



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

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

**Мониторинг радиационной обстановки в городе Челябинск**

**Выпускная квалификационная работа по направлению  
05.03.03 Экология и природопользование**

**Направленность программы бакалавриата**

**«Природопользование»**

**Форма обучения очная**

Проверка на объем заимствований:  
97 % авторского текста

Работа рекомендована к защите  
рекомендована/не рекомендована

«08» 06 2020г.

Зав. кафедрой Химии, экологии и МОХ  
(название кафедры)

С Сутягин А.А.

Выполнил:  
Студент группы ОФ-401/058-4-1  
Ткачук Иван Юрьевич

Научный руководитель:  
д. б. н., профессор  
Н Назаренко Назар Николаевич

Челябинск  
2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – ХАРАКТЕРИСТИКА И МОНИТОРИНГ.....	5
1.1 Понятие об ионизирующих излучениях, их виды.....	5
1.2 Радиационный фон.....	7
1.3 Биологическое действие ионизирующего излучения .....	17
1.4 Радиационный мониторинг.....	23
1.5 Мониторинг радиационного фона на территории города Челябинск.....	27
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	28
2.1 Характеристика объекта исследования.....	28
2.2 Экологическое картографирование.....	34
2.3 Методика исследования.....	40
ГЛАВА 3. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ГАММА-ФОНА ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСК.....	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	47
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ А Радиоэкологические зоны Южного Урала.....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Восточно-Уральский заповедник.....	54
ПРИЛОЖЕНИЕ В Геологическая карта Челябинской области.....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Маршрут исследования и точки исследования.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Результаты интерполирования методом обратного взвешивания.....	57

## ВВЕДЕНИЕ

Главным фактором, от которого зависит экологическая безопасность населения, является радиационный контроль. Целью радиационного контроля является соблюдение нормативов в области радиационной безопасности, в том числе не превышение предельно допустимых уровней ионизирующего излучения и не превышение безопасных доз, а также выявление степени соблюдения принципов радиационной безопасности [5].

Одной из составных частей мониторинга состояния окружающей среды является радиационный мониторинг, который заключается в выявлении уровней воздействия ионизирующего излучения как антропогенного, так и естественного происхождения. Радиационный мониторинг в городе Челябинск выполняет Челябинская ЦГМС – филиал ФГБУ «Уральское УГМС». На территории города у филиала имеются точки определения значений гамма фона, на которых производится осуществление измерений с дальнейшим расчетом среднемесячных значений [13].

Актуальность работы связана с тем, что при наличии ежесуточной развернутой системы мониторинга, при оценке радиационной обстановки в городе существует несколько проблем. В первую очередь, это сравнительно небольшое количество точек наблюдений. При этом любые объекты народного хозяйства, использующие источники ионизирующих излучений могут явиться источником поступления радиоактивных веществ в окружающую среду, но существующие точки мониторинговых наблюдений в Челябинске охватывают только их часть, а приводимые средние показатели по городу не всегда информативны для жителей конкретных районов о радиационной обстановке в месте их проживания.

Вторая проблема связана с социально-психологическими факторами. В настоящее время в информационном поле человека формируется большое число стереотипных мнений, заблуждений и ложных убеждений,

касающихся радиации. Восприятие ее человеком сильно искажено, особенно после ряда техногенных аварий в Челябинской области, наиболее известным последствием одной из них является Восточно-Уральский радиационный след (ВУРС). В результате этих аварий или информационных сообщений, в частности, сравнительно недавних о выбросе рутения-106, у жителей города сформировалась фобия о катастрофическом влиянии радиации в любом ее проявлении. Несмотря на то, что представители Росгидромета и Росатома опровергли последнее сообщение, истерия о катастрофическом влиянии радиации не уменьшилась [14].

Радиофобия стала достаточно распространенным явлением, а радиация на бытовом уровне считается «невидимым убийцей», что усиливает страх обывателя, не доверяющего официальным источникам информации.

**Цель** исследования: оценка пространственного распределения величин гама-фона на территории города Челябинск.

Для реализации цели поставлены следующие **задачи**:

- 1) изучение источников радиации и характеристика радиационной обстановки в Челябинской области;
- 2) определить показатели радиационного фона в городе Челябинск;
- 3) составить карту пространственного распределения гамма-фона на территории города;
- 4) выявить и объяснить закономерности пространственного распределения гамма-фона в городе Челябинск.

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

**Предмет** исследования: характер пространственного распределения гамма-фона в городе Челябинске.

Структура выпускной квалификационной работы была определена целью и задачами исследования. Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка используемой литературы.

# ГЛАВА 1. ИОНИЗИРУЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – ХАРАКТЕРИСТИКА И МОНИТОРИНГ

## 1.1 Понятие об ионизирующих излучениях, их виды

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

Существует два вида ионизирующего излучения: непосредственно ионизирующее и косвенно ионизирующее. Если при столкновении с атомами вещества кинетическая энергия заряженных частиц достаточна для ионизации, то ионизирующее излучение называется непосредственно ионизирующим. К данному виду излучений относятся: корпускулярные излучения – потоки электронов, позитронов и тяжелых заряженных частиц (протонов, нейтронов, ядер атомов и др.)

Косвенным называется такое излучение, которое при взаимодействии со средой вызывает освобождение вторичных заряженных частиц. К данному виду излучений относится фотонное излучение (электромагнитное, в том числе рентгеновское и гамма-излучение), а также потоки нейтронов и других незаряженных частиц. При этом коротковолновое излучение, которое тоже способно ионизировать среду по ГОСТ 15485-74 [2].

Существуют несколько видов излучений: альфа-излучение – это поток ядер гелия, который освобождается при радиоактивном распаде естественным радионуклидом. Ядра имеют массу в 4 у.е. и заряд +2, при этом энергия частиц находится в диапазоне 4-7 МэВ. В воздухе альфа-частицы преодолевают расстояние в 8-10 см, а в биологической ткани могут преодолеть расстояние лишь в несколько десятков микрометров. В связи с тем, что альфа-частицы преодолевают малые расстояния в веществе, но при этом обладают очень большой энергией, то они обладают

самой большой плотностью ионизации на единицу длины (до 10000 пар ионов на сантиметр длины пробега), чем другие виды излучений.

Бета-излучением называется – поток электронов или позитронов, который образуется при радиоактивном распаде. Масса бета-частиц составляет  $1/1838$  массы атома водорода, они имеют заряд, равный  $+1$  (позитрон) или минус  $1$  (бета-частица). При этом энергия излучения составляет не более нескольких Мэв. Бета-частица в воздухе преодолевает расстояние от половины до двух метров, а в биологической ткани расстояние в 2-3 см. Ионизирующая способность бета частиц меньше альфа-частиц (образуют несколько десятков пар на сантиметр длины).

Нейтронное излучение. Нейтронами называются нейтральные по заряду частицы, масса которых равна массе атома водорода.

При взаимодействии со средой нейтроны в упругих и неупругих столкновениях теряют свою энергию. В результате контакта с атомными ядрами нейтроны способны образовывать и заряженные частицы, и фотоны гамма-излучения. Быстрые нейтроны во время потери своей энергии в упругих и неупругих столкновениях сообщают часть своей энергии ядрам. Если рассеяние упругое, то изначальная кинетическая энергия, которой обладает нейтрон, равна сумме кинетических энергий рассеянного нейтрона. При этом ядро отдачи станет способно производить ионизацию в случае, если оно приобретет большую кинетическую энергию.

К гамма-излучению относится фотонное излучение, которое возникает из-за смены энергетического состояния атомных ядер, превращения ядер или аннигиляции частиц. В отличие от альфа- и бета-излучения гамма-излучение имеет большую проникающую способность, но характеризуется малым ионизирующим действием, то есть имеет низкую плотность ионизации на единицу пройденного расстояния.

Рентгеновским излучением называется фотонное излучение, которое состоит из тормозного и (или) характеристического излучения. Возникает

при энергии фотонов не более 1 МэВ (в ускорителях электронов и рентгеновских трубах). Фотонное излучение, обладающее непрерывным энергетическим спектром, которое возникает от снижения кинетической энергии заряженных частиц, называется тормозным излучением. Характеристическим называют фотонное излучение, обладающее дискретным энергетическим спектром, которое возникает от смены энергетического состояния электронов атома. По показателям характеристики проникающей способности и плотности ионизации рентгеновское излучение схоже с гамма-излучением [17].

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

## 1.2 Радиационный фон

Космическая составляющая радиационного фона. Космическое излучение делится на первичное и вторичное. Частицы высокой энергии, непосредственно приходящие из космического пространства составляют первичное излучение. Первичное излучение состоит из солнечного излучения, галактического излучения и излучения заряженных частиц, которые были захвачены магнитным полем Земли и образовали радиационные пояса.

Первичное галактическое излучение сформировано частицами, прилетевшими в Солнечную систему из межзвездного пространства. На 90 % его формируют протоны высоких энергий, а на 10 % – ионы гелия-4.

Своим происхождением первичное солнечное излучение обязано вспышкам на Солнце, которые имеют вид выступов над поверхностью Солнца и называются протуберанцы. Первичное солнечное излучение имеет относительно малую энергию, и, как следствие, не является источником увеличения дозы внешнего излучения на поверхности Земли. При этом, в верхних слоях атмосферы, более подверженных данному виду излучения, мощность поглощенной дозы может на малый промежуток времени увеличиваться более чем в 100 раз [1].

При взаимодействии частиц высоких энергий первичного космического излучения с ядрами атомов на расстоянии в 20 км от поверхности Земли происходит образование вторичного энергетического излучения, которое состоит из нейтронов, протонов, электронов, фотонов и т.п. Так образуется вторичное космическое излучение.

В результате ионизации частицы с меньшими энергиями теряют свою энергию. При этом многие из образовавшихся частиц вторичного космического излучения имеют достаточную энергию для вызова ряда последующих ядерных взаимодействий.

Протоны и нейтроны вторичного излучения, будучи частицами, не способными образовываться в больших количествах в нижних слоях атмосферы из-за быстрой потери энергии при ионизации и взаимодействия с ядрами атомов образуются преимущественно в верхних слоях атмосферы. Ближе к поверхности плотность потока протонов и нейтронов резко уменьшается и на уровне моря их вклад в мощность суммарной дозы составляет лишь несколько процентов.

За исключением нижних слоев тропосферы главный вклад в мощность поглощенной дозы осуществляется ядрами азота и кислорода. В реакциях с азотом и кислородом образуются продукты активации (космогенные радионуклиды) [5].

В нижних слоях атмосферы основной вклад в мощность поглощенной дозы осуществляют электроны, которые образуются при



распаде мюонов, при ионизации воздуха, осуществляемой другими заряженными частицами или ионизации во время каскадных ливней.

Интенсивность потока частиц космического излучения изменяется во времени вследствие смены солнечной активности, интенсивности солнечных вспышек, из-за смены атмосферного давления. Максимум ионизации наблюдается при минимуме активности Солнца, а минимум ионизации соответствует максимуму солнечной активности.

На уровне моря суммарная годовая эффективная эквивалентная доза космического излучения – 0,3 мЗв (или 0,003 бэр), что примерно соответствует мощности гамма-излучения в 3,4 мкР/ч. При этом 93 % вклада вносит ионизирующий компонент, в 7 % – нейтронный компонент [5].

Излучение от природных радионуклидов. Биосферную радиацию формируют радиоактивные элементы, которые находятся в горных породах, строительных материалах, живых организмах, воде и воздухе. Биосферная радиация составляет 5/6 годовой эквивалентной дозы, которой облучается население.

Горные породы, содержащие естественные радионуклиды, являются основным источником насыщения биосферы радиоактивными веществами.

В результате действия эрозии (водной, ветровой, механической) горные породы разрушаются, и радиоактивные вещества получают широкое рассеяние в биосфере. Как итог, количество радионуклидов, которые содержатся в окружающей среде, обуславливается горными породами, их видом и местоположением.

Существуют данные средних концентраций радионуклидов в различных видах горных пород. Так, по данным научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) в граните средняя концентрация калия-40 составляет 1200 Бк/кг, для радия-226 равняется 100 Бк/кг, а для тория-232 концентрация составляет 80 Бк/кг.

Для процессов миграции изотопов и вовлечения их в естественные круговороты значимой является деятельность растительного и животного мира [14].

Некоторые изотопы образуют смесь со стабильными изотопами, которые принимают активное участие в обмене веществ и обеспечении функционирования органов и систем живых организмов. Примерами таких изотопов являются калий-40, углерод-14, тритий.

При этом главным фактором степени накопления их организмом является содержание в нем стабильных изотопов.

Содержание других радиоактивных изотопов в биологической системе зависит от их концентрации в окружающей среде. Так, в золе растений, произрастающих на обычных почвах, содержание урана составляет  $3 \cdot 10^{-4}$  г/кг, а в растениях, которые вырастили на почвах, обогащенных ураном, равняется  $2 \cdot 10^{-3}$  г/кг. Примерами таких изотопов являются уран-238, радий-226, торий-232, полоний-210, свинец-210.

Антропогенная составляющая радиационного фона. Антропогенное влияние на радиационный фон заключается в использовании человеком естественных радионуклидов, извлекаемых из недр, а также искусственных радионуклидов и техногенных источников излучения.

Облучение человека при медицинских обследованиях и радиационной терапии. Основной источник искусственного облучения человека – применение радиоактивных веществ и ионизирующих излучений в медицине с целью диагностики и радиотерапии. Данный источник облучения превышает влияние всех других источников.

Ситуации создания доз облучения [1]:

- 1) при рентгенологической диагностике всего организма;
- 2) при диагностике структуры отдельных органов с применением радиоактивных изотопов в фармацевтических препаратах, например фосфора-32, хрома-57, йода-133 и других, вводимых внутрь организма;

3) при радиационной терапии с применением радиоактивных источников (кобальт-60, который составляет 75,6 % всех терапевтических установок; цезий-137, составляющий 5,6 %, линейных ускорителей (10,7 %) и других.

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» радиационный фон 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].

Поглощенная доза в органе, который облучается во время терапии, является очень большой и обычно равняется 20-60 Гр в несколько сеансов. Вредным эффектом, возникающим, как побочное действие является доза, поглощённая в гонадах на 1 Гр поверхностной дозы первичного излучения на поверхности тела. При суммировании рассеянного излучения в гонадах поглощенные дозы достигают 0,607 Гр на 1 Гр поверхностной дозы для женщин (при терапии яичников), и 0,845 Гр для мужчин (при облучении коленных чашечек) [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 [10]. 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) [9].

Испытания ядерного оружия. Во второй половине XX века 5 ядерных держав осуществили ядерные испытания практически во всех регионах земного шара. Сумма ядерных испытаний США равняется 1056.

Для Китая это цифра равняется 43 (6 наземных, 17 атмосферных, 20 подземных и подводных). В Советском Союзе было осуществлено 715 ядерных испытаний, из которых 207 были произведены в атмосфере, 508 – подземных и подводных. Максимальными по мощности (до 58 Мт ТНТ) были испытания водородных бомб, которые проводились на Новой Земле. Великобритания совершила 43 испытания, 21 из которых произошел в атмосфере, а 24 были подземными или подводными. Франция провела 198 ядерных испытаний, из которых 45 были совершены в атмосфере, а 154 были подземными или подводными. Среднее энерговыделение всех ядерных испытаний по данным Минатома Российской Федерации составило 261,965 Мт ТНТ, в США – 218,86 Мт ТНТ [1].

Ядерные испытания в течение 35 лет привели к радионуклидному загрязнению всей биосферы в глобальных масштабах. Начало испытаниям ядерного оружия было положено в США в 1945 г. На 1954-1958 гг. (максимум проведенных испытаний Соединенными Штатами) и 1961-1962 гг. (максимум проведенных испытаний Советским Союзом) пришелся период наиболее интенсивных испытаний ядерного оружия. В 1963 г. большинством стран был подписан Договор об ограничении испытаний ядерного оружия, который не затронул подземные испытания. После 1963 г. только Китай и Франция осуществили серии ядерных испытаний в атмосфере, последнее из которых пришлось на 1980 год [1].

Радионуклиды, относящиеся к категории «долгоживущих», осуществляют основной вклад в формирование дозы облучения населения. Около половины активных продуктов, которые образуются после ядерного взрыва в атмосфере, выпадают в радиусе 100 км от эпицентра. Таким образом, площадь выпадения радиоактивных продуктов на земную и водную поверхность составляет 30000 км<sup>2</sup>.

Оставшаяся половина радиоактивных осадков попадает в стратосферу и тропосферу. В последнюю попадают мелкие аэрозольные частицы (радиус несколько мкм), которые в течении месяца оказываются

на земной поверхности. При этом, благодаря циркуляции атмосферы радиоактивные осадки из тропосферы способны перемещаться и выпадать в тысячах км от эпицентра взрыва.

За исключением мелких аэрозольных частиц, которые оказываются в тропосфере, основная масса радионуклидов попадает в стратосферу, где они длительно перемешиваются и затем осаждаются на земной поверхности. При этом наибольшая часть радионуклидов выпадает в северном полушарии, так как именно в нем происходила большая часть ядерных испытаний.

После ядерного взрыва происходит образование различных искусственных радионуклидов, из которых наиболее опасен плутоний-239, который не встречается в природе в естественных условиях. После взрыва радионуклиды выпадают сначала близко к эпицентру взрыва (радиус частиц более 100 мкм). Радиус данной зоны составляет несколько десятков километров. За 48 часов после взрыва радиоактивные осадки выпадают на земную поверхность, тем самым создавая поверхностное загрязнение территории. В основном это результаты 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.

При этом литосферные ядерные испытания приводят к смене тектонических процессов. Характер изменения зависит от слагающих пород глубины испытания. При природной сейсмичности земной коры после ядерного взрыва происходит дополнительное увеличение подвижности земной коры. Например, в районе Каспия после подземных ядерных испытаний произошел переход сейсмичности в более северные районы, где до испытаний были развиты малоподвижные формы. Новая

Земля, Кольский полуостров и Пермская область позволяют наблюдать схожие процессы.

Любой ядерный взрыв, совершенный под землей вызывает термические, химические, механические и радиационные явления, которые смещают естественный круговорот процессов, как на поверхности, так и непосредственно в земной коре.

В результате, любой ядерный взрыв, совершенный в литосфере, вызывает длительную цепочку изменений естественных процессов. Изменения захватывают как литосферу, так и гидросферу с атмосферой. При этом площадь загрязнений, вызванных взрывом, постоянно расширяется.

Даже «мирные ядерные подземные взрывы», цель которых была в улучшении условий природопользования на территории, из-за высокого уровня радиоактивного загрязнения оказывались, в итоге, экономически неэффективны. Экономическая неэффективность сохранялась даже при применении малых по мощности ядерных взрывов.

Ещё одной проблемой является демонтаж ядерных боезарядов, вызывающее загрязнение окружающей среды. Например, в 1990 г. в Советском союзе было 25000 ядерных боевых зарядов. При среднем сроке эксплуатации в 15 лет необходима ежегодная замена 1650 ядерных боеголовок. При этом демонтаж является сложной и опасной процедурой, которая происходит в ряд этапов: сначала происходит разборка боеголовок, затем происходит удаление ядерного заряда и электромеханических составляющих. В России демонтаж выполняют предприятия-изготовители. Тритиевые заряды отправляются в г. Челябинск, урановые – в г. Екатеринбург, а плутониевые – в г. Северск.

Атомные электростанции. АЭС обладают рядом бесспорных достоинств: высокая выработка электроэнергии, относительно небольшая цена топлива, экологическая безопасность при безаварийной

эксплуатации. На 1994 г. суммарная мощность АЭС в мире составила  $350 \cdot 10^3$  МВт. В 1994 г. АЭС располагались в 29 странах мира.

Доли выбросов искусственных радионуклидов в окружающую среду в ходе ядерного топливного цикла составляют примерно 4 % для атомных электростанций и 96 % для предприятий переработки ядерного топлива.

Для ядерного топливного цикла, как правило, характерны контролируемые и организованные выбросы. Выбросы АЭС осуществляются через трубы высотой в 100-150 м, что приводит к снижению концентрации искусственных радионуклидов в приземном слое за счет более эффективного рассеяния в атмосфере. В случае безаварийной эксплуатации на АЭС стабильны высокие коэффициенты задерживания искусственных радионуклидов, которые обеспечиваются технологическими мерами удержания радионуклидов, как в теплоносителе, так и в активной зоне. При этом, технические меры задерживания искусственных радионуклидов постоянно совершенствуются.

Всё выше перечисленное применимо в условиях безаварийной эксплуатации АЭС и заводов по переработке ядерного топлива. Вероятность аварий на данных предприятиях составляет  $10^{-6}$ , однако количество и состав выбросов искусственных радионуклидов при авариях отличается. Они зависят от мощности реактора, степени и характера разрушений в активной зоне, времени с начала аварии. За 1 ч в атмосферный воздух способно попасть до 30 % суммарной активности, что составляет 0,004 ядерного взрыва в 1 Мт. Данная ситуация возможна при значительном разрушении активной зоны.

Так как при ядерном взрыве момент образования радионуклидов совпадает с моментом их попадания в окружающую среду, то для него будет характерно большее число короткоживущих радионуклидов. В свою очередь, при аварии на АЭС большая часть искусственных радионуклидов образовалась задолго до момента выброса в окружающую среду, и, как следствие, для аварии на АЭС будет характерно большее содержание

долгоживущих радионуклидов. В результате, при аварии на АЭС будет наблюдаться более длительный спад уровня радиоактивного загрязнения, чем при ядерном взрыве.

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

Каменный уголь имеет относительно небольшое содержание радионуклидов, но так как масса сжигаемого угля велика, то его доля в облучении населения является весомой. Основная масса радионуклидов попадает в атмосферный воздух вместе с пылью.

Бытовые источники радиоактивного излучения присутствуют и в быту. Например, при производстве для журналов глянцевого цвета широко используется каолин – глина белого цвета, состоящая из минерала каолинита. Каолин способен накапливать радиоактивные изотопы урана и тория. Различная стеклянная посуда, а также вазы, графины и бокалы могут содержать в себе искусственные изотопы свинца, что может приводить к облучению населения.



### 1.3 Биологическое действие ионизирующего излучения

Физический этап поражения клеток заключается в поглощении энергии излучения клеткой за счет ионизации атомов. При этом даже при летальной для организма млекопитающих дозе, которая равняется 1000 рад, ионизируется лишь  $1 \cdot 10^{-6}$  молекул, а ткани получают крайне малую энергию (2 кал/г). Данный эффект называется «радиобиологическим парадоксом», который заключается в несоответствии крайней степени реакции биологических систем (включая летальный исход) и крайне малой величиной энергии, которую система поглотила.

Дополнительно стоит отметить, что подавляющая часть ионизированных молекул рекомбинирует. Как следствие, эффект, который вызывает излучение в биологических системах, не объясняется первичными изменениями физических параметров в клетках, что вызывает несостоятельность теорий попаданий в мишени и точечных разогревов. Предположительно, при воздействии ионизирующего излучения на живой организм в нем происходят другие механизмы, которые обуславливают повреждающий эффект.

Такие реакции проходят по цепному типу: радикал или химически автономная молекула, которая вступила в реакцию после ионизации, вызывают две другие активные молекулы, называемые радикалами, которые играют роль катализаторов и индуцируют возникновение других активных молекул или осколков. В результате начинается первичное действие на живой организм ионизирующего излучения, основой которого являются прямое и косвенное действие [13].

К первичным физическим процессам, возникающим после воздействия ионизирующего излучения на живые организмы, относят возникновение веществ, обладающих высокой химической активностью. Основа биологического действия ИИ связана с продуктами радиолиза воды ( $H$ ,  $OH$ ,  $HO_2$ ,  $H_2O_2$ ), но ионизирующее излучение способно оказывать

прямое воздействие, как на молекулы, так и на надмолекулярные структуры.

Излучение способно вызывать разные денатурационные изменения, к которым относят: отрыв радикалов, разрушение связей, обладающих малой прочностью, деполимеризацию и др.

В биологическом эффекте могут быть значимы процессы миграции энергии и возникновения метастабильных изменений, которые образуются в результате длительного сохранения состояния возбуждения в макромолекулярных субстратах. Использование различных методов исследования (люминесцентных, масс-спектрометрических и других) в экспериментах, связанных с радиобиологией, показывает не реализацию энергии, полученной от ионизирующего излучения в месте акта взаимодействия. Энергия поражает наиболее «слабое» место биологической системы, перемещаясь по специфическим путям, которыми обладает данная структура.

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 количества экспозиционной дозы (рентген), и поглощенной дозы (рад и грей). Тяжесть радиационного поражения зависима как от дозы излучения, так и продолжительности действия. Если облучение кратковременно, то повреждающее действие будет заметнее, чем при длительном облучении при одинаковой дозе. В случае подверженности организма дробному облучению наблюдается снижение биологического эффекта. Такое облучение организм способен вынести в больших суммарных порциях.

При определении тяжести радиационного поражения велико значение возраста организма и его индивидуальной реактивности. В экспериментах на животных [7; 8] выявляются значительные колебания персональной реактивности организма: некоторые собаки оставались в

живых при однократном облучении в 600 Р, в то время, как другие погибали при дозе в 275 Р. Установлена большая чувствительность беременных и молодых организмов к ионизирующему излучению. Старые организмы имеют наименьшую резистентность из-за снижения в них процессов регенерации.

Выявляют следующие виды эффекта воздействия на организм ионизирующего излучения [12]: генетический и соматический. При генетическом эффекте последствия облучения заметны у потомства, а при соматическом – непосредственно у организма, подвергнутому облучению.

Существуют ранние и отдаленные соматические эффекты. К ранним относят эффекты, проявляющиеся в период от нескольких минут до двух месяцев после облучения. В данную группу эффектов входят: покраснение кожи, замутнение хрусталика глаза, повреждение кроветворной системы, вплоть до лучевой болезни и смерти.

В свою очередь, отдаленные соматические эффекты могут быть заметны лишь через несколько лет. К ним относят: изменение цвета кожи, появление злокачественных новообразований, подавление иммунной способности организма, снижение продолжительности жизни.

Выявлены общие закономерности воздействия ионизирующих излучений:

- 1) ничтожно малые количества поглощенной энергии способны вызвать глубокие нарушения в процессах жизнедеятельности организма;
- 2) биологическое действие, которое оказывает ионизирующее излучение, способно распространяться на будущие поколения через наследственную способность организма;
- 3) биологическое действие, которое оказывает ионизирующее излучение, характеризуется скрытым периодом: заметные признаки поражения организма проявляются не сразу.

Длительности латентного периода может быть как несколько минут, так и десятки лет. Длительность латентного периода зависит от дозы

облучения, а также от возраста организма и его радиочувствительности. Например, при облучении в дозах, равных десяткам тысяч рад можно вызвать быструю смерть организма, а долговременное облучение малыми дозами может вызвать изменение нервной системы или возникновению опухолей через десятки лет после облучения [10; 11].

При определении радиочувствительности организма велико значение возраста, интенсивности метаболизма организма, его физиологического состояния и условий облучения. Кроме дозы облучения, которой подвергся организм, важную роль имеют мощность дозы, характер облучения (разовое облучение, многократное, дробное, хроническое, внутреннее или внешнее, общее или частичное), а также физические особенности облучения, (гамма-излучение, бета- или альфа-частицы), которые характеризуют глубину проникновения излучения и вызываемую им плотность ионизации. Сумма данных факторов позволяет определить биологическую эффективность излучения.

В случае внутреннего облучения организма (когда источником излучения являются изотопы, попавшие в организм) велика роль химической характеристики изотопа, которая формирует его участие в метаболизме, способность накапливаться в конкретном органе, характер облучения биологической системы.

Выявлена степень радиочувствительности некоторых биологических объектов (микроорганизмов, растений) [7; 8]. По величине радиочувствительности микроорганизмы можно расположить в следующем порядке: наименее чувствительны вирусы, затем споры бактерий, дрожжи, плесень, наибольшей чувствительностью обладают бактерии. Данное разделение не является константой, так как среди видов бактерий существуют более устойчивые, чем вирусы. Бактерии обладают наибольшим интервалом чувствительности внутри одной и той же популяции. В популяции бактерий всегда имеются более радиорезистентные клетки, смерть которых обеспечивают гораздо более мощные дозы, чем дозы,

вызывающие гибель основной массы бактерий. При этом, грамотрицательные бактерии являются более чувствительными к облучению, чем грамположительные. Птицы и млекопитающие, в свою очередь, имеют меньшую устойчивость к радиационному воздействию, чем растения [6].

Небольшие дозы облучения способны стимулировать жизнедеятельность растений (увеличение зелёной массы, интенсивность роста, произрастание семян и др.), а большие дозы, составляющие 200-400 Гр способны вызывать уменьшение выживаемости растений, проявление у них уродств, мутаций. Изменения в растениях, происходящие при облучении, связаны с возникновением первичных радиотоксинов. В малых дозах радиотоксины способны стимулировать жизнедеятельность, а в больших дозах вызывают нарушение роста и развития растений. [1] Промывка семян, подвергшихся облучению, в течении суток после взаимодействия с ионизирующим излучением уменьшает угнетение растения на 50-70 %. По данным [6] лучевая болезнь растений способна возникать при воздействии разных видов ионизирующих излучений. Наиболее опасными видами излучений для растений являются альфа-излучение и нейтронное излучение, которые вызывают нарушение углеводного, жирового и нуклеинового обмена внутри растений.

Наиболее чувствительными к облучению являются молодые ткани растений и их корни. Главным симптомом лучевой болезни растений является задержка роста. Так, у молодой пшеницы, кукурузы и фасоли нарушение роста наблюдается после 20-30 ч после облучения при дозе более 4 Гр. Однако, различными исследованиями [6] выявлено, что облучение воздушно-сухих семян дозой 3-15 Гр для многих культур мало того, что не вызывает угнетение роста, так ещё и вызывает ускорение большинства биохимических процессов. Данный эффект проявляется в увеличении урожайности и ускорении его развития.

Были выявлены видовые, сортовые и индивидуальные изменения в радиочувствительности растений [6]. Так, у традесканции симптомы лучевой болезни проявляются при дозе облучения в 40 рад, а у гладиолуса – 6000 рад. При этом летальная доза облучения составляет 2000-3000 рад для большей части высших растений, а для низших растений летальная доза равняется 30000 рад. Лучевая болезнь так же вызывает в растениях увеличение подверженности инфекционным заболеваниям. Облученные растения становятся недоступными для пищевого использования человеком и на корм скоту, так как данные растения способны вызвать за счет внутреннего облучения лучевую болезнь у консументов. При этом в настоящее время отсутствуют эффективные методы защиты высших растений от лучевой болезни.

Основные факторы, определяющие особенности поражения живого организма вследствие воздействия ионизирующего излучения:

1. Тип излучения. Хотя и все виды ионизирующего излучения способны оказать влияние на живой организм, существует различие в количестве переносимой излучением энергии, что влияет на проникающую способность излучения.

2. Размер дозы, которую получил организм. Вероятность возникновения биологических последствий для организма тем выше, чем больше доза полученной радиации.

3. Длительность воздействия радиации. Так, доза, полученная за недели, будет вызывать гораздо меньшие последствия, чем данная доза, полученная организмом за несколько минут.

4. Облученная часть тела. Конечности способны получить гораздо большую дозу радиации с меньшим выражением повреждений. Напротив, кровь и внутренние органы, размещенные в пояснице, получают существенные повреждения от меньших доз облучения.

5. Возраст организма. В связи с тем, что процессы регенерации и деления клеток с возрастом замедляются, тело пожилых людей является

менее чувствительным к проявлением эффектов ионизирующих излучений.

6. Биологические различия. Одни особи более чувствительны к воздействию 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 влиянии на организм [7].

#### 1.4 Радиационный мониторинг

Monitor с латинского переводится как – «наблюдающий». Именно вокруг слова «наблюдение» и строится большинство современных определений мониторинга. Некоторые мониторингом называют систематические повторные наблюдения за состоянием окружающей среды, которое производит изменение своего состояние во времени и пространстве.

Академик РАН Израэль Ю.А. в 1974 г. сформулировал более конкретное определение мониторинга. По Израэлю Ю.А. 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 вызванных ими эффектов в биосфере.

Радиационный контроль – наблюдение за соблюдением таких нормативных документов, как «Нормы радиационной безопасности» и «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений», а также сбор информации о фактических уровнях облучения населения и о радиационной обстановке на конкретной территории. Радиационный

контроль выполняет служба радиационной безопасности, ведомственные службы, а также должностные лица с использованием приборов, методического материала радиационного контроля при использовании расчетных методов.

Основные задачи экологического мониторинга антропогенных нагрузок на территорию [2]:

- 1) наблюдение за техническим состоянием источников антропогенного воздействия;
- 2) наблюдение за различными факторами техногенного воздействия;
- 3) наблюдение за динамическим состоянием окружающей природной среды и теми изменениями, которые происходят в ней в связи с факторами антропогенного воздействия;
- 4) оценка физических параметров состояния окружающей природной среды;
- 5) прогнозирование изменения состояния окружающей природной среды в связи с влиянием различных факторов техногенного воздействия, а также прогнозирование состояния природной среды.

Практические направления мониторинга [2]:

- 1) наблюдение за качественным и количественным изменением факторов, воздействующих на окружающую среду и изменениями, происходящими в ней;
- 2) оценка современного фактического состояния окружающей природной среды и степени ее загрязнения;
- 3) прогнозирование состояния окружающей природной среды при возможном влиянии антропогенных загрязнений и характеристика этого состояния.

При классификации мониторинга со стороны объемов обобщения информации можно выделить следующие виды мониторинга:

- 1) глобальный мониторинг – наблюдение за процессами и явлениями, охватывающими всю биосферу Земли (включая весь спектр



экологических компонентов), и предупреждение о возможном появлении экстремальных ситуаций;

2) базовый (фоновый) мониторинг – наблюдение за глобальными природными явлениями при отсутствии наложения антропогенного влияния;

3) национальный мониторинг – наблюдения, проводимые в масштабах страны;

4) региональный мониторинг – наблюдение за процессами и явлениями при пространственном ограничении в каком-либо регионе, где эти процессы и явления имеют свою специфику и закономерности развития;

5) локальный мониторинг – заключается в наблюдении за воздействием конкретного источника антропогенного загрязнения;

б) импактный мониторинг – наблюдения за локальным антропогенным влиянием в особо опасных зонах.

Структура государственной системы мониторинга состоит из трех функциональных типов мониторинга:

- 1) базовый или стандартный мониторинг,
- 2) кризисный или оперативный мониторинг,
- 3) научный или прецизионный мониторинг.

Под базовым мониторингом понимают систематический, имеющий оптимальное число параметров, оптимальную периодичность, выгодное пространственное расположение, наибольшую экономическую целесообразность контроль окружающей среды. Базовый тип мониторинга возможен благодаря работе сети пунктов наблюдений, которые охватывают всю территорию страны.

Под кризисным мониторингом понимают оперативный контроль состояния предельно допустимых уровней (ПДУ), а также концентраций, сбросов и т.п. Дополнительно в кризисный мониторинг включается быстрое реагирование при предотвращении или локализации аварий и

катастроф. Формирование системы осуществляется за счет базы территориальных структур, выполняющих функции наблюдения и контроля параметров окружающей природной среды.

Под научным мониторингом понимают точное исследование конкретных показателей окружающей природной среды, выполняемое с целью прогнозирования долгосрочных изменений в результате нарушения экологического равновесия, а также для выявления тенденций развития техногенного воздействия. В научный мониторинг входит интеркалибровка и верификация значений, которые были получены в результате деятельности базового мониторинга. Научный мониторинг обеспечивается координирующими структурами, которые формируются на базе существующих подразделений российской академии наук.

Задачи радиоэкологического мониторинга [17]:

1) наблюдение и оценка состояния загрязненной радионуклидами территории, ее отдельных, особенно опасных частей, выполнение мероприятий по снижению их опасности;

2) контроль параметров, которые характеризуют радиоэкологическую ситуацию на территории как на территории, подвергшейся загрязнению, так и за её пределами;

3) определение направления изменений в состоянии окружающей природной среды при функционировании объектов 2 класса опасности и связанных с использованием радиоактивного топлива, а также при выполнении мероприятий, охватывающих загрязненные территории;

4) изучение направления смены уровня состояния здоровья граждан, которые проживают на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

Основой мониторинга в области радиационной экологии является информация, которая фиксируется базовым мониторингом. Для сбора данной информации базовый мониторинг использует специально разработанные методы исследования соответствующих объектов.

## 1.5 Мониторинг радиационного фона на территории города Челябинск

Мониторинг радиационного фона на территории г. Челябинска 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 часа [13].

По данным многолетних измерений среднестатистический показатель радиационного фона в Челябинской области равен 0,11 мкЗв/ч. Данное значение, в основном, обусловлено природными факторами.

В Челябинске центр выполняет замеры уровня радиационного фона на 3 точках (постах):

- 1) ул. Витебская 15 (ЦГМС),
- 2) метеостанция Шершни,
- 3) ул. Трудовая (у насосной ЧМК).

Среднее значение по трем постам ежемесячно публикуется на сайте Росгидромета Челябинский ЦГМС [13].

## 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 А (рисунок А.1). Ключевыми в определении радиационного фона являются горные породы и минералы, которые содержат в определенных концентрациях естественные радионуклиды. В первую очередь, данными радионуклидами являются уран-238, торий-232 с последующими продуктами их распада и калий-40. Концентрация последнего в природном калии составляет 0,012 % [22].

Уральский регион имеет мозаичную структуру естественного радиационного фона. Данная мозаичность обеспечивается присутствием на территории Урала нескольких эколого-радиогеохимических зон. Каждая такая зона имеет свои уникальные особенности (геологическое строение, скопление радиоактивной минерализации, а также особые обогащенные радиоактивными изотопами породные комплексы). Дополнительно, на территории каждой радиогеохимической зоны выделяются участки с повышенной радиоактивностью горных пород и почв, а также участки с увеличенным радоновыделением. Определение данных участков выполнялось по критерию концентраций урана-238, тория-232 в минералах и горных породах, а также радона-222 и 224 в почвенном воздухе и воде. При увеличении концентрации этих элементов происходит увеличение радиационного фона.

Аномальные участки имеют концентрации радия более 3 г/т, радона в воде – 60 Бк/л, концентрации радона в почвенном воздухе – 30-40 кБк/м<sup>3</sup>, а радиационный фон более 0,15 мкЗв/ч. Помимо этого, характерной особенностью Уральского региона является широкое распространение гранитных интрузий, разломов и участков пересечения различных

разломов земной коры, которые подвержены большей проницаемостью и в результате этого характеризуются локальными скоплениями радиоактивных элементов в горных породах.

Данные особенности позволили составить эколого-радиохимическое районирование Урала с выделением соответствующих зон [22]. Карта данного районирования представлена на рисунке А.1 в приложении А.

По схеме эколого-радио-геохимических зон [22], г. Челябинск относится к Мурзинско-Камышевской зоне (№3 на рисунке А.1 в приложении А). Данная зона располагается на восточном склоне Уральских гор, протягивается по центральной части Урала, а Южном Урале замыкается Челябинск-Суудукской зоной. Мурзинско-Камышевская зона выделяется от окружающих зон большим гамма-фоном. На территории данной зоны расположено множество проявлений радиоактивной минерализации, которые тяготеют к гранитам данной зоны. Мурзинско-Камышевская зона обладает россыпями редкоземельной минерализации, которые совпадают с современными речными отложениями. Эти россыпи имеют повышенное содержание радионуклидов, в особенности тория. Здесь выделены контуры 24 потенциально опасных локальных участка радоновыделения, которые, в свою очередь, формируют 5 радоноопасных площадей на территории Урала. Одна из этих площадей – Карасьевская – находится в Челябинской области [22].

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 четырёх деревень, суммарное население которых составляло 1383 человека: Бердяниш, Сатлыкова, Галикаева, Русская Караболка [10].

В дальнейшем был организован жесткий контроль уровней радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции и продовольствия.

За период с 1957 по 1959 гг. были изъяты 1308 тонны зерна, 240 тонн картофеля, 1040 центнеров мяса, 666 центнеров молока (это 2-3 % от годового производства продовольствия и фуража на хозяйственных объектах в зоне ВУРСа).

В 1958 г. из-за аварии потеря земель сельскохозяйственного назначения составила  $59 \cdot 10^3$  га в Челябинской области и  $47 \cdot 10^3$  га в Свердловской области. На территории, подвергшейся загрязнению, была проведена плановая эвакуация населения. На наиболее пострадавших территориях был создан Восточно-Уральский государственный заповедник, площадь которого составляет 16616 га.

Всего за период с 1957 по 1960 гг. 23 населенных пункта с суммарной численностью населения в 12763 человека были подвержены

принудительному отселению. Из 23 населенных пунктов 20 были расположены на территории Челябинской области.

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 Б рисунок Б.1). Дополнительно была создана зона мониторинга, расположенная на удалении до 5 км от СОЗ. Суммарная площадь данной зоны составила 700 км<sup>2</sup> [10].

В Челябинской области в площадь СОЗ вошли следующие водоёмы: Бердяниш, Урускуль, Малый и Большой Игиш, Травяное, Малое Травяное, Алабуга, Кожакуль, а также Куяныш. Суммарная площадь зеркала данных озёр 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 территории, связанное с ветровым переносом пыли с территории, прилегающей к озеру Карачай. Причиной вторичного загрязнения стали погодные условия: недостаточное количество осадков зимой, сухая весна, присутствие сильных и сухих ветров. В результате, в апреле 1967 г. ветровым переносом радиоактивные элементы были перенесены на территорию с суммарной площадью в 1800 км<sup>2</sup>, а суммарное количество перенесенного радиоактивного вещества примерно равна 6000 Кюри.

Оценивая природную составляющую гамма-фона на территории города стоит заострить внимание на подстилающих горных породах и содержании в них радиоактивных элементов.

Согласно геологической карте (приложение В, рисунок В.1) территория города представлена следующими геологическими структурами:

- 1) гранодиориты и кварцевые моноциты,
- 2) сиениты,
- 3) отложения верхнего триаса,
- 4) отложения нижнего карбона,
- 5) отложения верхней перми.

По Григорьеву Н. А. [5] средняя концентрация урана и тория в сиенитах и гранодиоритах составляет 3 г/т (U) и 13 г/т (Th); 2,7 г/т (U) и 9,9 г/т (Th) соответственно.

По Титаевой Н. А. [4] в магматических горных породах содержание урана и тория зависит от трех важнейших факторов:

- 1) принадлежность формации к конкретным глобальным резервуарам,
- 2) принадлежность к определенным сериям щелочности,
- 3) принадлежность формации к конкретному петрохимическому типу пород по содержанию  $\text{SiO}_2$ .

Существуют три формы нахождения урана и тория в магматических горных породах:

- 1) собственные минералы,
- 2) присутствие в акцессорных минералах с помощью явления изоморфизма,
- 3) рассеянные формы.

При этом доленое соотношение между отдельными формами горных пород зависит от их состава и условий образования.

При магматической кристаллизации ключевым в поведении элемента являются его концентрирование в магме, структура кристаллов, в которые данный элемент способен войти, а также его кристаллохимические свойства.



В интрузивных горных породах, за исключением некоторых гранитных, концентрация тория и урана является достаточно низкой (от 4 % до 10 %), что делает невозможным формирование данными элементами собственных минералов. Как следствие, в горных породах, за исключением гранитных доминирующей является рассеянная форма урана и тория.

В интрузивных горных породах за исключением кислых радиоактивные элементы являются рассеянными в решетках минералов, образующих породу. В случае быстрого остывания расплава при образовании вулканических горных пород уран и торий, которые находятся в остаточном расплаве, в дальнейшем концентрируются в стекле в форме твердого раствора. При этом вкрапления могут содержать в 100-1000 раз меньшее количество урана и тория.

Как следствие, при магматической кристаллизации и уран и торий вынуждены входить в минералы других химических элементов. В магматических камерах при восстановительных условиях уран имеет степень окисления +4 и становится химическим аналогом тория +4.

Уран в степени окисления +4 и торий в степени окисления +4 обладают высоким зарядом и весьма большим ионным радиусом, что не имеет аналогов среди петрогенных элементов. В результате уран и торий не способны изоморфно входить в структуру породообразующих минералов. Медленная кристаллизация вызывает дистилляцию ранних минеральных фаз, что приводит к отеснению тория и урана в остаточный расплав.

В интрузивном процессе является значимой интенсивная дифференциация урана и тория. При этом остаточный расплав способен значительно обогащаться радиоактивными элементами (вплоть до тысяч раз).

## 2.2 Экологическое картографирование

Экологическим картографированием называется наука о способах сбора, анализа и представления информации о состоянии окружающей среды с помощью картографических методов.

Экологическое картографирование является «стыковой» дисциплиной, т.е. оно образует сложную комбинацию с одной стороны – методов получения и пространственной интерпретации информации о состоянии окружающей среды, а с другой – картографических способов географически корректного отображения информации.

Главным отличием экологического картографирования является то, что развитие данной науки не ограничивается конкретными отраслевыми рамками, а проявляется во внедрении элементов экологии в схожие тематические области и во внедрении различных других тематических материалов в экологию.

Экологическое картографирование получило своё максимальное развитие в последние 70 лет. Причиной данного развития стало серьезное изменение состояния окружающей природной среды, когда ухудшение её состояния стало очевидным.

В свою очередь, экологическое картографирование разделяется на несколько частей, взаимосвязанных друг с другом. Первой из основных частей является получение информации, которое происходит от данных дистанционного зондирования Земли, статистических и полевых методов исследования. Главным требованием к данной части экологического картографирования является максимальная точность, актуальность и достоверность собранных данных, так как именно от качества выполнения данной части зависит итоговая ценность картографически полученного 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.

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]:

- 1) данные дистанционного зондирования Земли;
- 2) качественные и количественные статистические данные;
- 3) данные о состоянии компонентов окружающей среды и биоиндикаторов, полученные с помощью экспедиционных и стационарных исследований.

Источники информации для экологического картографирования также 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.

Так как во время разработки методологических положений для эколого-географических исследований использование средств создания картографического материала является важнейшим условием, каждая новая методика оценки и анализа экологического состояния окружающей природной среды подразумевает картографирование, что позволяет рассматривать экологические карты как визуализацию методологии выполнения эколого-географических исследований.

В настоящее время предметами отображения на экологической карте служат абсолютное большинство показателей природно-ресурсного потенциала территории и техногенного воздействия на окружающую природную среду. Некоторые из показателей имеют вспомогательное значение в то время как другие являются итоговым источником информации для последующего анализа. В ходе экологических исследований используется поэтапный переход от анализа информации к её синтезу, от оценки компонентов окружающей природной среды к оценке экологического потенциала ландшафтов, с учётом оказываемого на них антропогенного воздействия.

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 века.

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 последнее время стали создаваться ГИС экологического содержания, включающие практическую ориентацию, включающие в себя серии взаимосвязанных карт, а также базы данных, с помощью которых можно в оперативном режиме выполнять анализ экологической ситуации и принимать грамотные 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, необходимость 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 состояние 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.

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 01М Прайм – усовершенствованная версия дозиметра 01М. Прибор разработан и производится в России [17].

«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 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 2019-20 гг. маршрутным способом. Территория города разбивалась на зоны, в каждой из которых определялся пункт наблюдений, между которыми прокладывался маршрут (общая его длина составила 118 км). Маршрут исследования представлен на рисунке Г.1 приложения Г. Всего на маршруте было сформировано 33 точки (рисунок Г.2 в приложении Г), 3 из которых совпали с пунктами наблюдения Челябинской ЦГМС. На точках проводились замеры гамма-фона (в мкР/ч). Результаты замеров обрабатывались математико-



статистическими методами [12], а также методами интерполяции (Inverse distance weighting - IDW) [8] с последующей классификацией. Картографическая основа территории г. Челябинска взята в проекции «Псевдо Меркатор» с кодом EPSG:3857 из системы Google Satellite Hybrid. Расчеты выполнялись в программных продуктах MS Excel и Quantum GIS.

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

Статистический анализ замеров показал, что в среднем гамма-фон в районе города по нашим наблюдениям составляет порядка 15 мкР/ч (таблица 1). Полученные нами средние показатели незначительно отличаются от данных Челябинской ЦГМС. Таким образом, не доверять официальным данным нет никаких оснований.

Таблица 1 – Статистические показатели гамма-фона г. Челябинск по некоторым месяцам наблюдений, мкР/ч

Показатель	Месяц							
	6	7	8	9	10	11	12	1
Среднее	15,09	14,56	14,69	14,88	15,22	14,72	14,75	15,34
Стандартная ошибка	0,51	0,45	0,44	0,46	0,36	0,39	0,40	0,39
Медиана	15,00	14,50	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Мода	17,00	14,00	15,00	15,00	14,00	13,00	15,00	15,00
Дисперсия	8,28	6,38	6,22	6,63	4,24	4,79	5,23	4,75
Интервал	13,00	11,00	12,00	12,00	9,00	8,00	12,00	8,00
Минимум	8,00	9,00	8,00	10,00	12,00	10,00	8,00	11,00
Максимум	21,00	20,00	20,00	22,00	21,00	18,00	20,00	19,00
Среднее (Челябинская ЦГМС)	15,00	14,20	15,00	14,70	14,70	14,30	14,30	15,30

Величины гамма-фона в разные месяцы отличаются интервалами и по минимальным и максимальным значениям. Однако эти различия не являются статистически значимыми – дисперсионный анализ величин гамма-фона при ежемесячной группировке данных показал величину F-критерия Фишера 1,93 при критическом его значении для данной выборки – 2,05. Таким образом, статистически значимой сезонной динамики гамма-фона в городе по данным наших наблюдений не выявлено.

При этом ежемесячно отмечаются достаточно значительные различия гамма-фона, между точками наблюдений, расположенных в разных районах города, разница составляет от 8 до 13 мкР/ч. Дисперсионный анализ [8] величин гамма-фона при группировке данных по точкам наблюдений показал величину F-критерия Фишера 28,66 при критическом его значении для данной выборки – 1,50. Таким образом, между различными точками наблюдений существует статистически значимое различие, что указывает на наличие в городе районов с несколько повышенным и пониженным (по сравнению со средними величинами) уровнями гамма-фона.

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

Охват слоя составляет местоположение крайних точек, а коэффициент расстояния равен трем, что усиливает влияние точки отбора проб на окружающую территорию. Причина применения данного коэффициента связана со значительным расстоянием, разделяющим соседние точки отбора проб.

Карта имеет одноканальное псевдоцветное 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.

Дополнительно были применены две методики отображения интерполяции: линейная и дискретная.

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

Интерполяция значений по месяцам представлена в приложении Д:

- июньские значения на рисунках Д.1 (линейная) и Д.2 (дискретная);
- июльские значения на рисунках Д.3 (линейная) и Д.4 (дискретная);
- августовские значения на рисунках Д.5 (линейная) и Д.6 (дискретная);
- сентябрьские значения на рисунках Д.7 (линейная) и Д.8 (дискретная);
- октябрьские значения на рисунках Д.9 (линейная) и Д.10 (дискретная);
- ноябрьские значения на рисунках Д.11 (линейная) и Д.12 (дискретная).

Интерполяция данных с последующей классификацией позволяет произвести районирование города по величинам гамма-фона (рисунок 1).

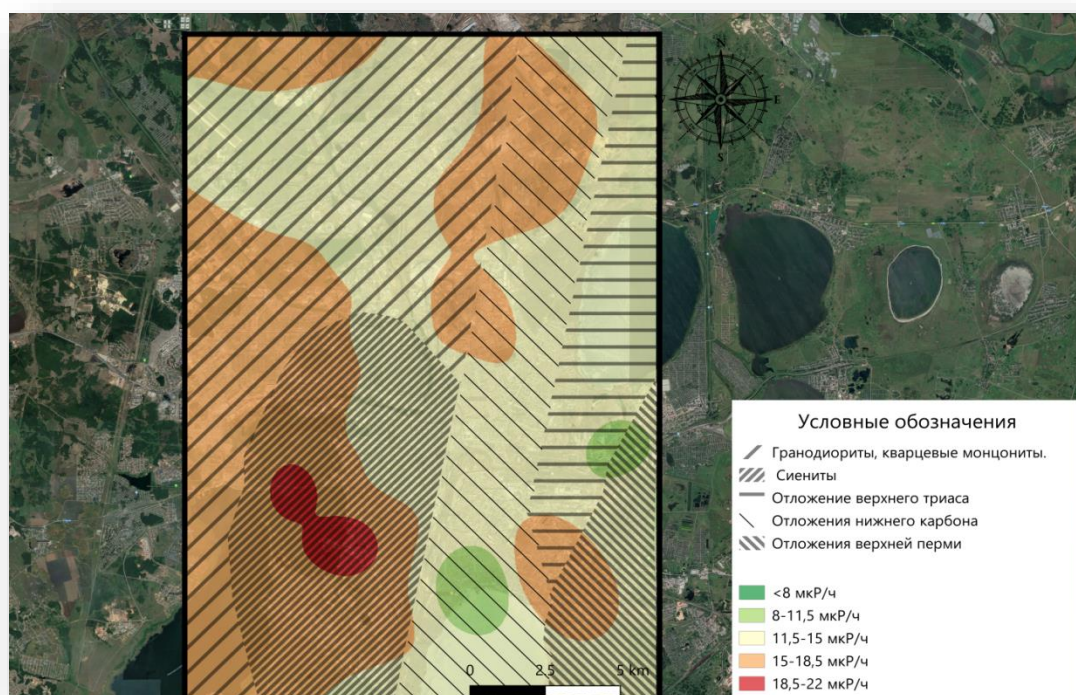


Рисунок 1 – Распределение величин гамма-фона на территории г. Челябинск

Всего определяется пять зон:

– менее 8 мкР/ч,

- 8-11,5 мкР/ч,
- 11,5-15 мкР/ч,
- 15-18,5 мкР/ч,
- 18,5-22 мкР/ч.

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

1. Достаточно четко выделяются четыре городских зоны по уровню гамма-фона:

- западная (15-22 мкР/ч),
- юго-восточная (8-13 мкР/ч),
- район Челябинского электрометаллургического комбината (ЧЭМК),
- зона повышенных значений на юго-востоке города.

2. Характер распределения гамма-фона на территории города достаточно четко совпадает с геологическим строением его территории – первая зона характерна для участков, сложенных интрузивными горными породами (сиениты, гранодиориты), а вторая – преимущественно осадочными горными породами.

3. Зоны с повышенным гамма-фоном соответствуют участкам города с наибольшей антропогенной нагрузкой – высокой концентрацией промышленных предприятий, особенно металлургического комплекса (для этой территории также не определяется специфика геологического строения).

4. Район озер города Челябинск характеризуется наименьшими значениями радиационного фона, что связано с большой толщиной аккумулятивного слоя в подстилающих породах и экранирующим эффектом толщи воды.

5. Зона в юго-восточной части города связана со стыком горных пород нескольких геологических систем, что способствует повышению

значений гамма-фона за счет наличия в составе горных пород радиоактивных элементов.

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 фона статистически недостоверны, но в пределах города статистически достоверно определяются зоны с повышенным и пониженным гамма-фоном. Эти зоны в первую связаны с особенностями геологического строения территории и высокой концентрацией промышленных предприятий, особенно металлургического комплекса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрена проблема радиации, а также пространственное распределение гамма-фона в пределах г. Челябинска.

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.

В ходе работы была освоена методика применения дозиметра Soeks 01M Prime. 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 незначительно отличаются от данных Челябинской ЦГМС;

2) отсутствие сезонной динамики в изменении гамма фона на территории города (F-критерия Фишера 1,93 при критическом его значении для данной выборки – 2,05);

3) наличие в городе районов с несколько повышенными и районов с пониженными величинами гамма-фона, при группировке данных по точкам наблюдений критерий Фишера F показал значение 28,66 при критическом его значении для данной выборки – 1,50.

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

Можно констатировать неоднородность распределения гамма-фона на территории города, что связано с комбинированным воздействием различных естественных и антропогенных факторов. Главным

естественным фактором является влияние подстилающих горных пород. При этом данный фактор оказывает различное влияние на разные участки городской территории. После анализа полученного картографического материала можно выделить главный антропогенный фактор, влияющий на значения радиационного фона в г. Челябинске. Северо-восток города является единственной территорией, изолинии которой пространственно не совпадают с геологическим строением территории. Возможно, объяснением полученных данных является повышенная концентрация в данном районе металлургических комплексов и теплоэлектростанций.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеенко, Н. А. О видах и типах экологических карт [Электронный ресурс] / Наталья Алексеенко. – Электрон. дан. – Режим доступа : [https://istina.msu.ru/media/publications/article/c39/25f/4787846/o\\_vidah\\_i\\_tipah\\_ekologicheskikh\\_kart.pdf](https://istina.msu.ru/media/publications/article/c39/25f/4787846/o_vidah_i_tipah_ekologicheskikh_kart.pdf), свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 22.05.2020
2. Библиофонд. Электронная библиотека студента [Электронный ресурс] : сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=603486>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 28.05.2020.
3. Большая медицинская энциклопедия [Электронный ресурс] : сайт. Электрон. дан. – Режим доступа : [https://бмэ.орг/index.php/ИОНИЗИРУЮЩИЕ\\_ИЗЛУЧЕНИЯ](https://бмэ.орг/index.php/ИОНИЗИРУЮЩИЕ_ИЗЛУЧЕНИЯ), свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения : 12.05.2020.
4. Геологическая библиотека «Геокнига» [Электронный ресурс] : сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://www.geokniga.org/books/5075>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 28.05.2020.
5. Григорьев, Н. А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры [Текст] / Николай Григорьев // Геохимия. – 2003. – № 7. – С. 785–792.
6. Григорьев, Ю. Г. Индивидуальная радиочувствительность [Текст] / Юрий Григорьев. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 80 с.
7. Гуськова, А. К. Радиация и здоровье [Текст] / Ангелина Гуськова // Радиационная гигиена. – 2014. – № 1. – С. 49–53.
8. Демьянов, В. В. Геостатистика: теория и практика [Текст] / 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 [Текст] / Алла Журавская // Наука и образование. – 2016. – № 2(82). – С. 94–102.

10. Информационно-правовое обеспечение Гарант [Электронный ресурс]: сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://ivo.garant.ru/#/document/10108859/paragraph/9410:0>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 28.05.2020.

11. Карташев, А. Г. Радиоэкология [Электронный ресурс] / Александр Карташев. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13865.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 03.05.2020.

12. Лакин, Г.Ф. Биометрия [Текст] / Георгий Лакин. – Москва: Высшая школа, 1990 – 350 с.

13. Маврищев, В. В. Радиоэкология и радиационная безопасность [Электронный ресурс] / В. В. Маврищев, А. Э. Высоцкий, Н. Г. Соловьёва. – Минск : ТетраСистемс – 2010 – 208 с. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28201.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 22.05.2020.

14. Мархоцкий, Я. Л. Радиационная и экологическая безопасность атомной энергетики [Электронный ресурс] / Ян Мархоцкий. – Минск : Высшая школа. – 2009. – 23 с. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20258.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 26.05.2020.

15. Новостной портал «74.ru» [Электронный ресурс] : сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://74.ru/text/gorod/66237925/>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 03.05.2020.

16. Окунев, А. М. Современные концепции действия малых доз ионизирующих излучений на животных и человека [Текст] / А. М. Окунев, В. Н. Копытова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2014. – № 3. – С. 36–41.

17. Производитель Soeks [Электронный ресурс] : сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа : [https://soeks.ru/catalog/novyy\\_dozimetr\\_soeks\\_01m\\_praum](https://soeks.ru/catalog/novyy_dozimetr_soeks_01m_praum), свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 28.05.2020.

18. Раскоша, О. В. Биологические эффекты фитоэкдистероидов и ионизирующего излучения в малых дозах [Текст] / О. В. Раскоша, Л. А. Башлыкова, О. В. Ермакова // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2010. – № 4. – С. 434–442.

19. СтудИзба [Электронный ресурс] : сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://studizba.com/lectures/105-jekologija/1363-problemy-jekologii/25128-teoreticheskie-osnovy-jekologicheskogo-kartografirovaniya.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 20.12.2019.

20. Файловый архив студентов [Электронный ресурс] : сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5178777/>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 20.12.2019.

21. Челябинский ЦГМС. Филиал ФГБУ «Уральское УГМС» [Электронный ресурс] : сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.chelpogoda.ru/pages/226>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 01.05.2020.

22. Электронная библиотека «История Росатома» [Электронный ресурс] : сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа: [http://elib.biblioatom.ru/text/radioaktivnye-bedy-urala\\_2000/go,16/](http://elib.biblioatom.ru/text/radioaktivnye-bedy-urala_2000/go,16/), свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 07.05.2020.

23. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс] : сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200015267>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 20.04.2020.

24. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс] : сайт. – Электрон. дан. – Режим

доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420305438>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 10.05.2020.

25. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс] : сайт. – Электрон. дан. – Режим доступа: – <http://docs.cntd.ru/document/902170553>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 20.04.2020.

26. Эмануэль, Н. М. Общая закономерность изменения содержания свободных радикалов при злокачественном росте [Текст] /Николай Эмануэль. – Черноголовка. – 1974. – 5 с. – Режим доступа : <http://www.iprbookshop.ru/20258.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 20.04.2020.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Радиоэкологические зоны Южного Урала

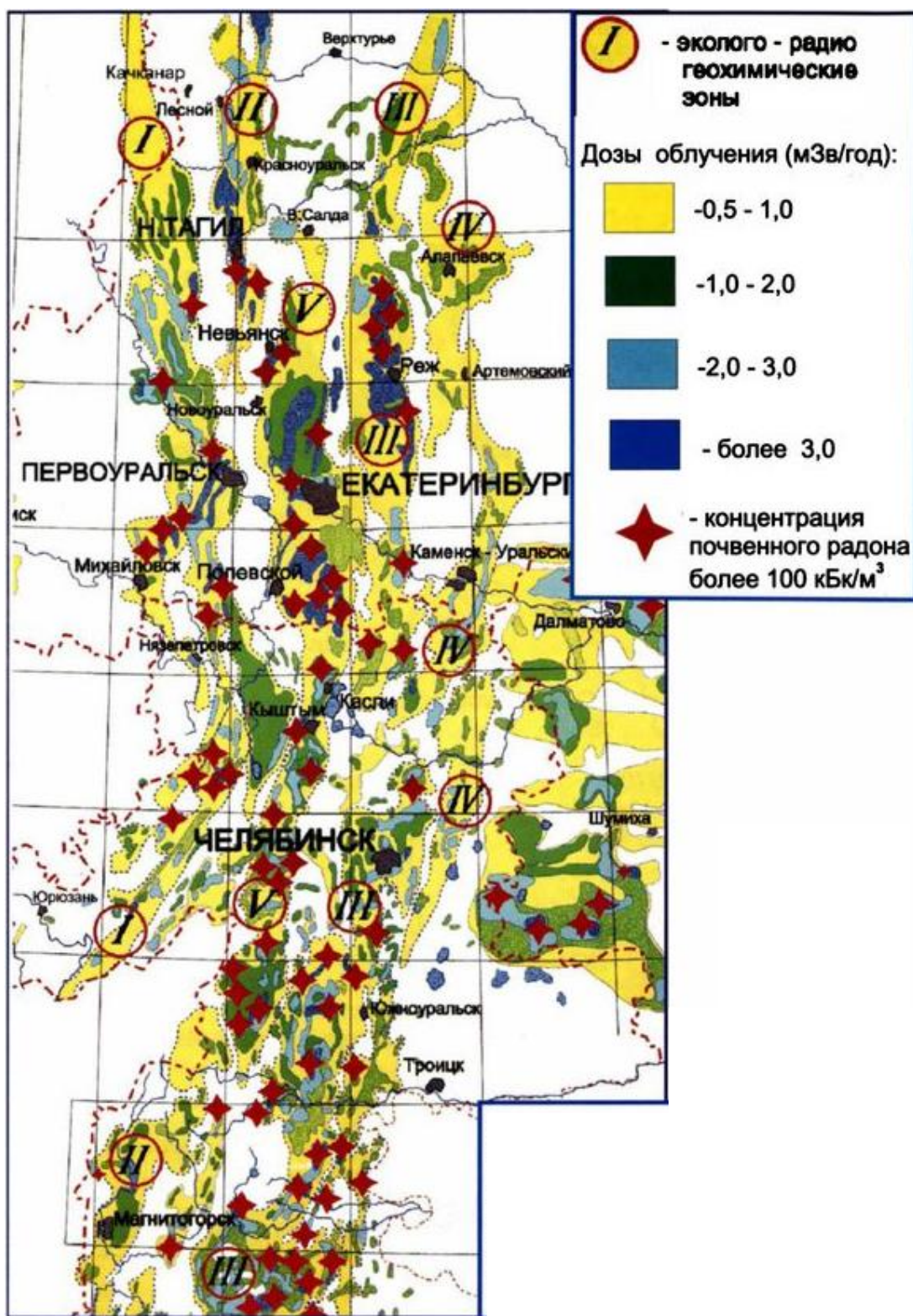


Рисунок А.1 – Схема эколого-радиогеохимических зон на Среднем и Южном Урале [22]



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Восточно-Уральский заповедник

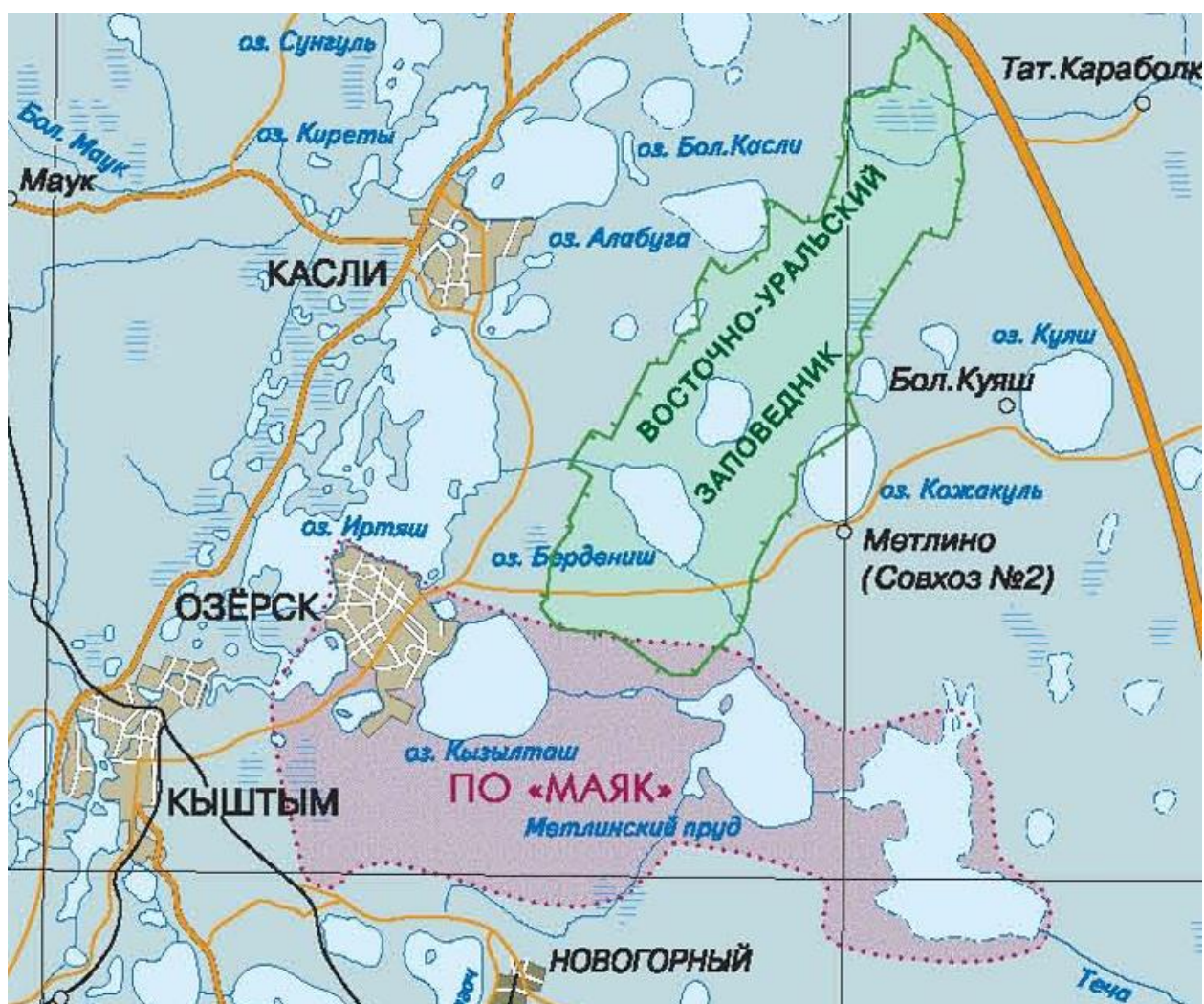


Рисунок Б.1 – Местоположение Восточно-Уральского заповедника [22]

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

## Геологическая карта Челябинской области

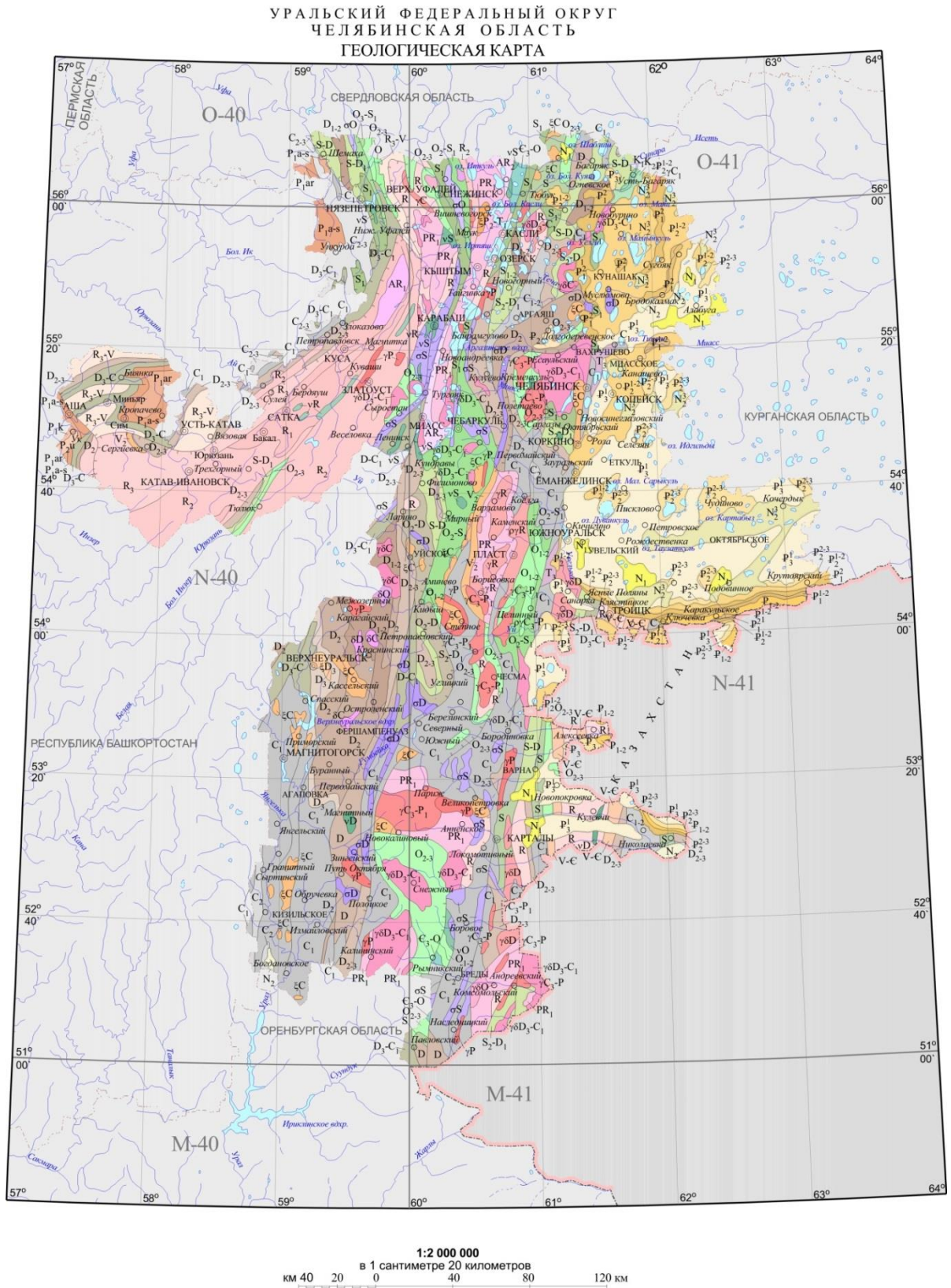


Рисунок В.1 – Геологическая карта Челябинской области



# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## Маршрут исследования и точки исследования

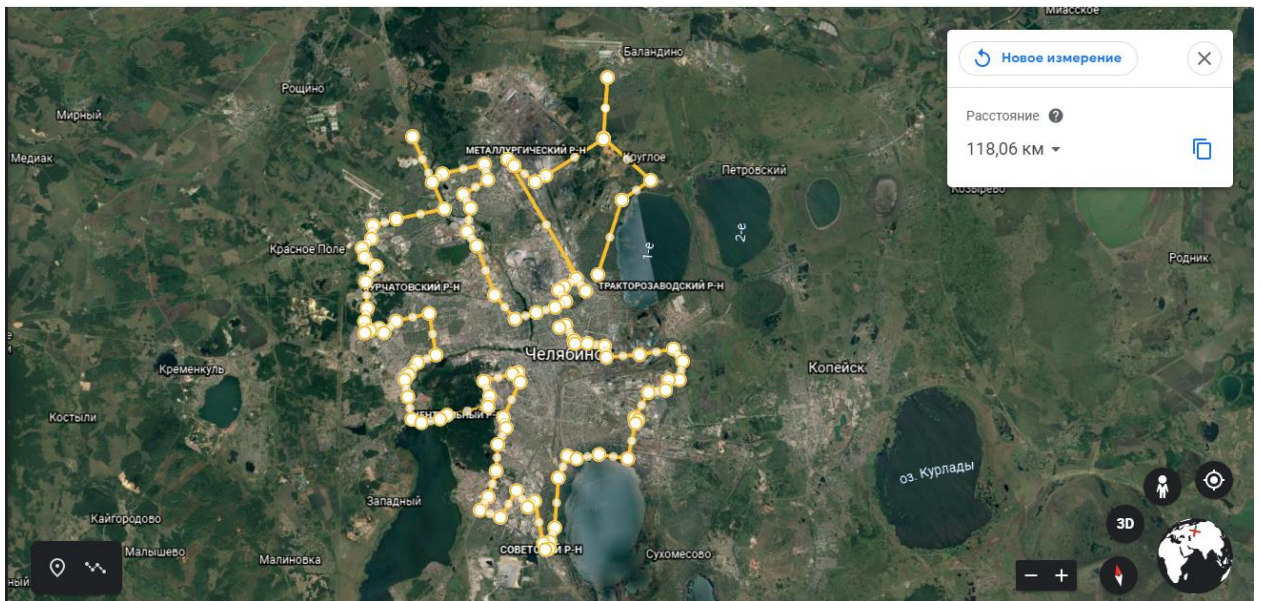


Рисунок Г.1 – Маршрут проведения измерений



Рисунок Г.2 – Местоположение точек проведения исследования



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результаты интерполирования методом обратного взвешивания

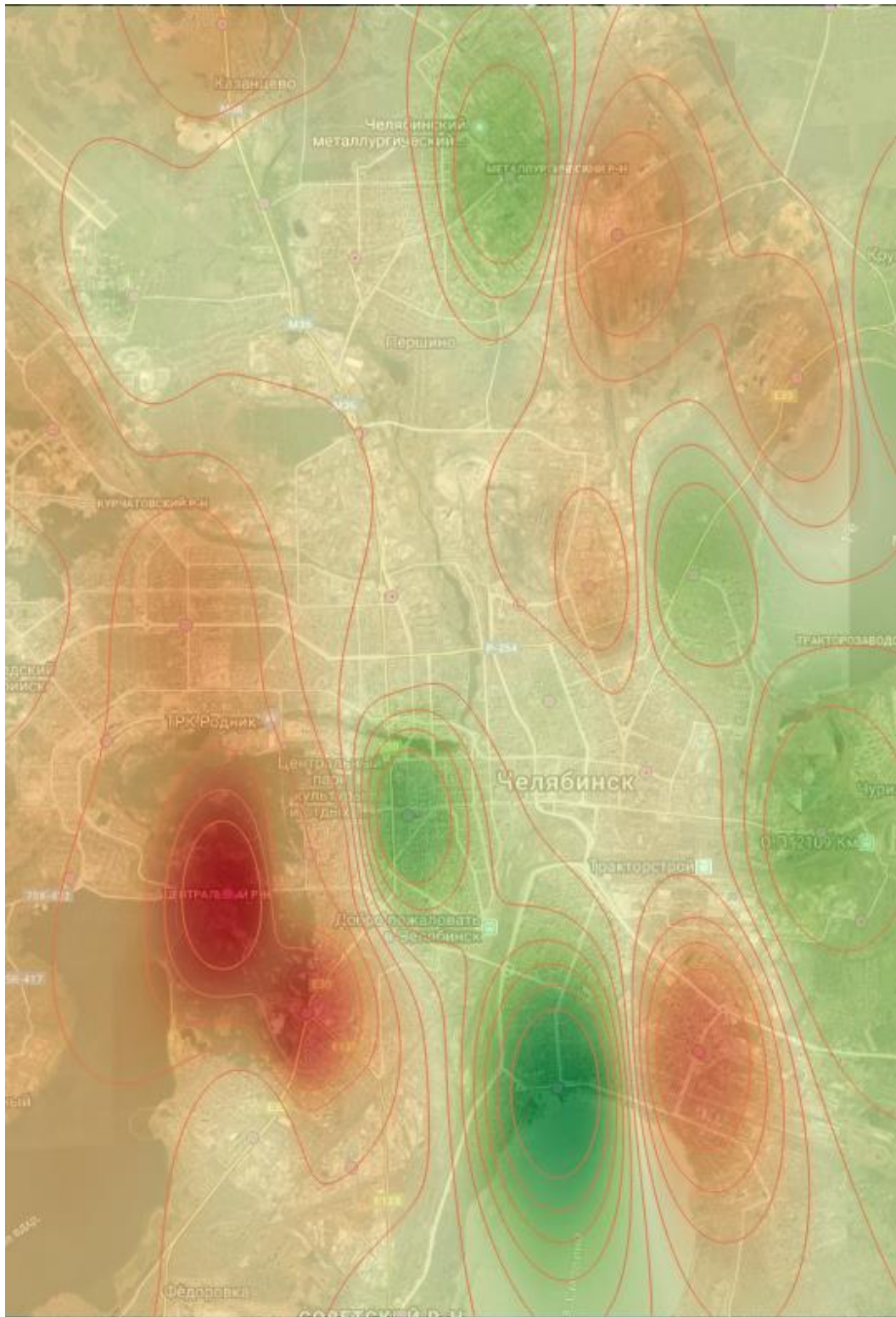


Рисунок Д.1 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с линейным распределением по результатам июньских измерений

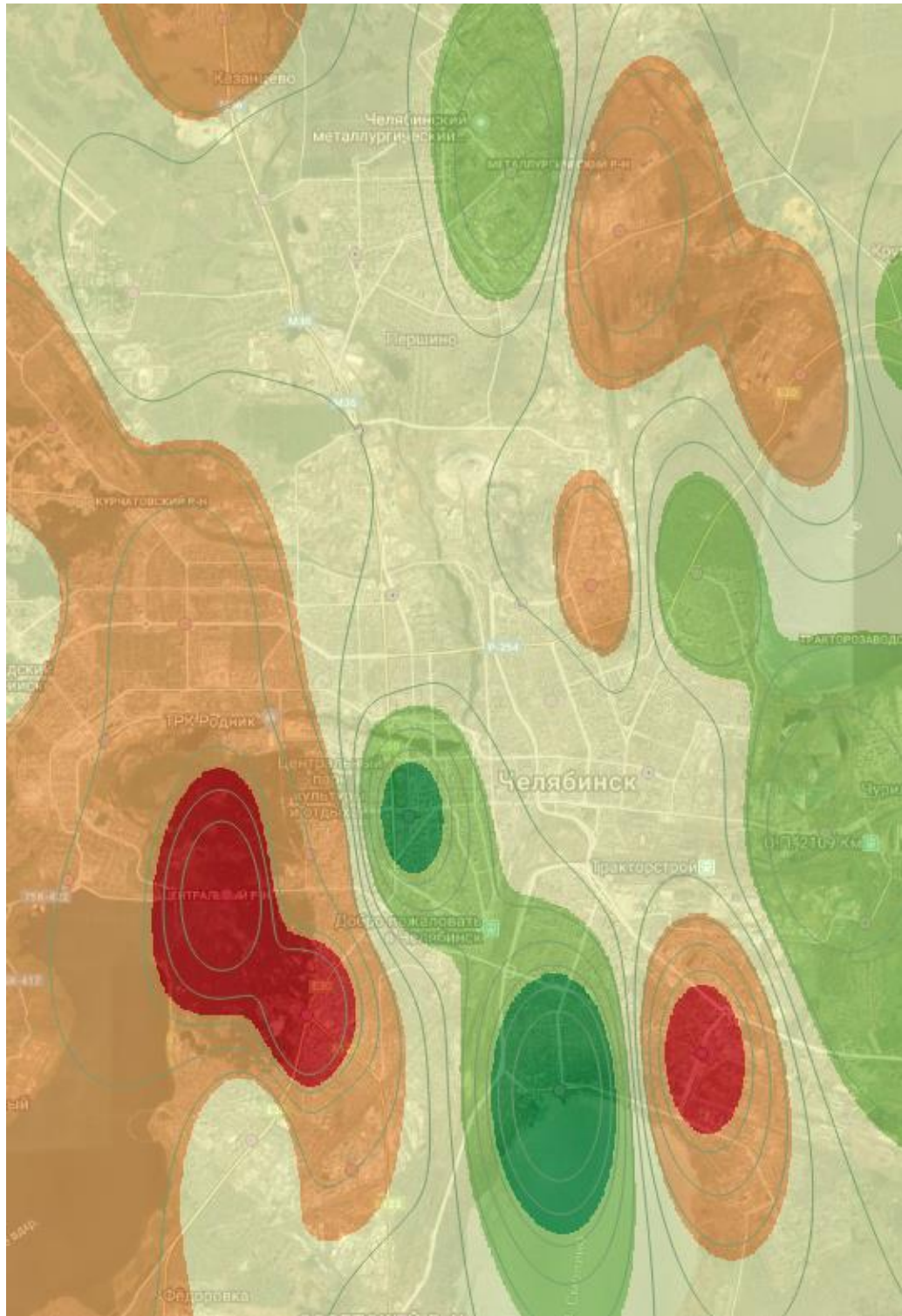


Рисунок Д.2 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с дискретным распределением по результатам июньских измерений



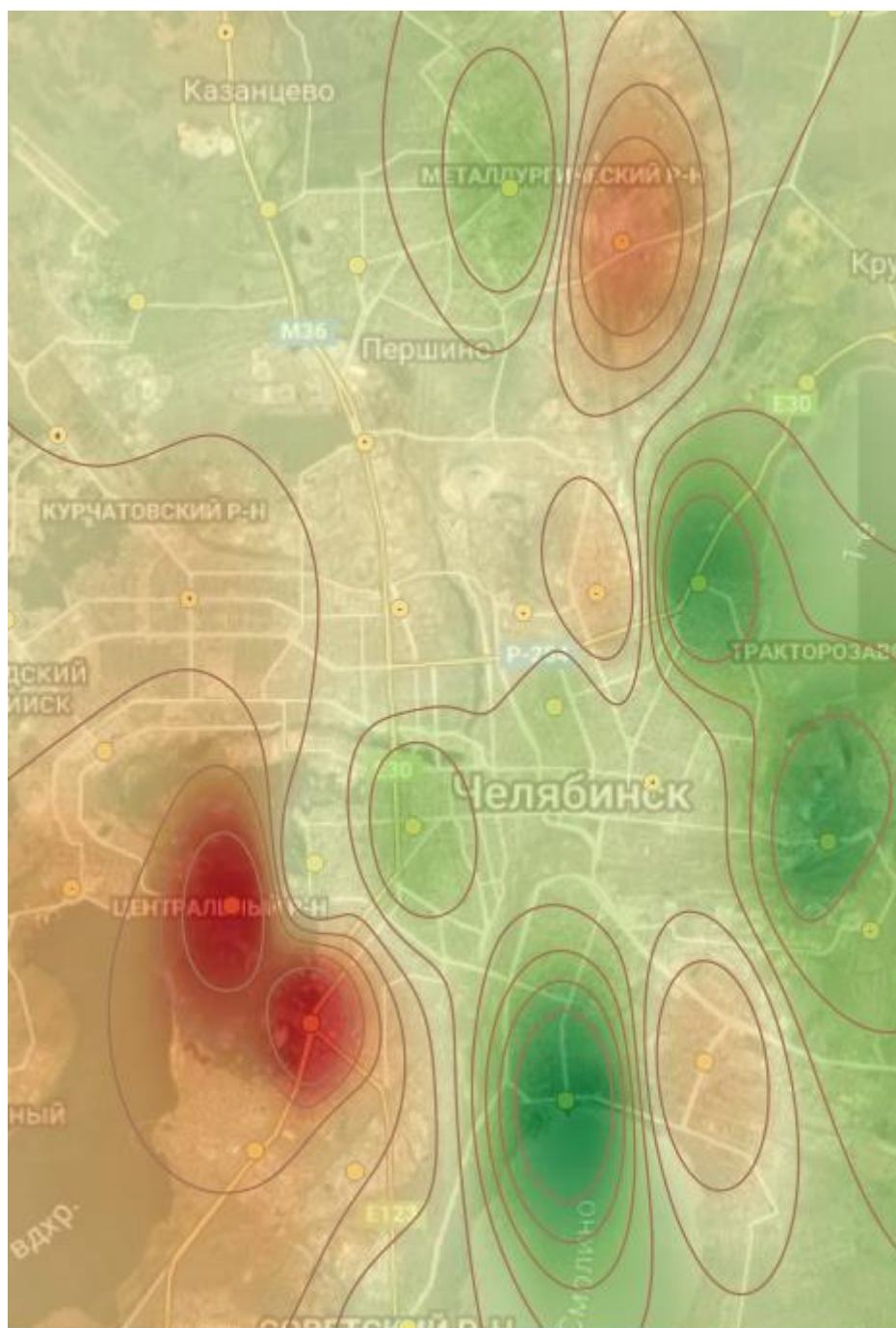


Рисунок Д.3 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с линейным распределением по результатам июльских измерений

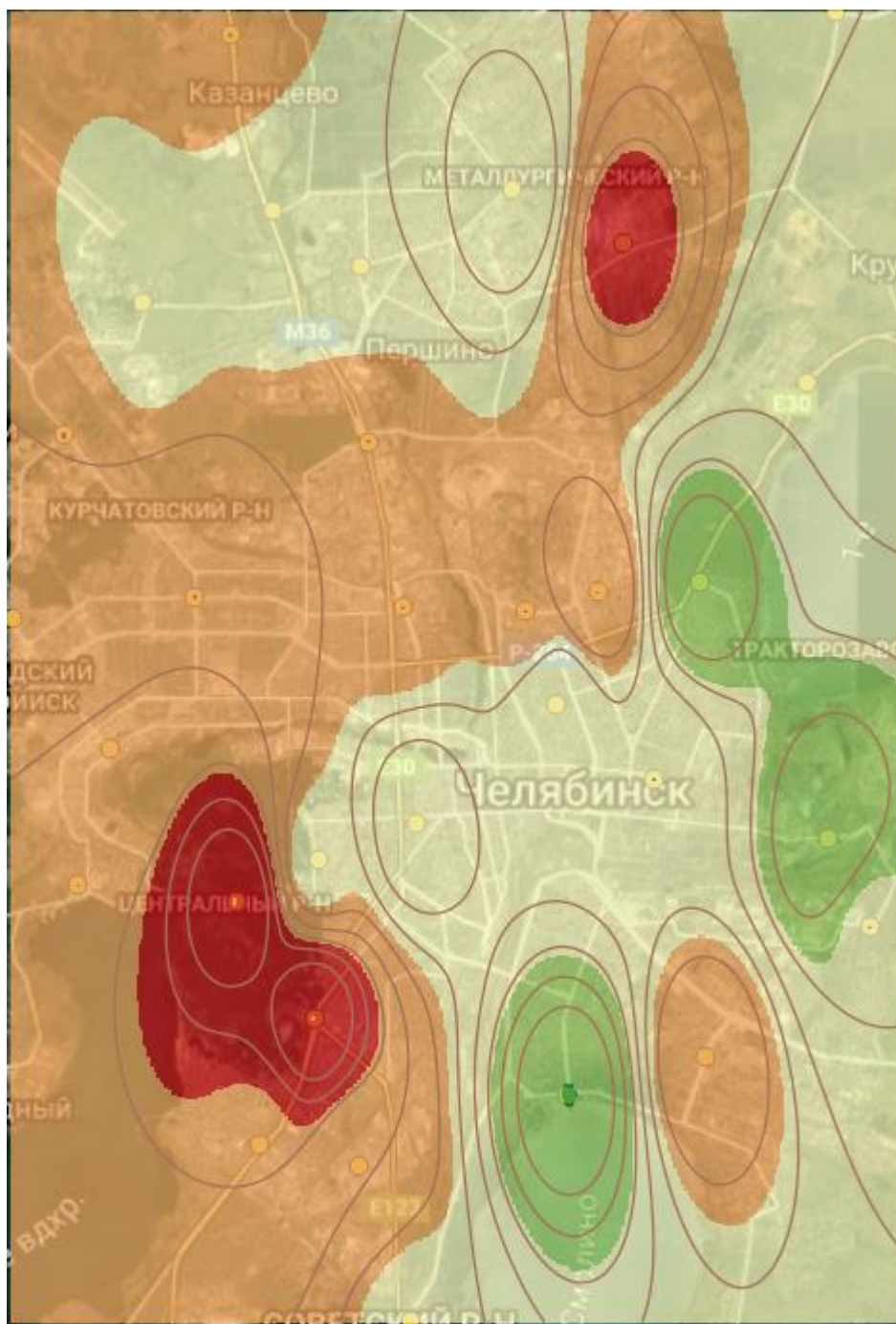


Рисунок Д.4 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с дискретным распределением по результатам июльских измерений

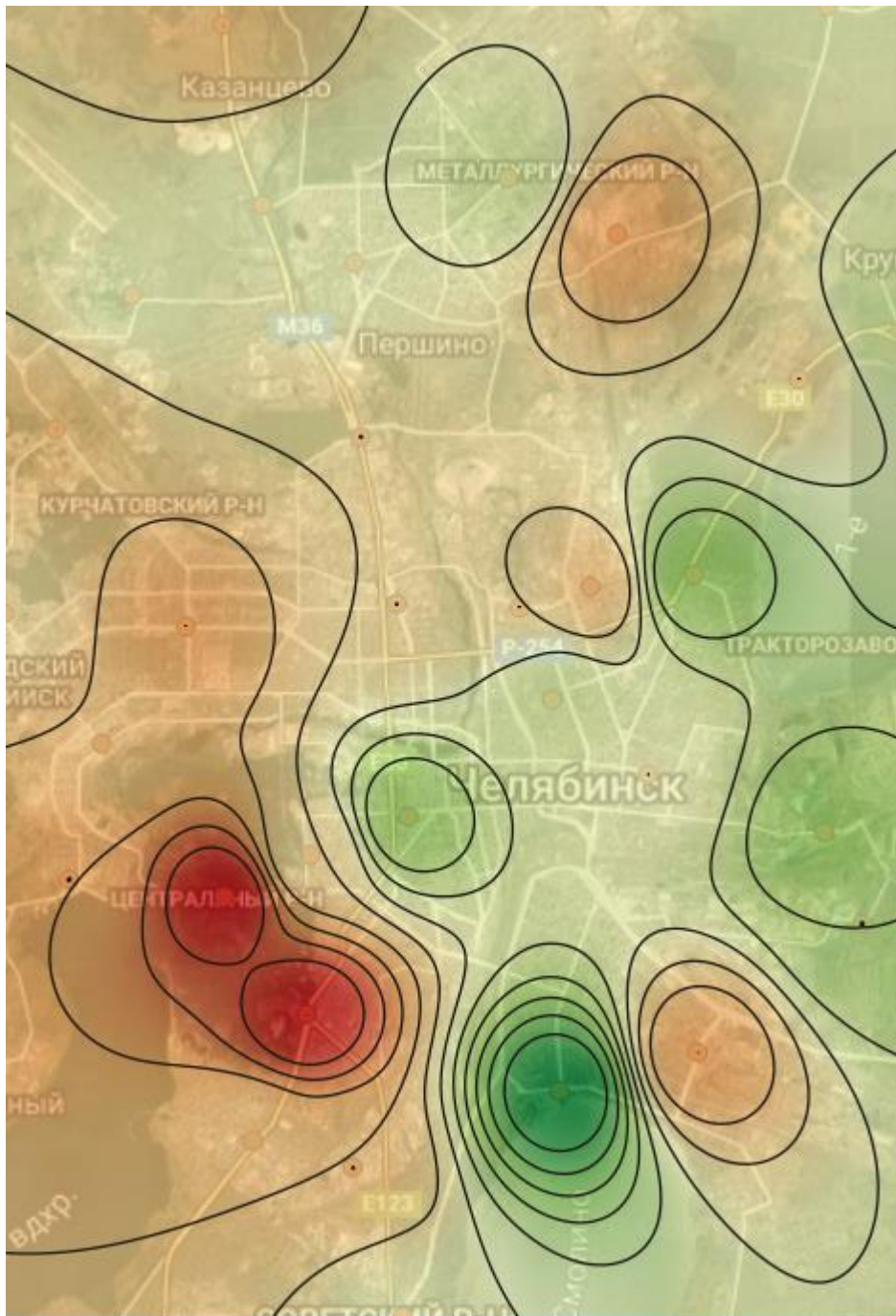


Рисунок Д.5 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с линейным распределением по результатам августовских измерений



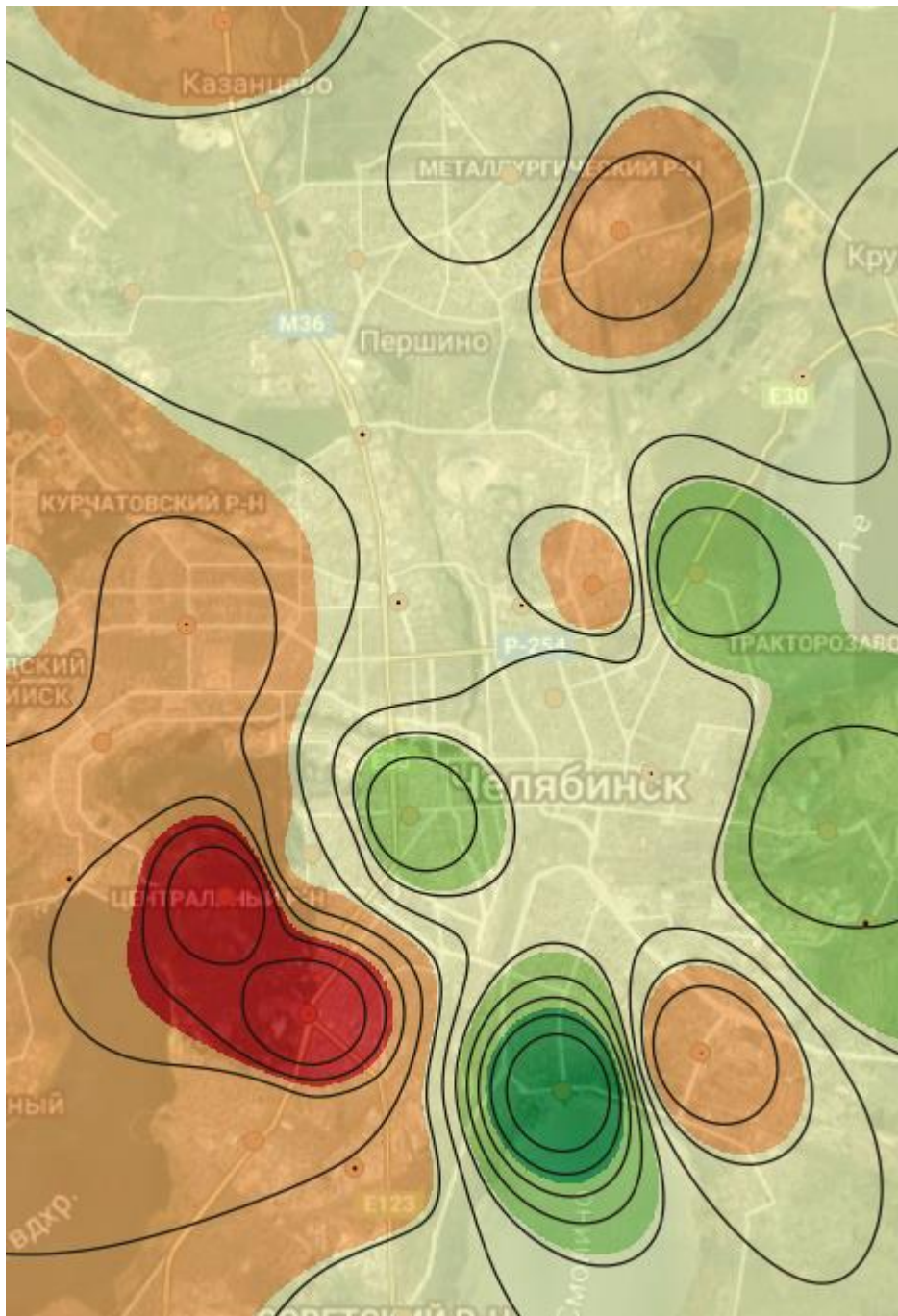


Рисунок Д.6 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с дискретным распределением по результатам августовских измерений

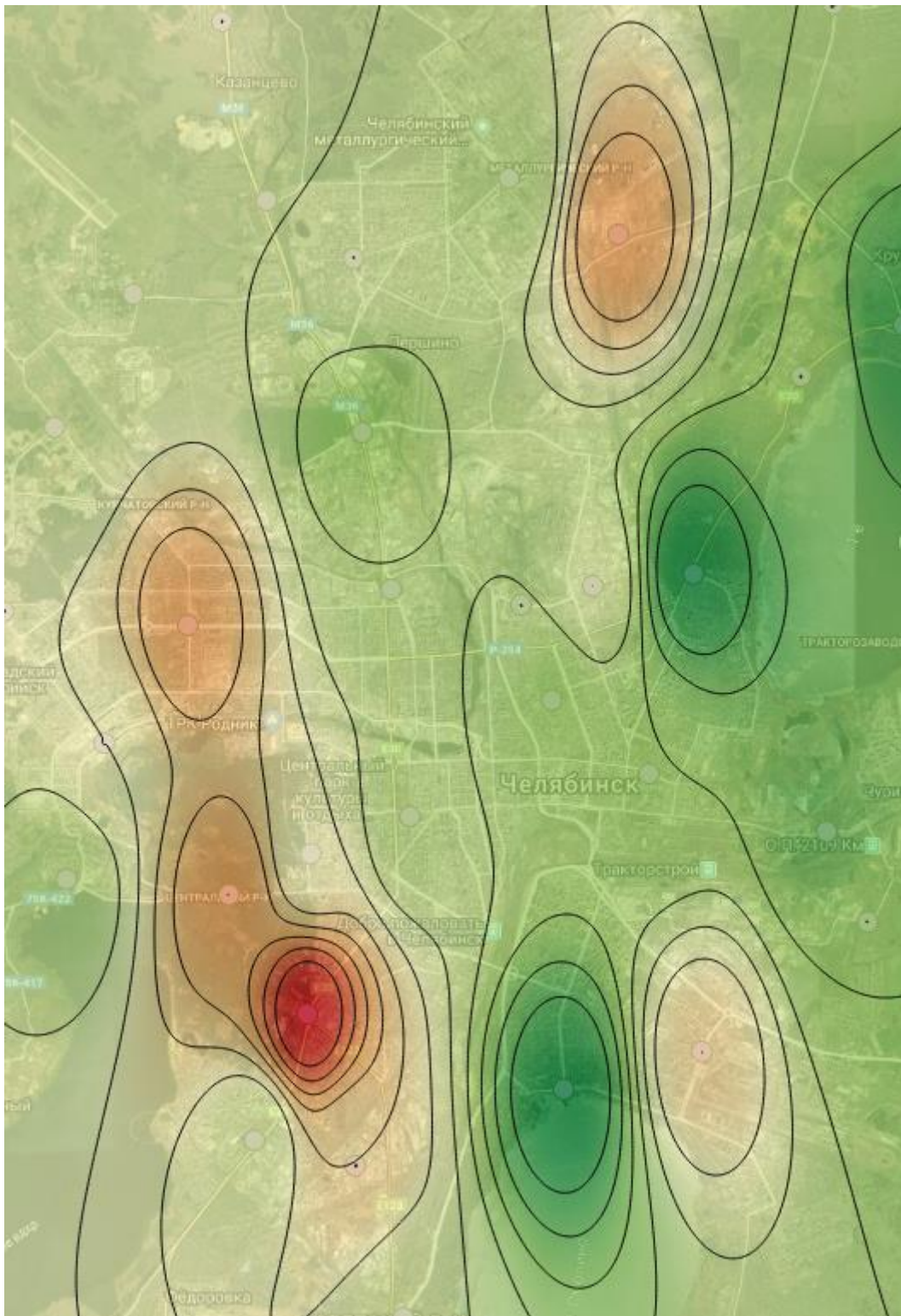


Рисунок Д.7 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с линейным распределением по результатам сентябрьских измерений



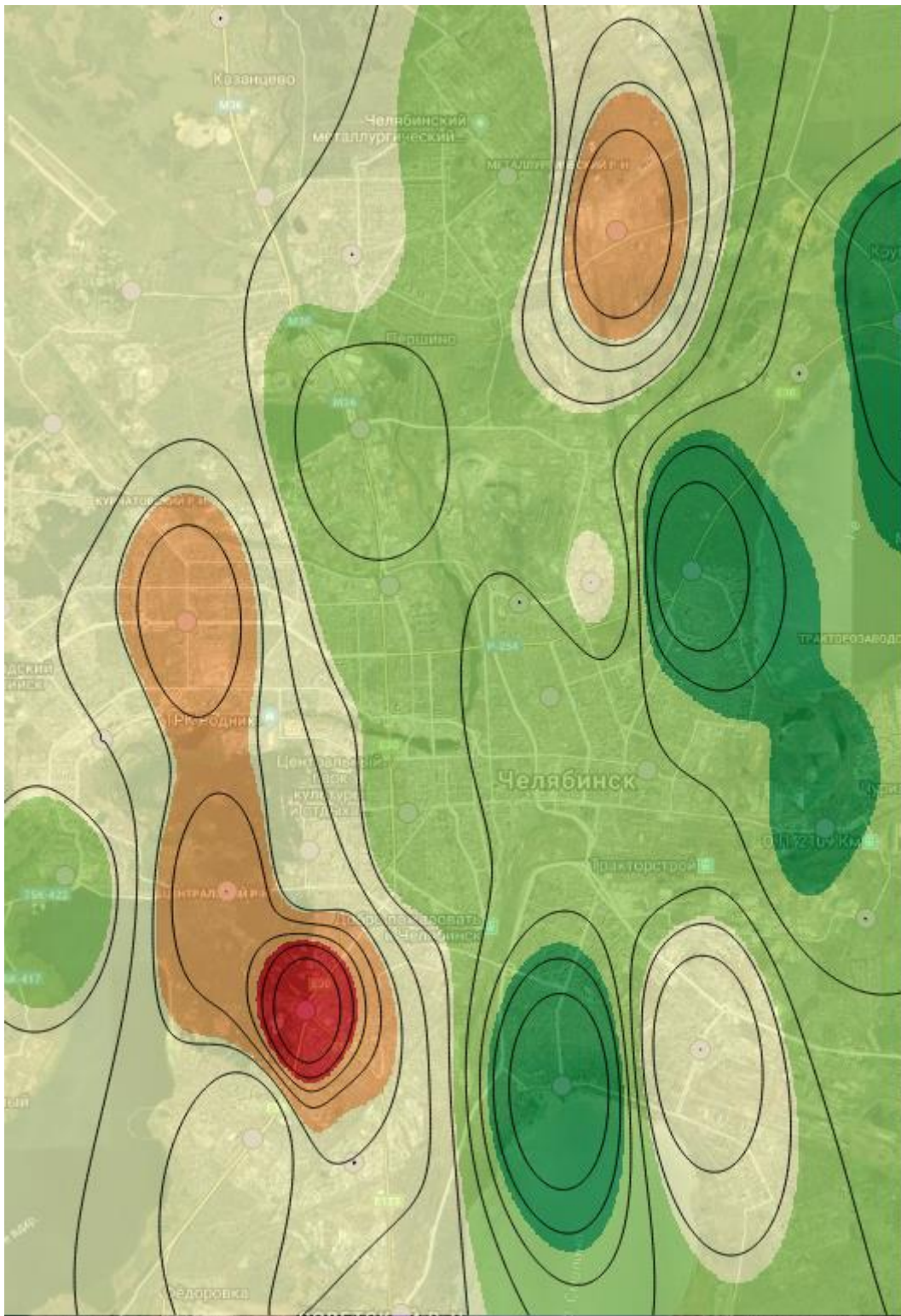


Рисунок Д.8 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с дискретным распределением по результатам сентябрьских измерений



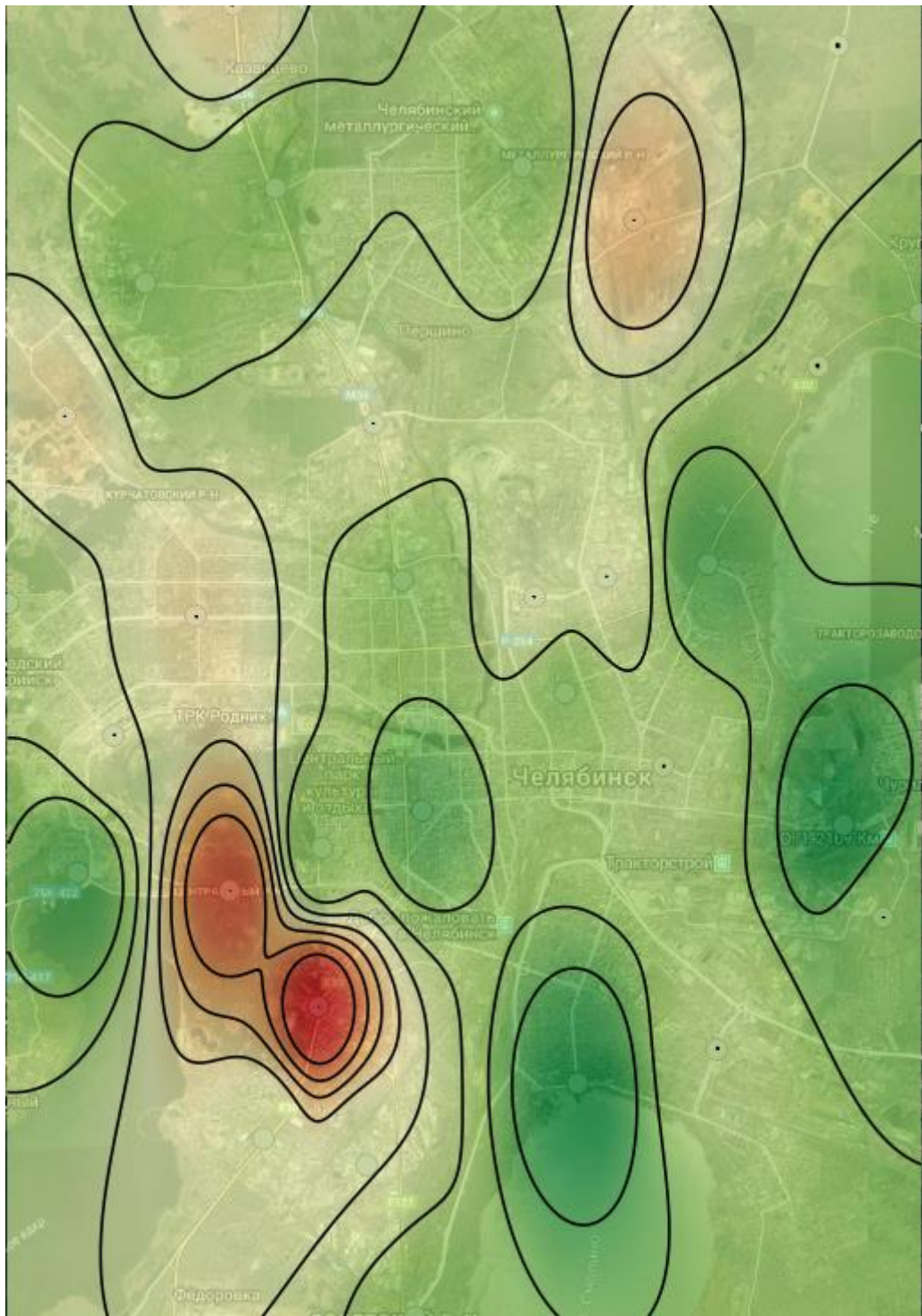


Рисунок Д.9 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с линейным распределением по результатам октябрьских измерений



Рисунок Д.10 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с дискретным распределением по результатам октябрьских измерений





Рисунок Д.11 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с линейным распределением по результатам ноябрьских измерений



Рисунок Д.12 – Результат интерполирования методом обратного взвешивания с дискретным распределением по результатам ноябрьских измерений