-обоснованных рекомендаций к рациональному природопользованию;
- определении природоохранного режима территории, включая полное ограничение природопользования;
- проведении экологической экспертизы проектов строительства экологически опасных объектов;
- определении решений относительно управленческой деятельности градостроительных и природоохранных структур;

- составлении и реализации разнообразных хозяйственных, медицинских, санитарно-гигиенических и природоохранных мероприятий;
- решении задач науки.

Количество программных продуктов, используемых в экологическом картографировании очень велико: ArcInfo, ArcFM, MicroStation (Bentley Systems, Inc.), ArcView (ESRI, Inc.), MapInfo Professional (MapInfo Corp.), и др.

По области применения ГИС можно разделить на:

- глобальные и локальные (деление по масштабу),
- направленные на решение общих (многофункциональные) и частных, конкретных (однофункциональных) задач [6].

В настоящее время на рынке глобальных геоинформационных систем доминируют продукты двух фирм: ArcGIS американской фирмы ESRI и MapInfo корпорации INTERGRAPH. Стоит отметить, что множество фирм, занимающихся землевладением или землепользованием, предпочитают создавать свои собственные прикладные ГИС.

### 2.3 Методика исследования

Для проведения исследования использовался бытовой дозиметр СОЭКС F4 – прибор разработан и производится в России [10].

«Прайм» считается одним из самых быстрых бытовых дозиметров. Дозиметр имеет мощный процессор, позволяющий с помощью режима «поиск» реагировать на источник ионизирующего излучения за секунду. Дозиметр обладает датчиком СБМ 20-1, который производит государственная корпорация Росатом. Данный датчик обеспечивает высокую точность проводимых измерений. Прибор имеет ориентированный на пользователя интерфейс, а также звуковую и цветовую индикацию.

Работа с данным дозиметром (эковизором) не требует особых специальных знаний, достаточно соблюдать основные правила проведения

измерений, которые описаны в инструкции. Показателем оценки, проводимой дозиметром, является мощность ионизирующего излучения (гамма-, бета- и рентгеновского) [17].

Измерения производились в период с мая 2022 г. по апрель 2023 г. маршрутным способом. Карта города была покрыта сетью пунктов мониторинга, измерения проводились по основным точкам находящимся как по главным улицам, так и среди дворов города для полноты карт и точной наглядности радиационной обстановки.

Длина исследования составила 10,14 км. по всей территории города. Маршрут был соблюден для качественной обработки данных и для корректного составления полной картины гамма-фона.

Маршрут исследования представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Маршрут измерений гамма-фона в г. Чебаркуль

Всего на маршруте было сформировано 34 точки (рисунок 2).



Рисунок 2 – Пункты мониторинга

На точках проводились замеры гама-фона (в мкР/ч). Результаты замеров обрабатывались математико-статистическими методами [12], а также методами интерполяции (Inverse distance weighting - IDW) с последующей классификацией. Картографическая основа территории г. Чебаркуль взята в проекции «Google Earth». Расчеты выполнялись в программных продуктах MS Excel и Quantum GIS [9].

### ГЛАВА 3. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ГАММА-ФОНА ГОРОДА ЧЕБАРКУЛЬ

На данной схеме (рис. 1) по оси абсцисс показаны количество точек наблюдения. По оси ординат в свою очередь указывается величина измерения. Статистический анализ замеров показал, что среднегодовой уровень гамма-фона в городе колеблется от 5 мкР/час до 16 мкР/час, что значительно ниже допустимых уровней физического воздействия согласно нормам радиационной безопасности (НРБ).

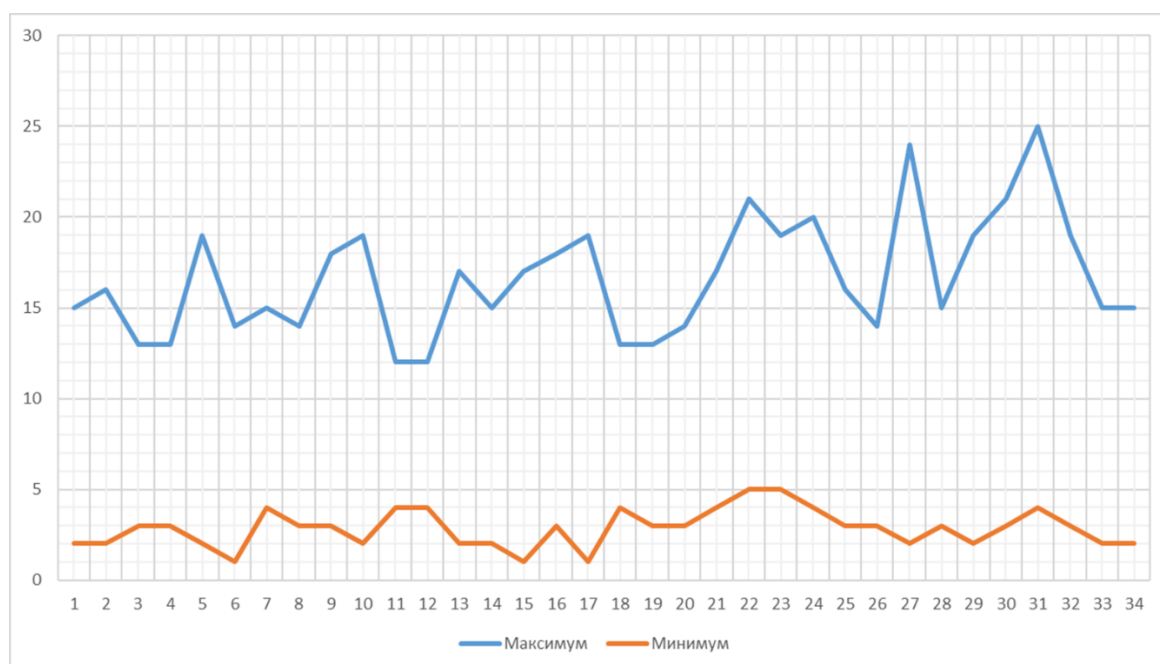


Рисунок 3 – Минимальные и максимальные значения гамма-фона в г. Чебаркуль

Величины гамма-фона в разные месяцы отличаются интервалами и по минимальным и максимальным значениям. По графику можно наблюдать всплеск в динамике линии максимум, так как данная схема состоит из значений, посчитанных для одной точки во все месячные измерения, среднее значение измерений показало, что именно в этой точке и происходило большее повышение за все периоды. Как мы смогли выяснить, антропогенное влияние в период этого измерения на данных точках, было обусловлено строительно-ремонтными работами, что привело к показателям, которые мы видим на данной схеме.

Статистически, сезонная динамика гамма-фона в городе по данным наших наблюдений присутствует, можно заметить существенную разницу значений в зимний и летний период исследования, и визуальное отличие на картограммах данных периодов.

Для картографирования полученных результатов был выбран метод обратно взвешенных расстояний, так как, именно он позволяет при равномерном распределении точек с известным значением получать плавное изменение показателей в неизвестных местоположениях. 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, вы можете 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.

Карта имеет одноканальное цветное изображение с распределением от зелёного (минимальное значение) до красного (максимальное значение). Дополнительно был применен эффект прозрачности в 70 %, что позволяет легче воспринимать полученные данные в пространстве.

Также, был использован прием отображения изолиний, что позволяет легче воспринимать изменение показателей с расстоянием и проще находить точки с одинаковыми значениями.

Интерполяция значений по четырехмесячным периодам представлены на рисунках 4, 5, 6.

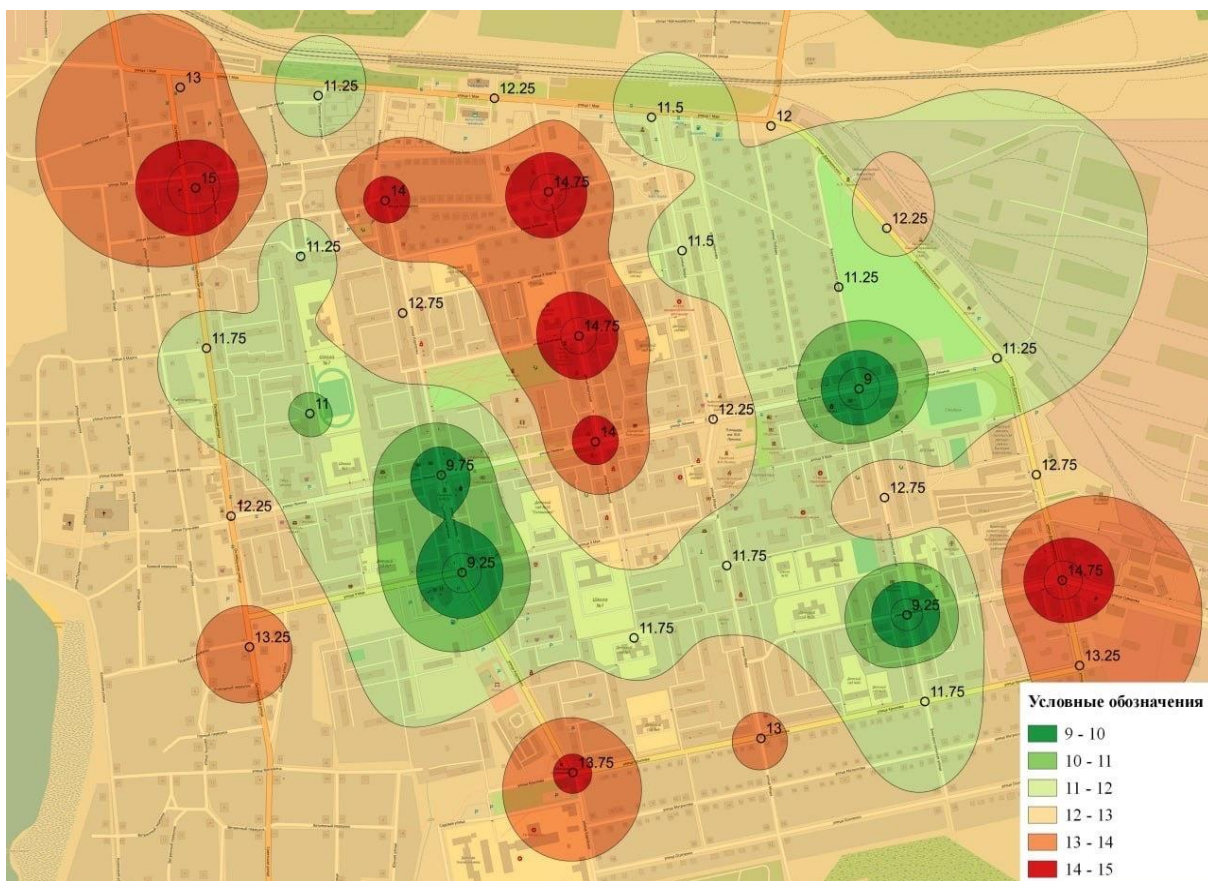


Рисунок 4 – Распределение гамма-фона г. Чебаркуль за период наблюдения в мкР/ч (25.05.2022-18.08.2022)

Из данной картограмме (рисунок 3) видно, что ареал с наибольшими значениями находится в центре города, располагающиеся вдоль по улице Крупской со значениями 14 мкР/ч и 14.75 мкР/ч. Но кроме того, можно выделить еще три достаточно крупных локальных превышения, привязанных к ул. Октябрьской (вверху с лево), пересечение ул. Крылова и ул. Карпенко (внизу с лево) и перекресток ул. Суворова с ул. Держинского. Вся остальная территория города — это небольшие значения от 9 мкР/ч до 13 мкР/ч. Значения на данной картограмме показанные ярко-красным цветом они составляют порядка. Но так как повышенность на карте все же выделяется, нужно учесть, что в данный период по ул. Крупской проходили ремонтно-строительные работы. Не смотря на заметное выделенное превышение на карте, превышение не является значительным по НРБ, так как предел является 50 мкР/ч, и не имеет критическим. Данная карта составлена на весенне-летний период проведения исследования, если

учесть естественные природные источники, возможность превышения может быть связана именно с ними.



Рисунок 5 – Распределение гамма-фона г. Чебаркуль в мкР/ч (11.09.2022-02.12.2022)

В осенне- зимний период исследования еще за 2022 г., картограмма показывает нам, что гамма-фон существенно изменен, наиболее высокие показатели распределялись по северо-западной части с наибольшим превышением по ул. Карпенко, и юго-восточной части г. Чебаркуль, по ул. Крылова. Так как солнечная радиация зимой намного меньше других сезонов, превышения на данных улицах нельзя назвать значительными. Превышение на ул. Карпенко имеет значение 8,25 мкР/ч, а по ул. Крылова составляет 7,5 мкР/ч, что так же не является превышением норм радиационной безопасности, и не несет вреда.



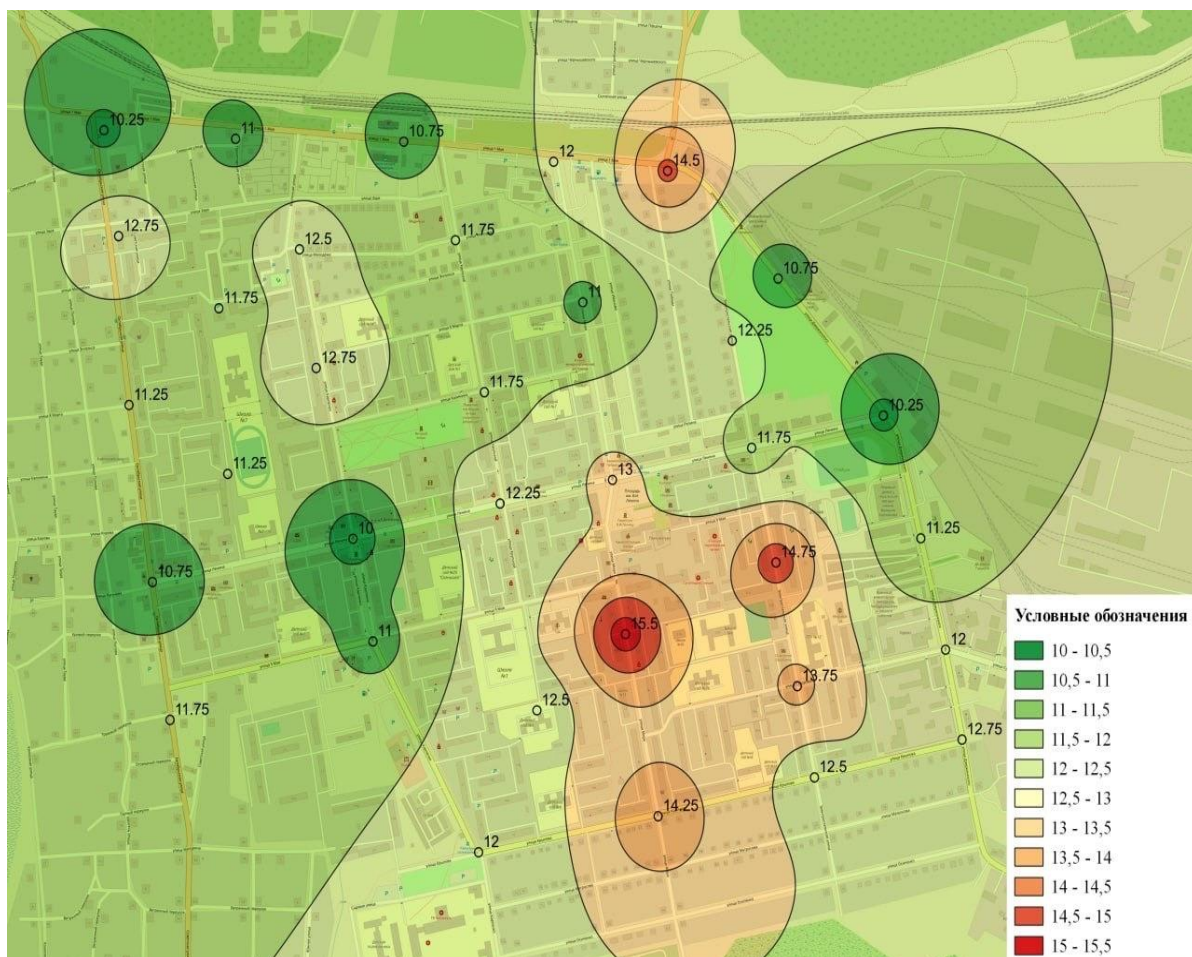


Рисунок 6 – Распределение гамма-фона г. Чебаркуль в мР/ч (23.01.2023-01.04.2023)

Зимне-весенний период года уже 2023 года, наибольшее значение были в юго-восточной части города. Значительные превышения были в расположении параллельных ул. Мира и ул. Электростальская. Превышение на ул. Мира 15,5 мР/ч, и на ул. Электростальской 14,75 мР/ч. Наиболее вероятно данные эффекты превышения в этой части города могут быть связаны с дорожно-строительными работами в этот период, когда снимались части дорожного покрытия, в состав которого входит гранитная крошка, которая может давать некоторое превышение фона и использование гранит содержащих материалов при строительстве дорожно-тротуарных покрытий.

Общая среднегодовая карта позволяет полностью увидеть динамику гамма-фона в городе за весь период исследования (рисунок 7).

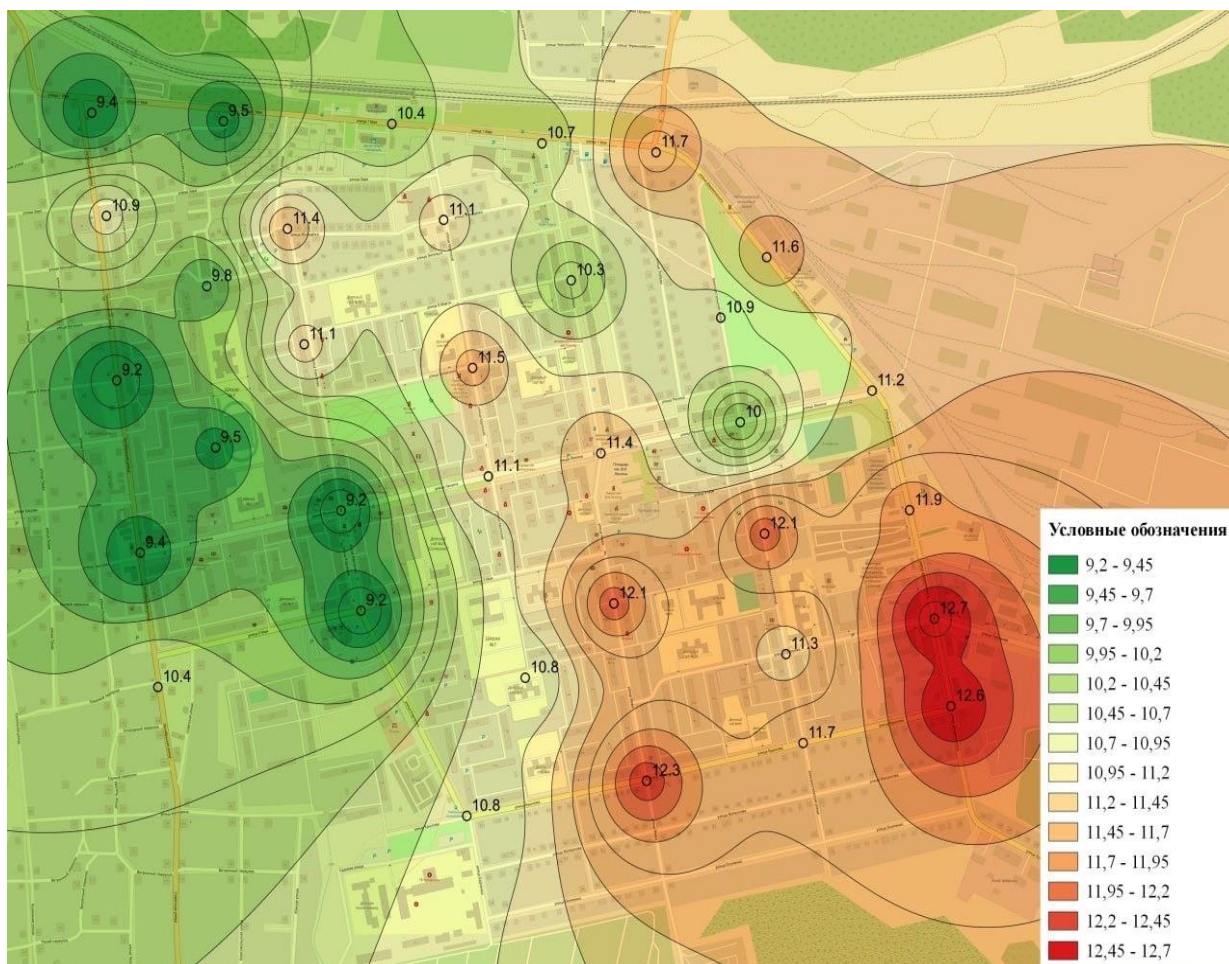


Рисунок 7 – Среднегодовые величины гамма-фона г. Чебаркуль

Всего по среднегодовой карте мной выделено четыре зоны:

- северо-западная – 9,2– 11,4 мкР/ч,
- северо-восточная – 10–11,7 мкР/ч,
- юго-западная – 9,2–11,1 мкР/ч.

И максимальная зона превышения по среднему значению, Юго-восточная область города – 10-12,7 мкР/ч

Анализ пространственного распределения гамма-фона с наложением на геологическую карту территории позволяет выделить следующие закономерности:

1. Достаточно четкое выделение четыре городских зоны по уровню гамма-фона.
2. Зоны с повышенным гамма-фоном соответствуют участкам города с наибольшей антропогенной нагрузкой – так как в период измерения в

точках, выделенных красным, производились дорожно-строительные работы с участием щебенки в состав которой входит граниты, что в свою очередь и повышает гамма-фон.

3. Возможно проследить сезонную динамику, по отношению к остальным описанным четырех месячным картам.

4. Данные полученные нами значения, являются существенно значимыми для жителей города, и несут в себе весомую визуально простую для восприятия информацию.

Таким образом, показатели гамма-фона на территории города Челябинска составляют в среднем 15 мкР/ч, что соответствует данным мониторинга Челябинской ЦГМС. Сезонные колебания величин радиационного фонда статистически недостоверны, но в пределах города статистически достоверно определяются зоны с повышенным и пониженным гамма-фоном.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрена проблема мониторинга радиационного фона в городской среде, а также пространственное распределение гамма-фона в пределах г. Чебаркуль.

Проведено изучение научной литературы об ионизирующих излучениях, их видах, источниках и влиянии на биологические системы.

Была изучена процедура проведения радиационного мониторинга и метод проведения измерений.

Выполнена характеристика объекта исследования, включая историю формирования территории. Были изучены способы составления экологических карт, их классификация и виды геоинформационных систем.

В ходе работы была освоена методика применения дозиметра Soeks F4. Для составления картографического материала была освоена геоинформационная система «QGIS».

Был проведен статистический анализ замеров, позволивший установить:

- 1) средние значения гамма фона в 15 мкР/ч, что является нормой радиации по НРП;
- 2) наличие незначительной сезонной динамики в изменении гамма фона на территории города;
- 3) наличие в городе несколько повышенные точки и точки с пониженными величинами гамма-фона.

Результатом исследования являются карты пространственного распределения гамма-фона на территории г. Чебаркуль.

Можно констатировать неоднородность распределения гамма-фона на территории города, что связано с комбинированным воздействием различных естественных и антропогенных факторов. Как основной антропогенный фактор, мной выделены строительно-ремонтные работы

дорожного покрытия. При этом данный фактор оказывает различное влияние на разные участки городской территории.

После анализа полученного картографического материала можно как главный фактор выделить антропогенное вмешательство, влияющий на значения радиационного фона в г. Чебаркуль в течении исследования.

Проведено изучение научной литературы об ионизирующих излучениях, их видах, источниках и влиянии на биологические системы.

Была изучена процедура проведения радиационного мониторинга. Выполнена характеристика объекта исследования, включая историю формирования территории. Были изучены способы составления экологических карт, их классификация и виды геоинформационных систем.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеенко Н.А. Методические особенности картографического обеспечения природоохранной деятельности особо охраняемых природных территорий России // Вестник Московского университета. – Серия 5. География. – 2014. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-osobennosti-kartograficheskogo-obespecheniya-prirodoohrannoy-deyatelnosti-osobo-ohranyaemyh-prirodnih-territoriy> (дата обращения 22.05.2023).
2. Большая медицинская энциклопедия : [сайт]. – URL: <https://бмэ.орг/index.php/> (дата обращения 12.05.2023) – Текст : электронный.
3. Геокнига // Геологическая библиотека : [сайт]. – URL: <http://www.geokniga.org/books/5075> (дата обращения 28.05.2023).
4. ГОСТ 15484-81 Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения : Государственный стандарт Союза ССР : дата введения 1982-01-01 / Государственный комитет СССР по стандартам, 1981 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200015267> (дата обращения 20.04.2023).
5. Григорьев Н. А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры / Н. А. Григорьев // Геохимия. – 2003. – № 7. – С. 785-792.
6. Григорьев Ю. Г. Индивидуальная радиочувствительность / Ю. Г. Григорьев. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 80 с.
7. Гуськова А. К. Радиация и здоровье / А. К. Гуськова // Радиационная гигиена. – 2014. – № 1. – С. 49–53.

8. Демьянов В. В. Геостатистика: теория и практика / В. В. Демьянов, Е. А. Савельева; под ред. Р. В. Арутюняна; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – Москва : Наука, 2010. – 327 с.
9. Журавская А. Н. Биологические эффекты малых доз ионизирующих излучений / А. Н. Журавская // Москва : Наука и образование. – 2016. – № 2(82). – С. 94–102.
10. Карташев А.Г. Радиоэкология : учебное пособие / А.Г. Карташев // Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. — 161 с. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/13865.html> (дата обращения 03.05.2023).
11. Картографирование в экологии // Файловый архив студентов: [сайт]. – URL: <https://studfile.net/preview/5178777/> (дата обращения 13.09.2022).
12. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин // Москва : Высшая школа, 1990 – 350 с.
13. Маврищев В. В. Радиоэкология и радиационная безопасность / В. В. Маврищев, А. Э. Высоцкий, Н. Г. Соловьёва. – Минск : ТетраСистемс, 2010. – 208 с.
14. Мархоцкий Я. Л. Радиационная и экологическая безопасность атомной энергетики / Я. Л. Мархоцкий // Минск: Высшая школа. – 2009. – 23 с.
15. Окунев А. М. Современные концепции действия малых доз ионизирующих излучений на животных и человека / А. М. Окунев, В. Н. Копытова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2014. – № 3. – С. 36–41.

16. Постановление Совета Министров - Правительства РФ от 8 октября 1993 г. N 1005 «О мерах по реализации Закона Российской Федерации «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие аварии в 1957 году на производственном объединении «Маяк» и сбросов радиоактивных отходов в реку Теча» / // Система Гарант : [сайт]. – URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/10108859/paragraph/9410:0> (дата обращения 28.05.2023).

17. Постановление от 28 сентября 2015 года N 1029 Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий / Правительство Российской Федерации. – 2015 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации : [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/420305438> (дата обращения 10.12.2020).

18. Радиоактивные беды Урала / В.И. Уткин, М.Я. Чеботина, А.В. Евстигнеев и др. – Екатеринбург : УрО РАН, 2000. – 94 с. //Электронная библиотека «История Росатома»: [сайт]. – URL: [http://elib.biblioatom.ru/text/radioaktivnye-bedy-urala\\_2000/go16/](http://elib.biblioatom.ru/text/radioaktivnye-bedy-urala_2000/go16/) (дата обращения 07.05.2022).

19. Радиозэкологический мониторинг окружающей среды // Библиофонд. Электронная библиотека : [сайт] – URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=603486> (дата обращения 28.05.2023).

20. Раскоша О. В. Биологические эффекты фитозекдистероидов и ионизирующего излучения в малых дозах / О. В. Раскоша, Л. А. Башлыкова, О. В. Ермакова // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2010. – № 4. – С. 434–442.

21. СОЭКС Эковизор F4 // Soeks официальный сайт производителя : [сайт]. – URL: <https://soeks.ru/catalog/ecovisor-f4> (дата обращения 28.05.2023).



22. Теоретические основы экологического картографирования // СтудИзба : [сайт]. – URL: <https://studizba.com/lectures/105-jekologija/1363-problemy-jekologii/25128-teoreticheskie-osnovy-jekologicheskogo-kartografirovanija.html> (дата обращения 20.12.2022).

23. Челябинский ЦГМС. Филиал ФГБУ «Уральское УГМС»: [сайт] – URL: <http://www.chelpogoda.ru/pages/226> (дата обращения 01.05.2023).

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА

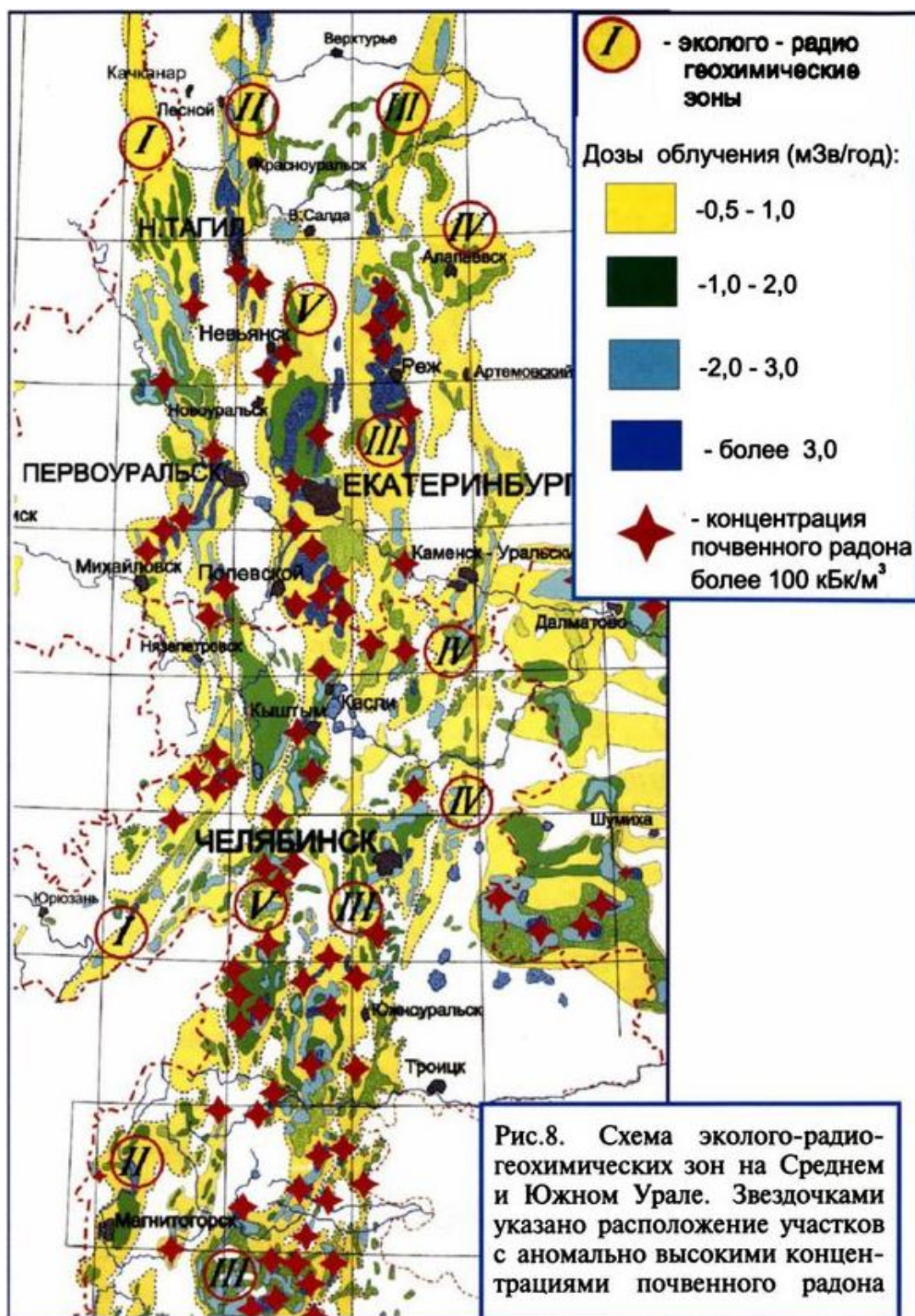


Рисунок 1.1 – Схема эколого-радиогеохимических зон на Среднем и Южном Урале [22]