

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ГОРНО-АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

СИТНИКОВА ВАЛЕНТИНА АЛЕКСАНДРОВНА

**ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ
АГЛОМЕРАЦИИ ГОРОДА ГОРНО-АЛТАЙСКА**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Научный руководитель
кандидат геолого-минералогических наук
Ю.В. Робертус

Горно-Алтайск – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение.....	4
1 Состояние проблемы. Изученность. Методы исследования	9
1.1 Обзор методических подходов к оценке геоэкологического состоя-	
ния окружающей среды урбанизированных территорий	9
1.2 Геоэкологическая изученность.....	14
1.3 Объекты, объемы и методы исследования	15
Глава 2 Природные условия и факторы антропогенеза	22
2.1 Физико-географические условия	22
.....2.2 Климат	26
2.3 Геологическое строение. Гидрогеология.....	27
2.4 Почвы. Донные осадки	29
2.5 Растительный покров.....	30
2.6 Источники и виды антропогенного воздействия на окружающую	
среду агломерации г. Горно-Алтайска	31
Глава 3 Характеристика геоэкологического состояния компонентов окру-	
жающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска.....	36
3.1 Атмосферный воздух	36
3.1.1 Снежный покров	38
3.1.2 Оценка состояния приземной атмосферы по лишайникам.....	44
3.2 Почвы	50
3.2.1 Физико-химические свойства почв	50
3.2.2 Элементный состав почв.....	55
3.3 Поверхностные воды.....	60
3.4 Донные отложения.....	70
3.5 Подземные воды	73
.....3.5.1 Грунтовые воды	75
3.6 Сточные и сбросные воды.....	77

3.7 Древесные растения	80
3.7.1 Состояние березы повислой	81
3.7.2 Состояние тополя черного.....	87
3.8 Радиационная обстановка	91
3.9. Природные и техногенные физические поля	99
3.10 Современные опасные геологические процессы	103
Глава 4 Геоэкологическая обстановка на территории агломерации	
г. Горно-Алтайска	112
4.1 Геоэкологическое состояние компонентов окружающей среды	
на территории агломерации	113
4.2 Особенности пространственного распределения показателей	
экологического состояния компонентов окружающей среды.....	124
4.3. Тенденции изменения качества окружающей среды	133
4.4 Оценка влияния геоэкологической обстановки на здоровье	
населения агломерации.....	138
4.5 Предложения по оценке геоэкологического состояния компонентов	
окружающей среды	143
4.6 Рекомендации по ведению мониторинга окружающей среды	148
Заключение	151
Список литературы	154

Введение

Актуальность исследования. Промышленно-селитебные территории являются одним из значимых источников воздействия на природные комплексы. Для них характерно повышенное и высокое разноплановое загрязнение компонентов окружающей среды – атмосферного воздуха, почвенно-растительного покрова, природных вод, основными источниками которого являются выбросы загрязняющих веществ промышленными предприятиями и транспортом [110].

К относительно слабо урбанизированной территории Республики Алтай относится промышленно-селитебная агломерация её центра – г. Горно-Алтайска и пригородных сел Майма, Кызыл-Озек, Алферово, Карлушка, где на площади 30 км² проживает более 40% населения республики – 90 тысяч человек.

Разнообразная антропогенная нагрузка на этой территории ложится на экосистему малой реки Майма. На рубеже 20-21 веков экологическое состояние компонентов окружающей среды в пределах агломерации оценивалось как условно-благоприятное и малоблагоприятное, участками – неблагоприятное, особенно в зимний период, для которого были присущи высокая запыленность, частично загазованность воздушного бассейна и, как следствие, повышенный уровень загрязнения почв и природных вод. Актуальной проблемой на территории агломерации также является высокий уровень радоноопасности [89, 96].

Несмотря на отсутствие в районе г. Горно-Алтайска крупных и средних промышленных предприятий, здесь находится порядка 150 средних и малых котельных, часть которых работает на угле. В последние годы на территории агломерации насчитывалось более 35 тысяч единиц автотранспорта [94].

Изучение особенностей и последствий воздействия этих факторов на геоэкологическое состояние компонентов окружающей среды агломерации представляется актуальным, поскольку ранее подобного комплексного изучения для этой территории не проводилось. Настоящее исследование, выполненное с методическими подходами, используемыми в геоэкологии и экологии, является первой обобщающей работой по этой проблеме.

Цель работы. Изучить геоэкологическое состояние компонентов окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска и выявить тренды его изменения. Для ее достижения решались следующие задачи:

- 1) Собрать и проанализировать материалы ранее проведенных геоэкологических исследований в районе г. Горно-Алтайска.
- 2) Изучить характеристики и особенности распределения показателей геоэкологического состояния компонентов окружающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска.
- 3) Разработать дополнительные подходы к оценке геоэкологического состояния (качества) отдельных компонентов окружающей среды.
- 4) Оценить геоэкологическую обстановку на территории агломерации, выявить тренды ее изменения и провести районирование по степени благоприятности для проживания населения.

Объектом исследования явилась промышленно-селитебная территория города Горно-Алтайска и пригородных сел, а его **предметом** – геоэкологическое состояние компонентов окружающей среды на этой территории.

Теоретическую и методическую основу исследования составляют научные разработки в области геоэкологии и экологии урбанизированных территорий, изложенные в трудах Ю.Е. Саета, А.П. Пронина, В.М. Захарова, Л.Г. Бязрова, В.А. Алексеенко, В.Т. Трофимова, М.В. Горшкова, В. Markert, W.H. Schlesinger и других исследователей.

В процессе подготовки работы применялись геохимический, сравнительно-географический, картографический и статистический методы исследования.

Фактический материал и методы исследования. В основу диссертации положены материалы работ по оценке состояния окружающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска, выполненные с участием автора в 2013-2017 гг. Автономным учреждением Республики Алтай "Алтайский региональный институт экологии". Кроме этих данных, при подготовке работы были использованы имеющиеся фондовые научные и производственные отчеты, а также многочисленные публикации по теме исследования.

Всего в период 2013-2018 гг. в районе было взято и проанализировано разными методами 422 пробы (образца) природных сред, для которых в аккредитованных лабораториях Новосибирска, Томска, Миасса и Горно-Алтайска проведено 991 определение большого спектра показателей. Кроме того, выполнено 492 прямых измерения, в том числе радиологических параметров (МЭД, ППР), магнитной восприимчивости почв, содержания растворенного кислорода в воде, таксационных, биофизических и морфометрических характеристик древесных видов.

Научная новизна работы. Впервые на основе представительного материала оценено геоэкологическое состояние (качество) большого комплекса компонентов окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска и их благоприятность для проживания населения. Уточнены характеристики состояния и выявлены особенности распределения показателей качества природных сред. Впервые выявлена высотно-поясная зональность в распределении свойств и элементного состава природных сред на территории г. Горно-Алтайска. Предложены новые методические подходы к оценке геоэкологического состояния поверхностных вод и почвенно-растительного покрова агломерации.

Практическая значимость работы. Фактические данные, полученные в процессе исследования, позволили достоверно оценить геоэкологическое состояние (качество) компонентов окружающей среды и в целом геоэкологическую обстановку в районе г. Горно-Алтайска. Результаты и выводы работы могут быть использованы: 1) для ведения локальных и региональной систем комплексного геоэкологического и социально-гигиенического мониторинга; 2) в практике работы природоохранных органов муниципалитетов; 3) при подготовке ежегодных докладов о состоянии окружающей среды Республики Алтай и г. Горно-Алтайска; 4) для лекционных и практических занятий по специальности "геоэкология" в Горно-Алтайском университете.

Достоверность защищаемых положений обеспечена статистически значимым объемом и комплексным характером полученного с применением со-

временных аналитических методов и использованного в работе фактического материала, а также глубиной его проработки.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертации отражены в 17 публикациях в периодических научных изданиях и в материалах международных и региональных научно-практических конференций, в том числе в 2 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК России.

Результаты работ по теме исследования докладывались на конференциях различного уровня, в том числе на Международной научно-практической конференции "Экологические аспекты природопользования в Алтае-Саянском регионе" (Белокуриха, 2014), на XV Межвузовской молодежной научной конференции "Школа экологической геологии и рационального недропользования" (Санкт-Петербург, 2015), V Международной конференции "Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека" (Томск, 2016), Всероссийской конференция молодых ученых "Современные проблемы геохимии – 2018" (Иркутск, 2018).

Основные защищаемые положения:

1. Геоэкологическое состояние атмосферного воздуха, подземных вод, частично почв, поверхностных вод, донных отложений, древесных растений в пределах агломерации г. Горно-Алтайска находится на околофоновом уровне. Повышенный уровень негативных изменений проявлен локально для грунтовых вод, почв и древесных видов. Основная часть агломерации является опасной по радону. Свойства почв, показатели состояния древесных растений и элементный состав лишайников на шифере являются индикаторами геоэкологической обстановки на территории агломерации.

2. В распределении свойств и элементного состава компонентов окружающей среды на территории г. Горно-Алтайска проявлена латеральная (от окраин к более урбанизированному центру) и вертикальная (высотно-поясная) зональность, обусловленная их загрязнением, сформированным выбросами угольных котельных, в меньшей степени, автотранспортом. Тренды высотно-поясного

изменения эколого-геохимических показателей природных сред совпадают с характером распределения пылевой нагрузки на территории города.

3. Геоэкологическая обстановка на территории агломерации г. Горно-Алтайска находится в основном на условно благоприятном эколого-гигиеническом уровне, за исключением малоблагоприятных и неблагоприятных радоноопасных территорий и отдельных локальных участков прошлого загрязнения хлорорганическими пестицидами, тяжелыми металлами, неорганическими соединениями азота и пр.

Структура и объем работы. Диссертация объемом 169 страниц состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 152 наименований. Работа содержит 75 таблиц и 65 рисунков.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, ведущему научному сотруднику ИВЭП СО РАН, к.г.-м.н. Ю.В. Робертусу за постановку задач исследования и постоянную консультативную помощь. Автор благодарит за конструктивное сотрудничество и ценные советы научного сотрудника ИВЭП СО РАН к.г.-м.н. Р.В. Любимова, сотрудников АО "Алтай-Гео" В.Е. Кац и М.С. Достовалову. Большая благодарность коллективу Алтайского регионального института экологии, особенно старшим научным сотрудникам к.г.-м.н. А.В. Кивацкой и к.г.н. Савенко К.С. за всестороннюю помощь при проведении исследования.

Глава 1 Состояние проблемы. Изученность. Методы исследования

1.1 Обзор методических подходов к оценке геоэкологического состояния окружающей среды урбанизированных территорий

В настоящее время накоплен обширный материал по геоэкологическому состоянию окружающей среды на территориях с высоким уровнем антропогенной нагрузки, в частности, в мегаполисах и крупных промышленных центрах [5, 9, 11, 20, 29, 30, 39, 43, 50, 53, 71, 82, 105, 128, 130, 134-136, 138, 139, 141, 142, 146-148, 151]. Однако антропогенное воздействие сопровождается изменениями природных сред и в пределах относительно небольших населенных пунктов. В конечном итоге антропогенные изменения приводят к возникновению урбанизированных ландшафтов, частично или полностью утративших свое природное состояние. Геоэкологические последствия этих изменений носят преимущественно комплексный характер, наиболее информативно проявляющийся в составе и свойствах измененных (нарушенных) природных сред.

Вопросы оценки геоэкологического состояния окружающей среды промышленно-селитебных территорий в плане ее благоприятности для жизни человека представляются достаточно сложными. Несмотря на многочисленные методические наработки по этой проблематике, результаты их применения представляются приближенным отражением реальной экологической ситуации.

Этому способствует ряд причин, основные из которых заключаются в недостаточном обосновании роли (вклада, веса, доли) используемых при оценке геоэкологических критериев, особенно в их сочетанном виде. Другая сложность заключается в многообразии природных условий и специфики антропогенного воздействия на объекты окружающей среды, а также степени ее устойчивости и особенностей самовосстановления. Эти и другие факторы определяют сложность разработки унифицированных показателей качества окружающей среды, что не позволяет дать объективную интегральную оценку геоэкологической обстановки территории по всей совокупности параметров [8].

Основным же минусом применяемых методических подходов является недостаточно разработанная теоретическая основа методологии оценки состоя-

ния окружающей среды, в том числе процедуры разработки формализованных универсальных критериев геоэкологического состояния (качества, степени благоприятности) окружающей среды в целом. Другой проблемой для достоверной оценки состояния окружающей среды являются преобладающие "волюнтаристские" подходы к оценке вклада различных факторов в формирование интегральных показателей ее качества.

Отдельные авторы считают, что помимо отмеченной сложности, подобная оценка не имеет решения даже на концептуальном уровне [116].

В настоящее время для ее решения используется несколько основных методических подходов, первый из которых основан на количественных оценках состояния природных сред путем их сравнения с установленными предельными лимитами экологического качества – ПДК, ПДС, ПДУ, ОБУВ и пр. [7, 11, 23, 33, 141].

Другой подход основан на оценках уровней (классов) изменений экологического состояния компонентов окружающей среды и, как следствие, степени их благоприятности (в баллах) для жизнедеятельности биоты, в том числе человека [18, 21, 26, 35, 47, 54, 57, 86, 105].

Наконец, третий "экосистемный" подход, основанный на функциональном единстве всех природных сред, предполагает оценку состояния окружающей среды в целом, а затем оценку (детализацию) качества ее компонентов с использованием вышеотмеченных методических подходов. Практическое применение этого подхода предлагается осуществлять через классы геоэкологического состояния отдельных сред, объектов и окружающей среды в целом [10, 14, 16, 36, 38, 41, 46, 149].

В большинстве действующих нормативно-методических документов выделяется четыре класса геоэкологического состояния окружающей среды (уровня нарушения экосистемы) – нормы, риска, кризиса и бедствия, которые соответствуют классам благоприятного, условно благоприятного, неблагоприятного и весьма неблагоприятного экологического состояния [32, 60, 72, 87, 111, 123]. Эти классы состояния регламентированы для большинства природных сред и объек-

тов, но есть мнение [46], что необходимо учитывать только наиболее значимые в экологическом плане компоненты окружающей среды и показатели их состояния.

Известно, что геоэкологическое состояние (качество) окружающей среды формируется при участии природных и антропогенных факторов, первые из которых определяют ее природное качество, а вторые – степень техногенных изменений. Так, изменения в окружающей среде, сформировавшиеся при антропогенном воздействии, определяются его характером и интенсивностью, а также степенью устойчивости и релаксации природных экосистем при этом воздействии. Сложность взаимосвязи этих факторов предполагает разработку критериев оценки экологического состояния территории, учитывающих специфику воздействия и его последствий в объектах окружающей среды.

Географическая дифференциация хозяйственной деятельности обуславливает пространственные различия в характере и интенсивности антропогенного воздействия на окружающую среду. Существующие ландшафтные различия территории и устойчивости ландшафтов к воздействиям формируют пространственную неоднородность экологической ситуации, что также недостаточно учитывается при оценке экологического состояния селитебных территорий [37, 49].

Считается [46], что оценка геоэкологического состояния окружающей среды селитебных территорий должна проводиться по единым принципам на основе комплекса унифицированных критериев, учитывающих их природные условия, уровень хозяйственного освоения и специфику антропогенной нагрузки. Алгоритм оценки должен включать следующие последовательные действия: выявление основных экологических проблем территории; анализ воздействия антропогенных факторов на компоненты окружающей среды; выбор репрезентативных объектов оценки; разработка комплекса оценочных критериев и показателей; выделение оценочных таксонов (объектов, участков); расчеты оценочных критериев и показателей; районирование территории по геоэкологическому состоянию на основе интегральных экологических оценок.

Этот алгоритм детально разработан для процедуры оценки геоэкологического состояния (в основном – загрязнения) отдельных природных сред по их

вещественному составу и свойствам, однако пока слабо разработаны подходы, позволяющие дать интегральную оценку экологическому состоянию территории по всей совокупности параметрических данных. Для этих целей на практике используется в основном метод наложения покомпонентных оценок при отсутствии критериев генерализации выделяемых контуров и с учетом степени опасности каждого из факторов.

Методологический подход к выбору основных составляющих оценки качества природной среды предполагает характеристику вещества среды, особенности её анизотропии и естественные физические поля, вызываемые средой.

Существующие методики оценки геоэкологического состояния окружающей среды территорий, как правило, включают изучение литогенной основы, в том числе почвообразующих пород, природных ландшафтов, приземной атмосферы, почв, поверхностных и подземных вод, донных отложений. Кроме абиотических компонентов, для общей картины экологического состояния используются также биотические компоненты-биоиндикаторы, в качестве которых выступают растительные виды (тополь, береза, сосна, одуванчик и пр.) и простейшие живые организмы (бактерии, водоросли, рачки и др.).

Методические подходы к изучению геоэкологического состояния территории разделяют на две основные группы – эколого-геохимические и эколого-гигиенические [92]. Первые из них оперируют оценкой экологического состояния через величины кларков концентрации химических элементов и их соединений, превышения региональных и местных геохимических фонов, а также различными параметрами (СПЗ, ПХЗ, КДА и др.).

Эколого-гигиенические подходы базируются на разработанных санитарно-гигиенических нормативах, лимитирующих присутствие экологически опасных поллютантов в объектах окружающей среды (ПДК, ПДУ, ОБУВ и т.д.). Нормативы предельно допустимых нагрузок на окружающую среду определяются с учетом воздействия на живой организм. При этом эколого-гигиенические подходы различаются в определении предела химического воздействия (загрязнения) – ПДК и физического – ПДУ.

Следует подчеркнуть, что регламентация эколого-геохимических показателей состояния (качества) основных природных сред по уровню их загрязнения (табл. 1) в целом соотносится с вышеотмеченными классами благоприятности геоэкологического состояния окружающей среды для биоты и человека.

Таблица 1 – Эколого-геохимические показатели качества природных сред

Компоненты окружающей среды	Показатель	Уровень загрязнения компонентов, ед.			
		низкий	средний	высокий	очень высокий
Атмосферный воздух	ИЗА	<5	5-7	7-14	>14
Почва	СПЗ	<16	16-64	64-128	>128
Донные отложения	СПЗ	<10	10-30	30-100	>100
Вода	ИЗВ	<1	1-4	4-10	>10

ИЗА – индекс загрязнения атмосферы, СПЗ – суммарный показатель загрязнения (снежного и почвенного покрова, донных отложений), ИЗВ – индекс загрязнения воды

Более расширенные методические подходы используются при оценке качества литогенной основы, которое создается совокупностью геохимических, геофизических и геодинамических факторов [116]. Первые из них представлены химическим составом развитых на территории горных пород и образованными ими атмо-, педо-, гидро- и литохимическими ореолами рассеяния и потоками элементов и их соединений.

Геофизические поля отражают вещественный состав геологических образований и особенности его распределения в приповерхностной части земной коры. При комплексной оценке экологической обстановки на селитебных территориях изучаются в основном следующие естественные физические поля – магнитное, гравитационное, электрическое и радиационное.

Кроме вещественного состава, важным показателем качества геологических образований горных территорий, является степень их неоднородности (анизотропии), объективным критерием которой является разломная трещиноватость пород. Известно, что к разломным структурам, как правило, тяготеют радононосные участки, зоны биологического дискомфорта (геопатогенеза), области энергоперетоков, повышенные и аномальные градиенты геофизических полей, зоны неотектонических подвижек, активизации опасных экзогенных процессов, повышенной сейсмичности и пр. [122].

1.2 Геоэкологическая изученность

Первые работы по изучению геоэкологического состояния объектов окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска проведены в 1991-1996 гг. годов Алтайской геофизической экспедицией – геоэкологические исследования и картографирование масштаба 1:1000000 (ГЭИК-1000) и ПГО "Березовгеология" – радиологическая съемка и эколого-геохимические работы масштаба 1:25000 (1992 г.). В дальнейшем, в 1995-1997 гг. ФГУП "Алтай-Гео" на территории города проводился мониторинг состояния объектов окружающей среды (почвы, снежный покров, природные воды, донные осадки, растения).

В 2000-2002 гг. ФГУП "Алтай-Гео" в продолжение ГЭИК-1000 провело в районе г. Горно-Алтайска полевые опробовательские работы в рамках ГЭИК-200 (100). Объектами изучения, не оформленного в виде отчета, были снег, почвы, речные воды и донные отложения.

К другим исследованиям геоэкологического профиля, проведенным на территории г. Горно-Алтайска и пригородных сел в 1990-е годы, относятся: площадная оценка загрязнения атмосферного воздуха (КЛМС Бийск); мониторинг загрязнения поверхностных и сточных вод (Горно-Алтайский университет); оценка радоноопасности помещений (ЦГСЭН по РА); изучение загрязнения почв радионуклидами (ОИГГиМ СО РАН, Алтайский региональный институт экологии), тяжелыми металлами (Томский и Горно-Алтайский университеты, Алтайский региональный институт экологии).

С начала 2000-х годов в районе агломерации проводится федеральный мониторинг подземных питьевых вод и экзогенных геологических процессов (АО "Алтай-Гео"), поверхностных вод р. Майма (КЛМС Бийск), а также социально-гигиенический мониторинг атмосферного воздуха, питьевых вод, выбросов и сбросов загрязняющих веществ, радиационной обстановки (ФГУЗ "ЦГиЭ по РА", Минприроды РА).

Кроме этого, в 2000-е годы Алтайским региональным институтом экологии периодически проводились работы по оценке экологического состояния

воздушного бассейна (2012-2017 гг.), поверхностных вод и донных осадков (2013-2017 гг.), почвенного покрова (2003-2017 гг.), полигонов ТБО (2005-2011 гг.), радиэкологической ситуации (2015-2017 гг.) на территории агломерации.

В частности, в этот период институтом были предварительно изучены особенности загрязнения почвенно-растительного покрова агломерации свинцом [55], техногенными радионуклидами [89, 96], компонентами ракетных топлив и их производными, диоксинами и хлорорганическими пестицидами [52].

Вышеизложенное свидетельствует о том, что в постсоветский период геоэкологическое состояние окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска неоднократно являлось предметом изучения различных научных и производственных организаций. Эти работы носили в основном разобщенный (бессистемный) ведомственный характер и их результаты практически недоступны как органам управления и надзора, так и широкой общественности.

Таким образом, в настоящее время геоэкологическая изученность в районе г. Горно-Алтайска в целом удовлетворительная, но при этом отсутствует как обобщение полученных результатов, так и система комплексного мониторинга состояния компонентов окружающей среды.

1.3 Объекты, объемы и методы исследования

Объектами исследования явились компоненты окружающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска, а предметом изучения их геоэкологические характеристики и особенности пространственного распределения.

В процессе исследования с разной степенью детальности было изучено геоэкологическое состояние (качество) следующих компонентов окружающей среды (рис. 1): атмосферный воздух (по атмосферным осадкам); почвенный покров; природные воды – поверхностные (речные), подземные, в том числе грунтовые воды; донные отложения водотоков; сбросные и сточные воды; древесные виды растений (береза повислая и тополь черный); лишайник *Caloplaca* sp. на шифере, а также ряд показателей радиэкологической обстановки.

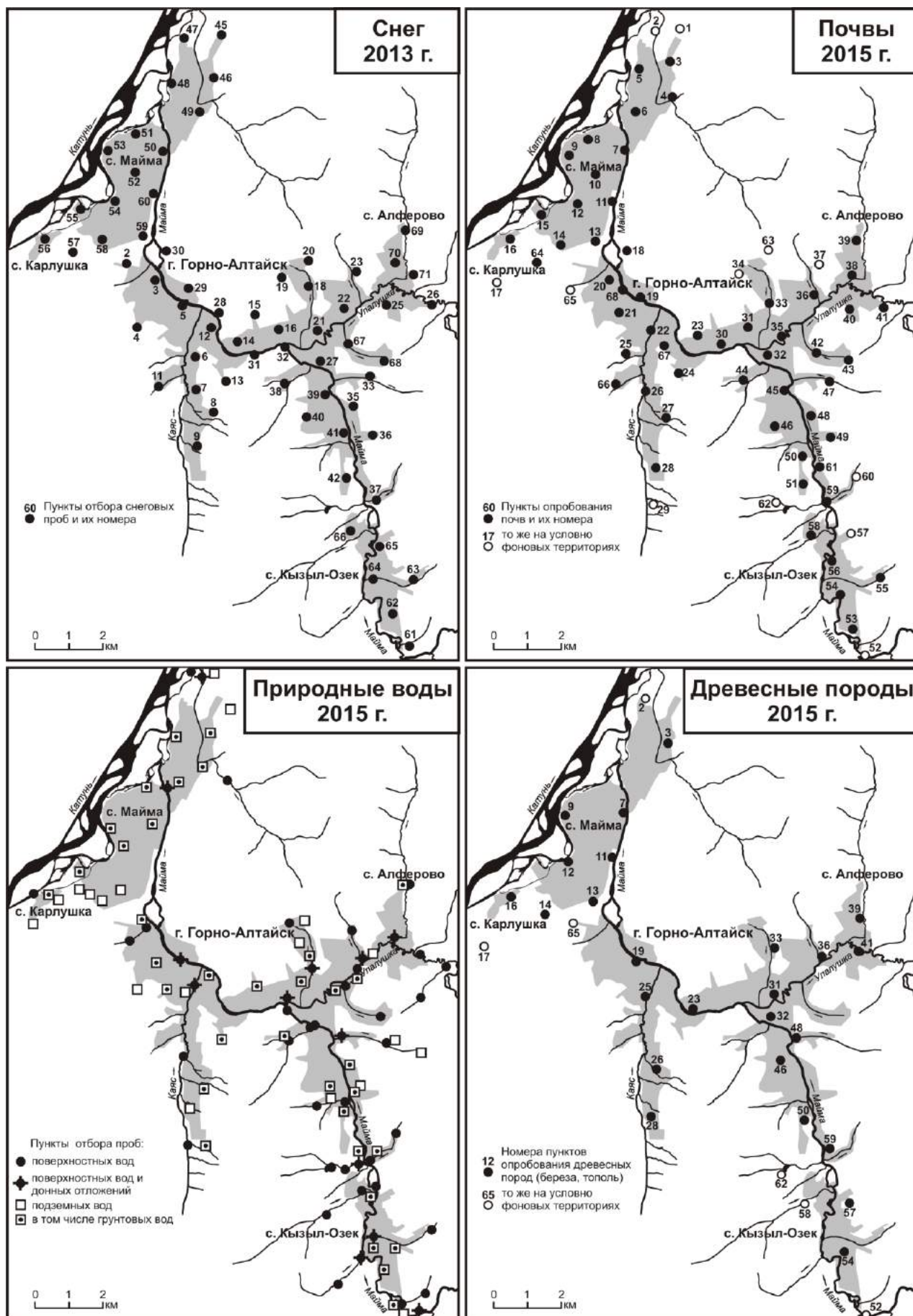


Рисунок 1 – Схемы опробования компонентов окружающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Всего в период 2013-2017 гг. на территории агломерации было взято и проанализировано разными методами 422 пробы (образца) природных сред, основная часть которых приходится на природные воды (28,4%), почвы (24,9%), атмосферные осадки (22,6%), образцы растений – 13,9% (табл. 2).

Плотность опробования природных сред варьировалась от 1 до 3 проб на 1 км² при средней 1,5-2 пробы/км². Расстояние между соседними пробами (замерами) составило от 0,7 до 1,5 км (рис. 1). Основная часть проб взята в тальвегах сухих логов и притоков р. Майма (рис. 1).

В качестве исходных картографических материалов использовались космоснимки и топокарты. Для всех пунктов были определены географические координаты с использованием GPS-приемника "GPSmap76Cx" с точностью $\pm 5-8$ м. В качестве плановой основы для картографирования пунктов пробоотбора использовалась их координатная и адресная (на схеме дубль-ГИС) привязка.

Методики пробоотбора и пробоподготовки отвечали типовым, общепринятым при геоэкологических исследованиях [61-69, 78-79, 103]. Так, отбор проб снега проводился в конце марта трехкратным повтором на всю мощность ненарушенного снегового покрова при помощи трубчатого пробоотборника диаметром 120 мм. Пробы таялись и фильтровались с разделением снеговой воды и твердого остатка (ТОСП), который высушивался, взвешивался и изучался под микроскопом. По массе пыли в пробе по известной формуле [67] рассчитывалась среднесуточная пылевая нагрузка на единицу площади.

Пробы почв брались методом кольца из горизонтов А и АВ, с которых предварительно отделялся дерновый слой (А_д), с глубины 0-10 (20-30) см в виде цилиндров объемом 1 дм³. Донные осадки опробовались горстевым способом из глинистой и иловой фракций. Водные пробы брались в пластиковые бутылки и из-за отсутствия разрыва с анализами не консервировались. Пробы природных вод брались из водотоков, колонок, скважин; пробы сточных вод – из выпусков ливневой канализации и очистных сооружений. Образцы листьев тополя черного (*Pinus nigra*) отбирались массой 50-100 г в конце вегетационного периода в нижней части кроны до наступления фазы их окрашивания.

Пробы почв, донных отложений, ТОСП и растений доводились до воздушно-сухого состояния и измельчались до 0,07 мм. Листья тополя озолялись до серой золы при 450°C по стандартной методике (ГОСТ 26929-94).

Объем лабораторного изучения свойств и состава проб (образцов) природных сред составил 991 анализ. Кроме того, для воды, почв и древостоя выполнено 492 измерения (экспресс-определения) ряда показателей (табл. 2).

Таблица 2 – Объемы опробования, измерений и лабораторного изучения природных сред на территории агломерации в 2013-2017 гг.

Атмосферные осадки			Природные воды		Сточ- ные воды	Почвы	Донные осадки	Растительный покров		Всего проб (измерений)
Дождевая вода	Снеговая вода	ТОСП	Поверх- ностные	Подземные				Древес- ные виды	Лишайники	
Количество проб, шт.										
4	59	32	55	65	10	105	33	31	28	422
Доля от общего числа проб (образцов), %										
1,0	14,0	7,6	13,0	15,4	2,4	24,9	7,8	7,3	6,6	100
Число проб на общий химический (солевой) состав, шт.										
4	50	–	55	65	10	–	–	–	–	174
Элементный состав										
–	6	32	9	–	–	105	33	31	28	244
Физико-химические показатели										
4	59	–	64	–	10	134	–	–	–	271
Радиологические показатели										
–	–	–	–	–	–	52(168)	16	–	–	68 (168)
Показатели кислородного режима										
4	50	–	105 (76)	65	10	–	–	–	–	234 (76)
Таксационные, морфометрические, биофизические показатели										
–	–	–	–	–	–	–	–	248	–	(248)

Измерения магнитной восприимчивости почв проводились с использованием серийного каппаметра КМ-7 (производство Чехия) с ценой деления 1×10^{-5} ед. СИ. Определение концентрации растворенного кислорода в речной воде проводилось путем прямых измерений портативным электрохимическим анализатором МАРК-302Э в соответствии с его инструктивными требованиями.

Для березы повислой (*Betula pendula*) при визуальном осмотре и путем измерений устанавливались таксационные показатели и категория жизненного состояния. При определении морфометрических и биофизических показателей использовались методические подходы [31, 25, 44, 117] и технические рекомендации производителей экспресс-анализаторов. В частности, измерения температуры и влажности стволов и корней березы проводились в середине лета на северной стороне деревьев на высоте 1,5 м ствола и в корнеобитаемом слое почвы

на глубине 0,5 м. Радиальный прирост за последние 5 и 15 лет определялся под микроскопом по кернам, взятым при помощи возрастного бура Haglof. Измерения параметров листовой пластинки проводились с 10-кратным повтором с использованием масштабной линейки и транспортира (табл. 3). Было изучено 31 дерево, в т.ч. 5 условно фоновых деревьев на окраинах пригородных сел.

Таблица 3 – Методы и инструменты определения показателей древесных видов

Показатели	Методы измерения	Использованное оборудование
Жизненное состояние*	Измерения с 5-кратным повтором	Маятниковый высотомер
Температура*	Измерения с 5-кратным повтором	Инфракрасный пирометр AR300
Влажность *	Измерения с 5-кратным повтором	Измеритель влажности micro HYDRO
Прирост за 5 и 15 лет*	Измерения с 5-кратным повтором	Возрастной бур Haglof, микроскоп МБС
Асимметрия листовой пластинки*	Измерения с 10-кратным повтором согласно [31]	Масштабная линейка, транспортир
Зольность листьев**	Метод сухого озоления	Муфельная печь, весы, эксикатор

Примечание: * – определенные показатели березы повислой, ** – показатели тополя черного

Радиоэкологическая обстановка на территории агломерации оценена путем измерения радиометром СРП-68-01 в 68 пунктах мощности экспозиционной дозы (МЭД) и радиометром Альфарад плюс-Р в 100 пунктах плотности потока радона с поверхности почвы (ППР). Также были взяты и проанализированы рентгено-спектральным анализом почвенные пробы на естественные (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) и техногенные (^{137}Cs) радионуклиды в 45 пунктах (рис. 2).

Лишайники изучены на шиферной кровле домов и надворных построек со временем эксплуатации 40-60 лет. На территории агломерации с помощью специального ножа-скребка было взято 28 образцов лишайника *Caloplaca* sp. Опробовалась кровля с проективным покрытием около 50%, которое определяли принятым в лишенологии способом сетки-квадрата со стороной 10 см и ортогональными линиями через 1 см [13, 15, 51]. Все пробы под микроскопом очищались от частиц шифера и истирались до состояния пудры.

Лабораторное изучение проб природных сред проведено для следующего спектра показателей: общий химический состав, специфические загрязняющие вещества, элементный состав, физико-химические свойства, показатели кислородного режима (перманганатная окисляемость, химическое и биологическое потребление), агрохимические и радиологические показатели (табл. 4).

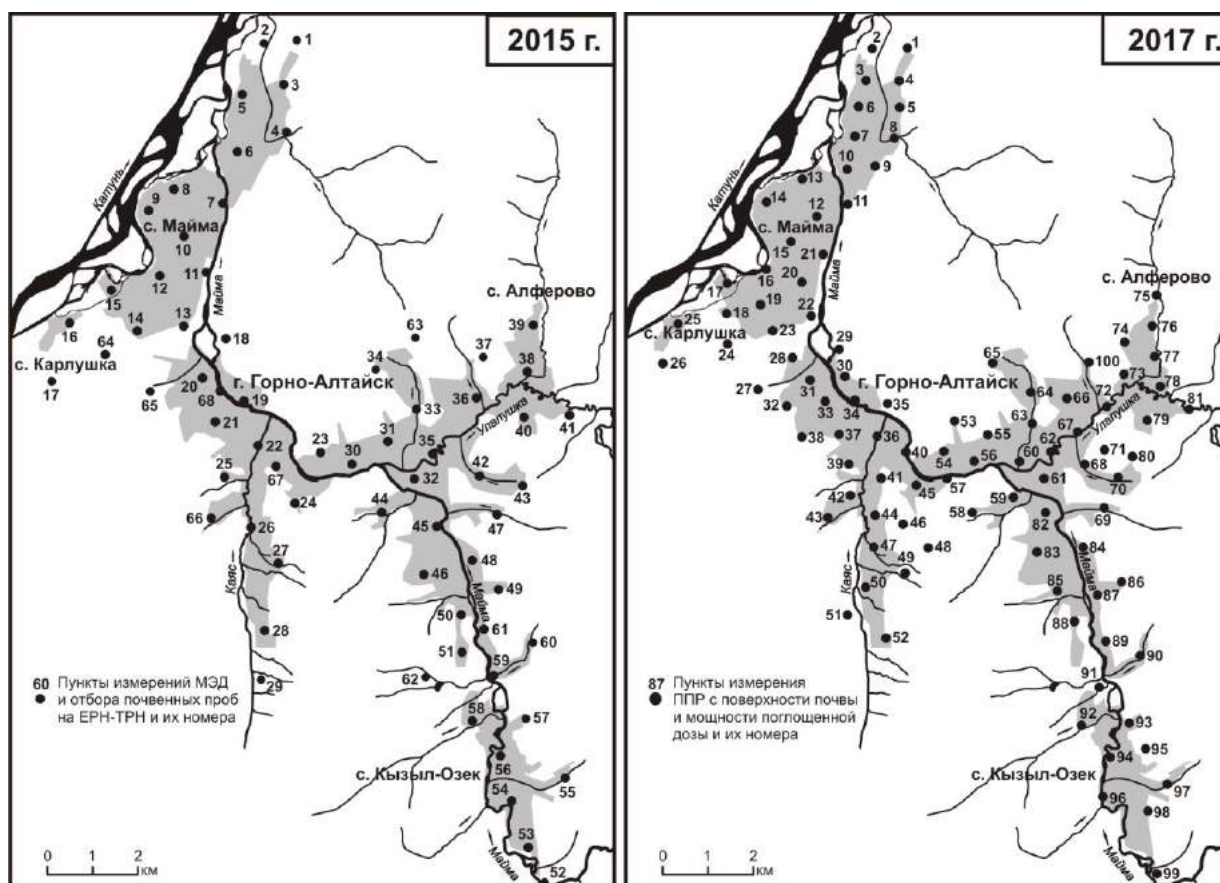


Рисунок 2 – Радиоэкологическая изученность агломерации г. Горно-Алтайска

Таблица 4 – Спектр определенных (измеренных) показателей природных сред

Природные и сточные воды			
Общий химический состав	Элементный состав	Физико-химические свойства	Кислородный режим
Катионы, анионы, ЖО, ОМ, взвешенные вещества, нефтепродукты	Содержание 50-71 элементов	(рН, Eh, электропроводимость)	ПО, ХПК, БПК ₅ , (растворенный O ₂)
Почвы, донные осадки			
Элементный состав	Физико-химические и агрохимические показатели		Радиологические показатели
Содержание 33 элементов	ЕП, карбонатность, гумус, физический песок, (рН, χ)		ЕРН, ТРН (МЭД, ППР)
Древесные виды, лишайники			
Элементный состав	Таксационные	Морфометрические	Биофизические
Содержание 28 химических элементов	(Жизненное состояние, радиальный прирост за 5 и 15 лет)	(Билатеральная асимметрия листовой пластинки березы)	(Температура и влажность ствола и корней)

Примечания: ЖО – жесткость общая, ОМ – общая минерализация, ПО – перманганатная окисляемость, ХПК (БПК) – химическое (биологическое) потребление кислорода, χ – магнитная восприимчивость, ЕП – емкость поглощения, МЭД – мощность экспозиционной дозы, ППР – плотность потока радона с поверхности почвы, ЕРН (ТРН) – естественные (техногенные) радионуклиды

Аналитические исследования проб природных сред выполнены по аттестованным методикам в аккредитованных лабораториях следующих научных, образовательных учреждений и производственных организаций (табл. 5).

Таблица 5 – Сведения об исполнителях лабораторных работ

Организации	Город	Вид анализа	Материал проб
ИГМ СО РАН	Новосибирск	ААС	Почва, донные отложения, вода
ИПА СО РАН	Новосибирск	РСА	Почва, донные отложения
ИМ УрО РАН	Миасс	ICP-MS	Фильтрат, ТОСП
НИТПУ	Томск	ИНАА, ICP-MS	Почва, донные отложения, ТОСП, растения
СФ "Березовгеология"	Новосибирск	ПКСА	Почва, донные отложения
САС "Горно-Алтайская"	Горно-Алтайск	Химический	Почва
Центр гигиены и эпидемиологии РА	Горно-Алтайск	Химический	Природные и сточные воды

Примечания: ИГМ – Институт геологии и минералогии; ИПА – Институт почвоведения и агрохимии; ИМ – Институт минералогии; НИТПУ – Национальный исследовательский Томский политехнический университет; СФ – Сибирский филиал; САС – станция агрохимической службы. Анализы: ААС – атомно-абсорбционный; РСА – рентгено-спектральный; ICP-MS – масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой; ИНАА – инструментальный нейтронно-активационный; ПКСА – полуколичественный эмиссионный спектральный.

Обработка полученных результатов лабораторных работ и измерений заключалась в их систематизации, в создании компьютерных баз данных, в формировании и последующей статистической обработке репрезентативных выборок по населенным пунктам, природным средам, загрязняющим веществам и др.

Статистическая обработка данных проведена с использованием программ "Statistika 6.1" и "Microsoft Exsel 2000". Кроме анализа показателей свойств и состава природных сред, проводилась оценка их корреляционных связей.

Интерпретация фактического материала при помощи программ ArcGIS, CorelDRAW Graphics Suite X3, Corel PHOTO-PAINT X3 заключалась в составлении картосхем, рисунков, графиков, сводных таблиц, помещенных в настоящей работе. Методической основой экологической интерпретации полученных аналитических данных явилось их сравнение с действующими санитарно-гигиеническими нормативами, а также с известными региональными и местными фоновыми значениями показателей природных сред.

Для оценки экологического состояния отдельных природных сред использовались элементные и интегральные показатели, содержащиеся в методических рекомендациях (коэффициенты концентрации, загрязнения, аккумуляции и пр.) [61-69], а также ряд авторских интегральных показателей [84, 107, 109].

Глава 2 Природные условия и факторы антропогенеза

2.1 Физико-географические условия

Район г. Горно-Алтайска находится в северной части Алтайской горной области, входящей в состав Алтае-Саянской горной страны. Для него характерно субмеридиональное направление речных водоразделов, основными из которых являются: на юге – северные отроги хребта Иолго, на севере – Стамовой хребет, на востоке – субширотные отроги Сугульского хребта (рис. 3).

Абсолютные отметки рельефа в районе варьируются от 250 м (русло р. Катунь в с. Майма) до 820 м (г. Шикшак на северо-восточном фланге района). Средние отметки составляют 400-450 м. Постепенное повышение высоты местности происходит в направлении с северо-запада на юго-восток.

Относительные превышения водоразделов над речными долинами в районе г. Горно-Алтайска составляют в среднем 150-200 м, а максимальные до 300-400 м. Крутизна горных склонов составляет 5-25° в окрестностях г. Горно-Алтайска и 5-10° в долине р. Катунь. Вершины гор в основном сглаженные.

В геоморфологическом плане район располагается в предгорной и низкогорной зонах Горного Алтая. На его территории выделяют две основные категории рельефа – горный тектоно-скульптурный и горный тектоно-аккумулятивный, представленные соответственно низкогорным литоморфным эрозионно-денудационным и эрозионно-аккумулятивным типами рельефа [81]. Каждый из них включает большое число положительных и отрицательных мезоформ рельефа, основные из которых представлены короткими широкими уплощенными низкогорными хребтами и узкими террасированными долинами рек, ориентировка которых совпадает с направлением водораздельных хребтов.

Кроме природных форм рельефа, в речных долинах района широко развиты антропогенные формы – дорожные насыпи, карьеры, выемки. В результате воздействия гравитационных и эрозионных процессов они нередко преобразуются в новейшие формы рельефа – эрозионные борозды, промоины, конусы выноса, шлейфы, оползни и пр. [73].

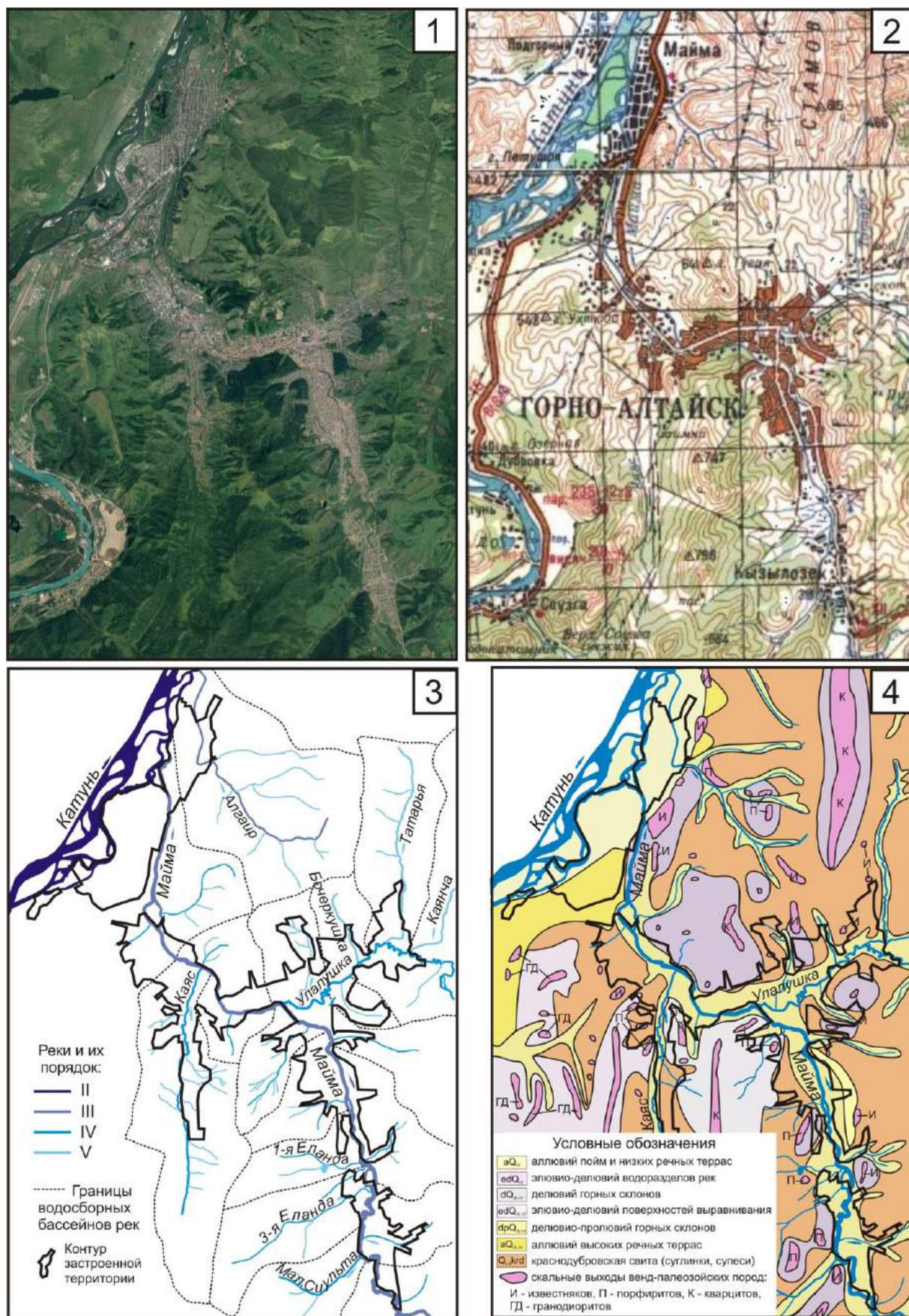


Рисунок 3 – Природные условия в районе г. Горно-Алтайска [81]

1 – космоснимок района агломерации, 2 – орографическая схема, 3 – гидрографическая сеть, 4 – схематическая геологическая карта дневной поверхности

Природные ландшафты района относятся к двум подклассам [81]: подклассу эрозионно-денудационных низкогорных подтаежных светлехвойных и колючих лесных и лесостепных ландшафтов, развитых на горно-лесных серых и лугово-черноземных почвах (5 типов) и подклассу аккумулятивных лесных и лугово-степных ландшафтов в долинах и надпойменных террасах рек, развитых на аллювиальных луговых и лугово-черноземных почвах (2 типа) (рис. 4).

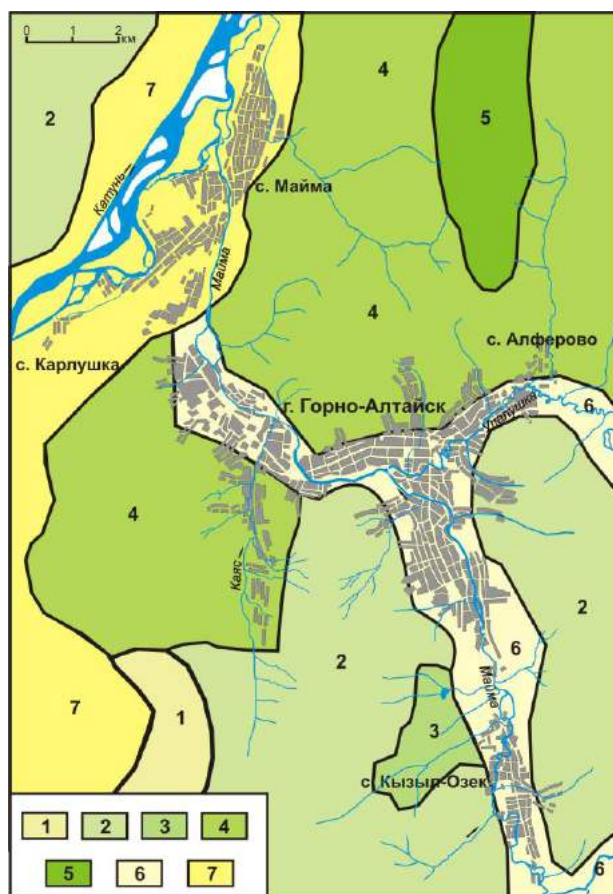


Рисунок 4 – Схема природных ландшафтов в районе г. Горно-Алтайска по [121]

1-5 – типы низкогорных ландшафтов: 1) крутосклонные густо расчлененные с маломощным покровом суглинисто-щебнистых делювиальных отложений сосново-березовые разнотравно-кустарниковые леса на горно-лесных серых и темно-серых почвах; 2) наклонные расчлененные с покровом суглинисто-щебнистых маломощных элювиально-делювиально-пролювиальных отложений осиново-березовые кустарниково-травяные леса на горно-лесных темно-серых почвах, злаково-разнотравные луга на лугово-черноземных почвах; 3) пологие слаборасчлененные с покровом делювиально-пролювиальных суглинисто-щебнистых отложений осиново-сосново-березовые кустарниково-травяные леса на горно-лесных серых и темно-серых почвах; 4) наклонные расчлененные с маломощным покровом суглинисто-щебнистых элювиально-делювиально-пролювиальных отложений березовые разнотравно-злаковые леса на горно-лесных темно-серых и серых почвах, со степями и лугами на черноземах выщелоченных и лугово-черноземных почвах; 5) уплощенные с маломощным покровом суглинисто-щебнистых элювиально-делювиальных отложений злаково-разнотравные луговые степи с осиново-березовыми колками и кустарниками на горно-лесных темно-серых и серых почвах.

6-7 – типы долинных ландшафтов: 6) речные ящикообразные долины с ивово-березовыми лесами, низинными закустаренными лугами на аллювиальных луговых оглеенных почвах, настоящими разнотравно-злаковыми лугами на черноземно-луговых выщелоченных почвах, 7) речные долины с надпойменными террасами, сложенными песчано-галечниково-валунным аллювием, с березово-сосновыми злаково-разнотравными лесами на серых и темно-серых лесных почвах и с луговыми степями на лугово-черноземных почвах.

Гидрографическая сеть района принадлежит бассейну реки Майма – правому притоку р. Катунь (рис. 5). Согласно схеме гидрологического районирования Горного Алтая [4], бассейн р. Майма приурочен к низко-среднегорной умеренно увлажненной залесенной зоне Северного Алтая и отвечает гидрологическому району с густой сетью малых рек системы р. Катунь (Верхняя Обь).



Рисунок 5 – Низкогорный лугово-лесной ландшафт на юге г. Горно-Алтайска

По водному режиму реки района относятся к переходным от типично горных рек к предгорному типу с постоянным стоком, смешанным питанием и повышенной ролью грунтового питания. Для них присуща сезонная динамика стока, тесно связанная с изменениями природного химического состава воды.

Река Майма берет начало в северных отрогах хребта Иолго. Средняя отметка водосбора 670 м, площадь 780 км². Водосборный бассейн представлен в основном смешанными пихтово-березово-осиновыми лесами, развитыми на более увлажненных северных и северо-западных склонах. Более сухие южные и юго-восточные склоны заняты степями и остепненными лугами, большей частью используемыми как пахотные, сенокосные или пастбищные угодья.

Длина р. Майма 57 км, превышение ее истока над устьем 800 м, средний уклон 1,4%, скорость течения в устье 0,6-0,9 м/с при ширине русла до 50 м и глубине около 1 м. Долина реки V-образная (в г. Горно-Алтайске – ящикообразная), узкая – от 0,2 до 1 км. В черте агломерации в нее впадает более 20 малых рек и ручьев длиной от первых км до 10-25 км, наиболее крупный р. Улалушка (рис. 3). Площадь их водосбора 200 км², средний модуль стока 1 л/с·км².

Среднегодовой расход р. Майма $8,7 \text{ м}^3/\text{с}$, максимальный $273 \text{ м}^3/\text{с}$, слой стока 340 мм, модуль стока $9,6 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$. Среднемноголетний уровень во время половодья 3,4 м, максимальный 5,5 м над нулем гидропоста в устье реки. По типу водного режима р. Майма относится к рекам с весенним половодьем и летними паводками. Около 45% стока приходится на весну, 30% на лето.

Мутность воды варьируется в пределах $60\text{-}270 \text{ г/м}^3$, средний сток взвешенных веществ $1\text{-}1,5 \text{ кг/с}$, среднегодовой модуль твердого стока $40\text{-}50 \text{ т/км}^2$.

Определенная в 2013 г. величина жидкого, твердого и ионного стока с водосборного бассейна р. Майма составила 158,6 млн. м^3 , 11,3 тыс. и 40,4 тыс. т. соответственно [83]. При этом основная доля среди загрязняющих веществ принадлежала взвешенным веществам (61,9%), ионам кальция (17,8%), натрия (7,8%), сульфатам, хлоридам и нитратам – 5,2%, 2,8% и 2,4% соответственно.

Согласно существующим гидрохимическим классификациям, речные воды на территории агломерации по химическому составу относятся к пресным (вода р. Улалушка – к ультрапресным) мягким нейтральным или слабощелочным водам гидрокарбонатного кальциевого типа.

2.2 Климат

Климат в районе г. Горно-Алтайска охарактеризован по данным метеостанции Росгидромета "Кызыл-Озек", находящейся в климатическом подрайоне 1В, характеризующимся умеренными климатическими параметрами [113].

По агроклиматическому районированию район отнесён к умеренно теплomu, увлажненному агроклиматическому подрайону. Климат района прекомфортный для человека. Отрицательными его чертами являются большие колебания суточных и сезонных температур, а также высокая влажность воздуха.

Средняя годовая температура воздуха на территории района $1,4^\circ\text{C}$. Самый холодный месяц январь со среднемесячной температурой $-15,8^\circ\text{C}$, самый жаркий июль со среднемесячной температурой $18,2^\circ\text{C}$. Абсолютный минимум температуры воздуха равен -49°C , абсолютный максимум 37°C .

Среднегодовое количество часов солнечного сияния – 2083, суммарная солнечная радиация составляет 1803 МДж/м². Годовая абсолютная влажность воздуха равна 5,1 г/м³, относительная влажность зимой 78 %, летом 76 %.

Среднегодовая сумма осадков составляет 780 мм при суточном максимуме 69 см. Основная часть осадков выпадает в теплое время года.

Средняя высота снежного покрова на открытых местах составляет 30-40 см, в защищенных местах 50-60 см. В долине Катуні под влиянием теплых сухих фёнов снег частично испаряется, и высота его покрова не превышает 10-20 см. Среднее число дней со снежным покровом 150-160.

Глубина промерзания почвогрунтов зависит от литологического состава, рельефа, степени покрытия снеговым покровом и варьируется от 0,5 м до 2,7 м. Длительность промерзания не превышает 4 месяцев.

Для ветрового режима зимнего периода характерно преобладание ветров южного (43 %) и юго-восточного (24 %) направлений, летом их доля уменьшается. Среднегодовая скорость ветра составляет 2,9 м/с, наибольшая скорость наблюдается зимой (4,3-7,2 м/с). Повторяемость штилей составляет 22 %.

К неблагоприятным климатическим явлениям на территории района относятся: аномально холодная погода (более -40°C), сильные ветры, град, заморозки, туманы (более 26 дней в году), повышенная грозоактивность и пр. [112].

2.3 Геологическое строение. Гидрогеология

В геологическом строении района участвуют в основном осадочные и вулканогенно-осадочные породы палеозойского складчатого фундамента, слагающего субмеридионально ориентированную Катунскую структурно-формационную зону. Они представлены (снизу-вверх): рифей-вендскими и венд-нижнекембрийскими отложениями баратальской и эдиганской свит соответственно (известняки, доломиты и др.); нижнекембрийскими осадочно-вулканогенными отложениями и послойными силлами манжерокской и каимской свит (порфириды, их туфы, песчаники); терригенными отложениями горно-алтайской серии среднего кембрия – нижнего ордовика. Эти согласно залегаю-

щие между собой толщи смяты в крутые складки и разбиты на мелкие тектонические блоки системой разломов субмеридионального, широтного и северо-восточного направлений. В юго-западной части района они прорваны девонскими гранодиоритами Рыбалкинского массива [124].

Литифицированные породы в пределах надпойменных террас р. Катунь перекрыты чехлом верхнечетвертичных-современных делювиальных и аллювиальных рыхлых отложений (пески, галечники, супеси, суглинки и пр.) мощностью до 20-30 м и более. На прилегающих к ним горных склонах развиты покровные суглинки краснодубровской свиты мощностью 5-20 м, перекрытые глинисто-щебнистыми отложениями мощностью первые метры. Нередко коренные породы выходят на дневную поверхность в виде обнажений (рис. 3).

Полезные ископаемые в районе представлены в основном их нерудными типами, среди которых преобладают общераспространенные стройматериалы – песчано-галечниковые смеси, пески, бут, различные глины (керамзитовые, кирпичные, красочные), известняки, кварциты, доломиты, облицовочные камни и др. Из месторождений подземных вод разведаны и эксплуатируются Катунское, Улалинское и Майминское месторождения.

В пределах района выделяются два водоносных этажа. Верхний этаж сложен рыхлыми четвертичными аллювиально-делювиальными отложениями (от среднечетвертичного возраста до современного), развитыми в долинах и бортах рек. Водоносные горизонты этого этажа представлены грунтовыми водами, гидравлически связанными с дневной поверхностью и атмосферными осадками, которые являются основным источником их питания. В районе они имеют широкое распространение и залегают на глубинах от первых метров в поймах рек до 20-60 м на высоких надпойменных террасах р. Катунь.

Нижний водоносный этаж представлен осадочными и осадочно-вулканогенными породами рифей-кембро-ордовикского возраста. Подземные воды этого этажа представлены карстовыми, трещинными и жильными типами вод, развитыми в верхней закарстованной (в известняках) и обводненной зоне трещиноватости выветрелых пород складчатого фундамента мощностью 100-200 м.

2.4 Почвы. Донные осадки.

Однообразие ландшафтно-климатических и орографических условий района г. Горно-Алтайска способствовало формированию сравнительно узкого спектра типов почв, в распределении которых слабо выражена высотная поясность и мозаичность, обусловленная различиями в экспозиции склонов [81].

Согласно ландшафтной и почвенным картам [4] и материалам проведенного исследования, на лесопокрытых горных склонах и водоразделах в районе проявлены, главным образом, горно-лесные серые и темно-серые слабо оподзоленные почвы с вкраплением лугово-черноземных почв и выщелоченных черноземов на безлесных участках, занятых суходольными и злаковыми лугами.

В речных поймах развиты преимущественно аллювиальные типы почв – луговые оглеенные и черноземно-луговые выщелоченные, а на лесопокрытых надпойменных террасах – серые и темно-серые горно-лесные почвы с включением лугово-черноземных почв на безлесных участках [80].

Превалирующий тип горно-лесных серых и темно-серых слабо оподзоленных почв сформирован на слабощебнистых суглинках, залегающих на элювио-делювии коренных пород. Почвенный профиль мощностью 40-60 см состоит из горизонтов $A_0, A_1, A_2, B_1, B_2, C$. Содержание в них гумуса 4-8%, pH 5,5-6,0 [132].

Для другого распространенного в районе типа лугово-черноземных почв характерен глинистый и суглинистый состав, повышенная мощность гумусового горизонта (30-90 см) и содержания гумуса – 7-14%, слабокислая реакция. Почвенный профиль мощностью до 150 см имеет вид $A_0, A_1, A_2, B_1, B_2, BC, C$.

Донные отложения крупных рек района (Катунь, Майма) представлены в основном валунно-галечниково-песчано-глинистым дальнеприносным материалом, в котором органический материал отсутствует или представлен в незначительном количестве. Речные наносы их мелких притоков 4-5 порядков, как правило, не содержат грубообломочных фракций обломочного материала, в них повышена роль местного глинисто-илистого материала с примесью почвенной органики.

2.5 Растительный покров

На схеме геоботанического районирования [4] район г. Горно-Алтайска находится в пределах Северо-Алтайского предгорного округа одноименной таежно-лесостепной геоботанической провинции. Разнообразный природный растительный покров района испытал антропогенные изменения при рубках и посадках лесных насаждений, обработке земель, сенокошении, выпасе скота и пр.

Распределение растительного покрова определяется, главным образом, экспозицией и крутизной склонов, и частично высотной поясностью. В районе агломерации г. Горно-Алтайска представлены в основном растительные сообщества лесного, лугово-лесного и степного подпоясов. В меньшей степени проявлены болотные и водные растительные сообщества.

Главными древесными видами лесного подпояса являются сосна обыкновенная, береза повислая, осина, реже пихта сибирская и тополь черный (на селитебных территориях). Широко проявленный кустарниковый ярус представлен черемухой, рябиной, калиной, рододендронам, шиповником, волчегородником, кизильником и др. Для травянистого яруса характерны растения разнотравно-мятликовой, широколистно-папоротниковой и коротконожковой групп.

Лугово-лесные растительные сообщества развиты на безлесных участках лесного подпояса и представлены остепненными и настоящими суходольными лугами, злаковыми полидоминантными и моnodоминантными (ежовыми, тимфеечными, овсяницевыми, мятликовыми и др.) лугами. Большинство из них имеет вторичное происхождение (на месте вырубки лесов и осушения болот), на что указывает видовой состав преобладающей растительности [80, 81].

Степные ксеро- и мезофильные растительные сообщества представлены луговыми и настоящими крупнодерновинными степями, проявленными на крутых южных склонах (борта долины р. Майма). Небольшие участки в долинах рек Майма и Улалушка заняты болотными сообществами с бедным видовым составом, основу которого составляют осоки и вейники. Кроме перечисленного, в районе незначительно проявлена ассоциация скальной растительности.

2.6 Источники и виды антропогенного воздействия на окружающую среду агломерации г. Горно-Алтайска

В настоящее время в районе г. Горно-Алтайска представлены в основном промышленный, сельскохозяйственный и транспортный типы хозяйственной деятельности. Уровень их развития в целом не высокий, поскольку в районе присутствует только ограниченное число небольших промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а из видов транспортного сообщения развит автомобильный транспорт и в незначительной степени авиация.

В пределах агломерации выделяются следующие территории хозяйственной деятельности (по степени уменьшения площади): жилые, производственные, природные и искусственные лесные насаждения, рекреационные, общественно-деловые, водоохранные, особо охраняемые природные территории (рис. 6).

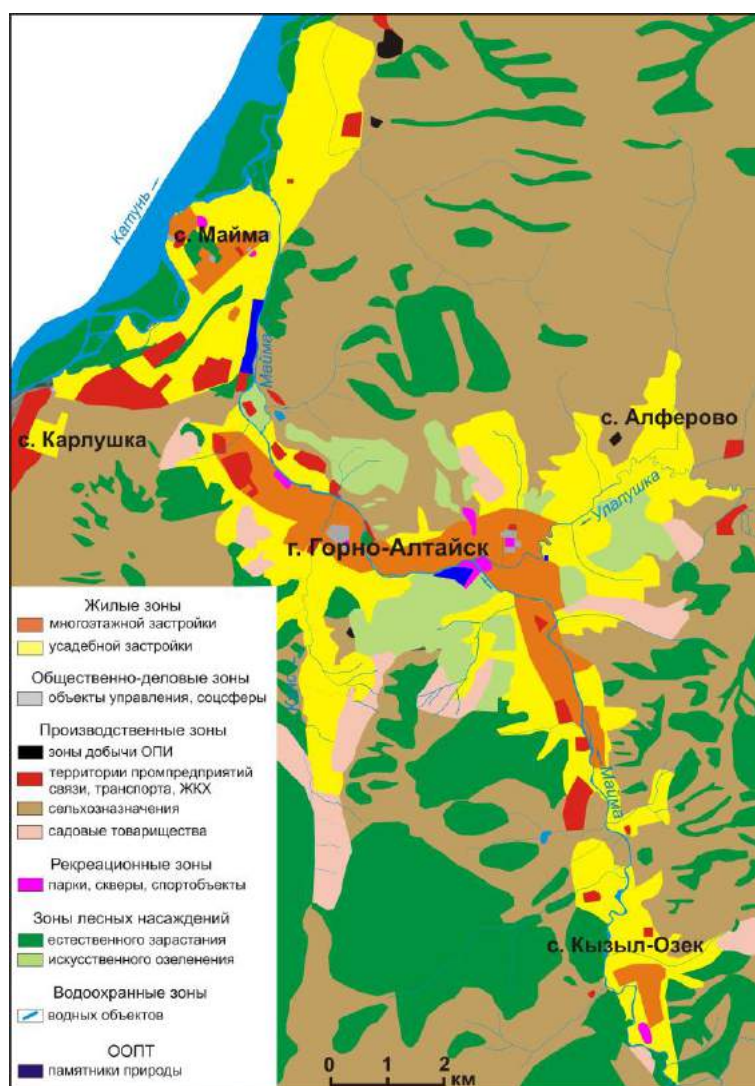


Рисунок 6 – Территории хозяйственной деятельности в районе Горно-Алтайска

Зоны застройки мало- и среднеэтажными жилыми домами отвечают центральным частям г. Горно-Алтайска и с. Майма. На остальной площади агломерации преобладает усадебная застройка. Производственные зоны включают территории промышленных и иных предприятий, объекты добычи и переработки строительных материалов, сельскохозяйственной деятельности. Зоны специального назначения, занятые кладбищами, объектами размещения и очистки коммунальных отходов, находятся на окраине застроенной территории агломерации.

Ретроспективным анализом структуры локальных источников воздействия на окружающую среду агломерации выделены два временных этапа – позднесоветский (1970-1980-е гг.) и постсоветский (с 1990-х гг. по настоящее время) [106]. Первый из них имел промышленно-сельскохозяйственную направленность и характеризовался наличием малых предприятий легкой, пищевой, обрабатывающей и строительной промышленности, автотранспортных предприятий, объектов ЖКХ, сельхозобъектов – ферм, полей, садов, плантаций хмеля и др.

В постсоветский период было ликвидировано большинство из имевшихся промышленных, автотранспортных и сельскохозяйственных предприятий, а оставшиеся уменьшили объемы производства или перепрофилировали свою деятельность. Это привело к изменению спектра и уменьшению интенсивности их воздействия на окружающую среду. В последние годы основными факторами антропогенного воздействия являются объекты транспортной инфраструктуры и многочисленные мелкие котельные (около 150 ед.), которые до 2008 г. работали на угле, впоследствии многие из них были переведены на природный газ. При этом их количество практически не изменилось.

В настоящее время в населенных пунктах агломерации насчитывается более 35 тысяч различных типов автомобилей, что в три раза больше их количества в 1990 г. По сравнению с позднесоветским периодом существенно вырос парк общественного автотранспорта и число автомобилей в личном пользовании граждан. Появились специализированные стоянки автотранспорта. На порядок увеличилось число АЗС, многие из них расположены в селитебных зонах. На заправках исчезли этилированные бензины, появился ряд газовых АЗС.

Помимо перечисленного, к потенциальным источникам воздействия объектов транспортной инфраструктуры на окружающую среду агломерации относятся аэропорт Горно-Алтайск, нефтебаза, автомойки, автосервисы и др.

В связи с заметным ростом жилищного и дорожного строительства на окраинах агломерации появился ряд новых карьеров по добыче и переработке общераспространенных полезных ископаемых (ПГС, пески, глины). К объектам физического (электромагнитного) загрязнения окружающей среды добавились многочисленные вышки сотовой связи и ретрансляторы. Несмотря на заметные изменения в хозяйственной деятельности в районе агломерации сохранились все объекты размещения отходов производства и потребления (рис. 7).

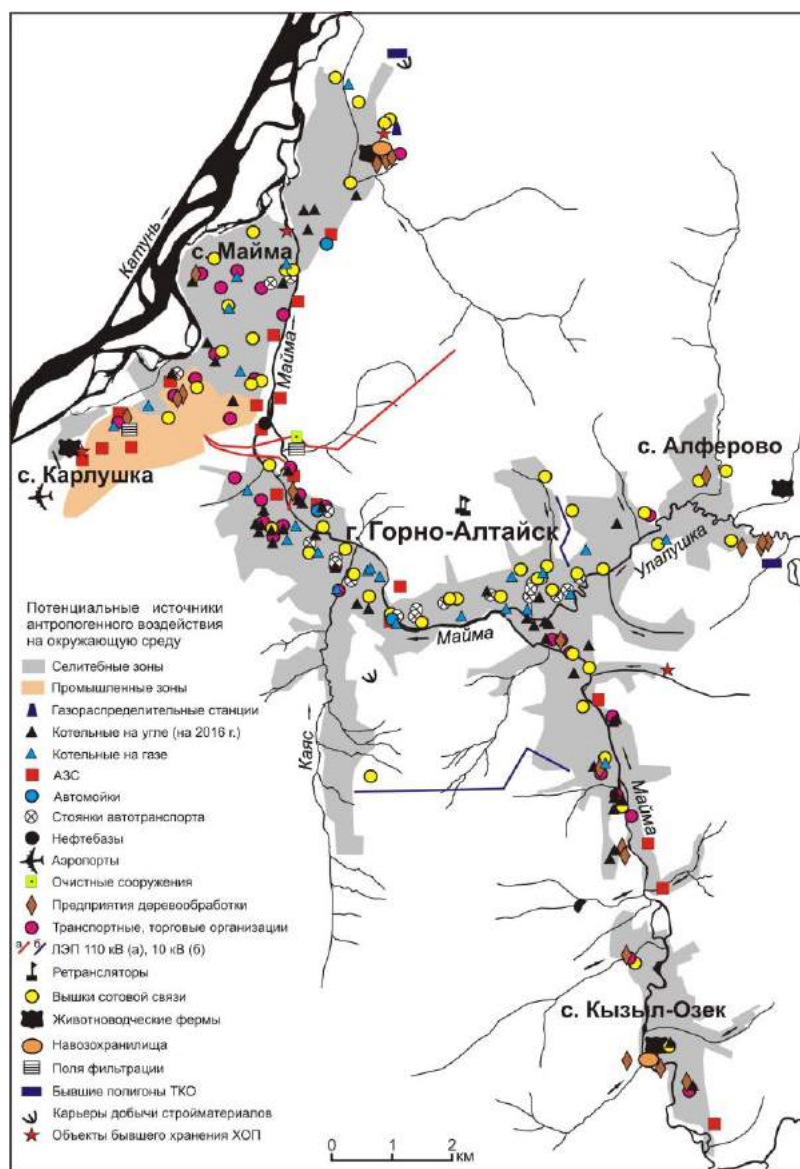


Рисунок 7 – Потенциальные источники антропогенного воздействия на окружающую среду агломерации г. Горно-Алтайска

Необходимо отметить, что район г. Горно-Алтайска, как и Республика Алтай в целом, в разные периоды подвергался воздействию ряда региональных техногенных факторов – испытания ядерных устройств на Семипалатинском полигоне (СИП) в 1949-1962 гг.; пуски ракетополетов "Протон" на гидразином топливе с космодрома Байконур; трансграничные переносы выбросов металлургических предприятий Восточного Казахстана. Последствия их воздействия в районе проявились в основном повышенным уровнем загрязнения природных сред техногенными радионуклидами и тяжелыми металлами [92].

Обобщение и анализ материалов, ранее проведенных геоэкологических исследований, позволили автору выявить и в общем виде охарактеризовать основные виды прошлого и современного антропогенного загрязнения компонентов окружающей среды на территории агломерации (механическое, химическое, физическое). Для каждого из них определен спектр загрязняющих веществ (процессов), их источник, природные среды – реципиенты загрязнения, а также его интенсивность и характер проявления (табл. 6).

Таблица 6 – Виды локального антропогенного загрязнения компонентов окружающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Загрязнители, параметры	Основные источники, процессы загрязнения	Среды – реципиенты загрязнения	Уровень загрязнения	Характер проявления
1. Механическое загрязнение				
Пылезолоунос	Котельные, предприятия, транспорт, ПП	Почвы, снеговой покров	Низкий-средний	Площадной*
Взвешенные в-ва		Почвы, воды, осадки	Низкий-высокий	Площадной*
2А. Химическое загрязнение неорганическими веществами				
Газообразные вещества	Котельные, транспорт	Воздух	Низкий-средний	Площадной*
Тяжелые металлы	Транспорт, котельные предприятия	Почвы, воды, осадки	Низкий-средний	Площадной*
Соединения азота	Предприятия, население	Почвы, воды	Низкий-средний	Точечный
Сульфаты, фосфаты			Низкий	Точечный **
2Б. Химическое загрязнение органическими веществами				
Газообразные вещества	Котельные, транспорт	Воздух	Низкий	Площадной*
Нефтепродукты	АЗС, транспорт	Почвы, воды, воздух	Низкий	Точечный
Пестициды	Склады, с/х объекты	Почвы, воды, осадки	Низкий-высокий	Площадной*
Фенолы	Предприятия, ПП	Почвы, воды	Низкий-средний	Точечный
Диоксины	С/х объекты, ОС, ТКО	Воздух, почвы, воды	Низкий	Точечный
ЖК, СПАВ, АПАВ	Предприятия, жители	Воды	Низкий-средний	Точечный **
3А. Физическое (радиоактивное) загрязнение				
ТРН	СИП, ГВ	Почвы, донные осадки	Низкий-средний	Площадной*
РЭ (U, Th)	Горные породы	Породы, почвы, осадки	Низкий	Точечный
Радон, торон	Горные породы	Почвы, воздух	Средний-высокий	Площадной*
3Б. Прочие виды физического загрязнения				
Шум, вибрация, ЭМП	Транспорт, вышки СС	Воздух, почвы	Низкий	Точечный

ГВ – глобальные выпадения; РЭ – радиоактивные элементы; ОС – очистные сооружения; ПП – природные процессы; ЖК – жирные кислоты; СПАВ – синтетические поверхностно-активные вещества; ТРН – техногенные радионуклиды; СС – сотовая связь; ЭМП – электромагнитные поля. Загрязнение: * – очаговое, ** – линейное

Спектр загрязнителей, установленных на территории агломерации г. Горно-Алтайска, достаточно ограниченный, что объясняется небольшим "набором" источников регионального и локального антропогенного загрязнения. Для большинства химических поллютантов характерен низкий, реже средний уровень загрязнения природных сред и локальный очаговый характер проявления.

Высокое содержание в природных средах, кратно превышающее экологогигиенические нормативы, характерно для хлорорганических пестицидов (ДДТ, ГХЦГ) и природных концентраций радона в почве и в воздухе помещений [52].

Механическое загрязнение природных сред обусловлено в основном выбросами котельных, представленных недожогом угля, пыле- и золоуносом.

Химическое загрязнение компонентов окружающей среды представлено экотоксикантами неорганического и органического происхождения. К первому из них относятся газообразные загрязнители (оксиды углерода, азота, диоксид серы и др.), тяжелые металлы 1-3 классов опасности (Pb, Cu, Zn и др.), соединения азота (аммоний, нитриты, нитраты), сульфаты, фосфаты, хлориды [56].

Химические загрязнители органической природы на территории агломерации представлены: газообразными загрязнителями (метан, формальдегид, предельные углеводороды), содержащимися в выбросах автотранспорта и газовых котельных; нефтепродуктами – бензины, дизтопливо, мазуты; средствами химизации и химзащиты (удобрения, гербициды, инсектициды) [106].

К этому классу загрязнителей также относятся: фенолы природного и антропогенного происхождения, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) и свободные жирные кислоты (СЖК), образующиеся на предприятиях и в частном секторе при использовании СМС, мыла и других моющих средств.

Физическое загрязнение окружающей среды на территории агломерации представлено радиоактивным, акустическим и электромагнитным загрязнением. Радиоактивный фактор воздействия (ионизирующее излучение) представлен природными концентрациями радона, радиоактивных элементов (уран, торий, ЕРН) и долгоживущих техногенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$), поступивших при локальных и глобальных атмосферных выпадениях.

Глава 3 Характеристика геоэкологического состояния компонентов окружающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска

3.1 Атмосферный воздух

Состояние атмосферного воздуха относится к числу важнейших геоэкологических характеристик селитебных территорий [17, 102]. Данных по загрязнению воздушного бассейна агломерации г. Горно-Алтайска в целом недостаточно, что объясняется с одной стороны относительно удовлетворительным состоянием приземной атмосферы, а с другой отсутствием ее полноценного изучения. Тем не менее, начиная с конца 1990-х гг. наблюдения за состоянием атмосферного воздуха ведутся на территории Горно-Алтайска (12 постов) и с. Майма (5 постов) на автомагистралях и под факелами котельных. Годовое количество измерений в рамках этой работы составляет 700-900 ед. [27].

Анализ данных "догазового" периода (до 2008 г.) показал, что в это время объемы выбросов твердых и газообразных загрязняющих веществ на территории агломерации составляли 3-6 тысяч тонн, из них 13-17% составляли твердые частицы (пыль, сажа, недожог), 50-70% – оксиды углерода, по 8-9% – диоксид серы, оксиды азота, простейшие углеводороды (УГВ). Основная часть твердых выбросов при плоскостном смыве поступала в речную воду.

Наибольшие превышения гигиенических нормативов – до 50% в 1990-е гг. и до 20% в 2000-е гг. наблюдались в г. Горно-Алтайске – остановка "Мебельная", автовокзал, м/р "Жилмассив", а также на разъезде в с. Майма [27].

Среднесуточные концентрации загрязнителей в отопительные сезоны "догазового" периода достигали: твердые частицы до 5,7 ПДК; оксид углерода – 2,4; диоксид серы – 1,8; оксиды азота – 2,6; УГВ до 2,7 ПДК (табл. 7). В теплые периоды содержание газообразных загрязнителей снижалось в 2-3 раза.

Таблица 7 – Содержание загрязнителей в воздухе г. Горно-Алтайска (ед. ПДК) [27]

Годы	Организации	Твердые частицы	Оксид углерода	Диоксид серы	Оксиды азота	Углеводороды	Аммиак
1991	Запсибгидромет	3,4	2,4	1,3	2,2	–	(2,6)
1998	ГАГУ	3,5-5	1,1	1,2	1,9	1,9	–
2002	ГАГУ	5,7	0,9	1,8	2,6	2,7	0,05
ПДК, мг/м ³		0,5	5,0	0,5	0,085	1,0	0,2

Эти значения в целом сопоставимы с уровнями массовой концентрации аэрозоля в атмосфере агломерации – 0,7-1,4 мг/м³ (1,4-2,8 ПДК). Они наблюдались в условиях устойчивой температурной стратификации атмосферы (температурной инверсии) и скорости ветра менее 1,5 м/с, когда не происходит рассеивания примесей и создаются условия для смогообразования. Для сравнения в других населенных пунктах республики (Чемал, Онгудай, Шебалино) концентрации аэрозоля в атмосферном воздухе составляли всего 0,1-0,2 мг/м³.

Для контроля состояния атмосферного воздуха на изученной территории Алтайским институтом экологии с участием автора в 2015-2017 гг. было сделано 50 измерений концентраций пяти газообразных загрязнителей (CO, NO, NO₂, SO₂, суммы УГВ). Измерения проведены на высоте 1,5 м от поверхности земли при помощи газоанализатора Multiwarn II SEP фирмы "Dräger" (ФРГ) в соответствии с РД 552.04.186-89 "Руководство по контролю загрязнения атмосферы".

Результаты измерений показали, что содержание этих газов в атмосферном воздухе ниже пороговой чувствительности газоанализатора (0,1 мг/м³), т.е. многократно ниже действующих ПДК. Это согласуется с данными проводимого мониторинга, не фиксирующего в последние годы превышения гигиенических нормативов по газообразным загрязнителям и взвешенным веществам.

Одной из важных характеристик геоэкологического состояния атмосферного воздуха селитебных территорий является содержание ртути [86, 88]. Ранее проведенными работами в воздухе населенных пунктов агломерации установлены средние концентрации ртути – 3,1-3,7 нг/м³, которые в 2-3 раза ниже, чем на территории ближайших промышленных городов Бийск и Барнаул (табл. 8).

Таблица 8 – Содержание ртути в воздухе населенных пунктов агломерации, нг/м³

Содержание	Горно-Алтайск (n=42)	Майма (n=18)	Кызыл-Озек (n=8)	Агломерация (n=68)
min	<1	<1	<1	<1
max	8	8	7	8
mean	3,7	3,2	3,1	3,5

В качестве предварительного вывода отметим, что по имеющимся данным загрязнение атмосферного воздуха на территории агломерации в настоящее время находится фоновым, а в ряде мест на слабо повышенном уровне.

3.1.1 Снежный покров

Снежный покров как естественный планшет-накопитель (реципиент) атмосферных выпадений и загрязняющих веществ в выбросах в атмосферу служит надежным индикатором геоэкологического состояния воздушного бассейна и источником поступления экотоксикантов в поверхностные и частично в подземные воды промышленно-селитебных территорий [125, 129, 130, 133].

Одним из определяемых по снегу показателей состояния воздушного бассейна в районе г. Горно-Алтайска является пылевая нагрузка, которая в сезоне 2015-2016 гг. отвечала в основном уровню фоновой (до 100 кг·км²/сут.) и частично низкой (100-250 кг·км²/сут.) нагрузки. Повышенный уровень запыленности (>250 кг·км²/сут.) отмечен только на локальном участке м/р Водмелиорация (рис. 8). Средняя величина нагрузки в 2016 г. снижалась в ряду: Горно-Алтайск (74), Майма (61), Кызыл-Озек (56), Карлушка (37), Алферово (23 кг·км²/сут.).

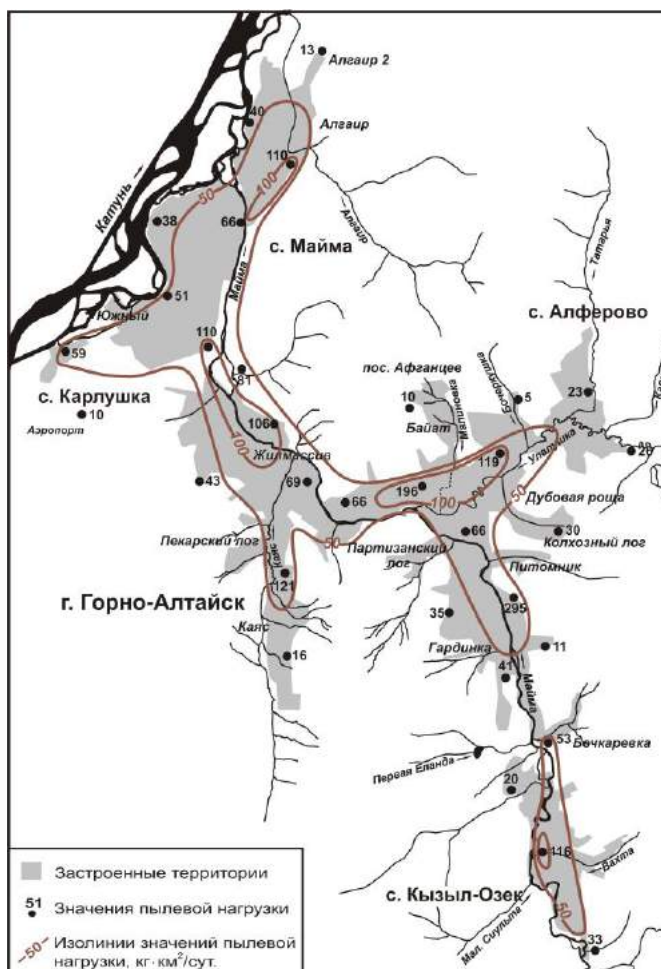


Рисунок 8 – Запыленность агломерации г. Горно-Алтайска в 2015-2016 гг.

Отмеченные уровни пылевой нагрузки в целом адекватно отражают современное экологическое состояние приземной атмосферы на территории агломерации в зимний период. Следует отметить, что большого различия в уровне запыленности воздушного бассейна г. Горно-Алтайска и его пригородных сел в настоящее время не отмечается. Эта ситуация объясняется рядом факторов, в том числе переводом основных котельных города и Маймы на природный газ (снижение выбросов), общностью долин поверхностных водотоков (р. Майма) и главных автомагистралей (Чуйский тракт и его примыкания).

Анализ вклада антропогенных источников поступления твердых частиц (пыль, сажа, недожог) говорит о преобладающей роли выбросов работающих на угле котельных, частично печного отопления и транспорта, в загрязнении атмосферного воздуха агломерации, а также о ведущей роли в его пространственном распределении таких природных факторов как относительная высота местности, господствующее направление и сила ветров. Так, при сравнении пылевой нагрузки в декабре 2012 и марте 2013 г. установлено увеличение в более чем в 2 раза запыленности в конце зимы в восточной части города (рис. 9), что вероятно обусловлено метелевым переносом снега и выбросов западными ветрами [97].

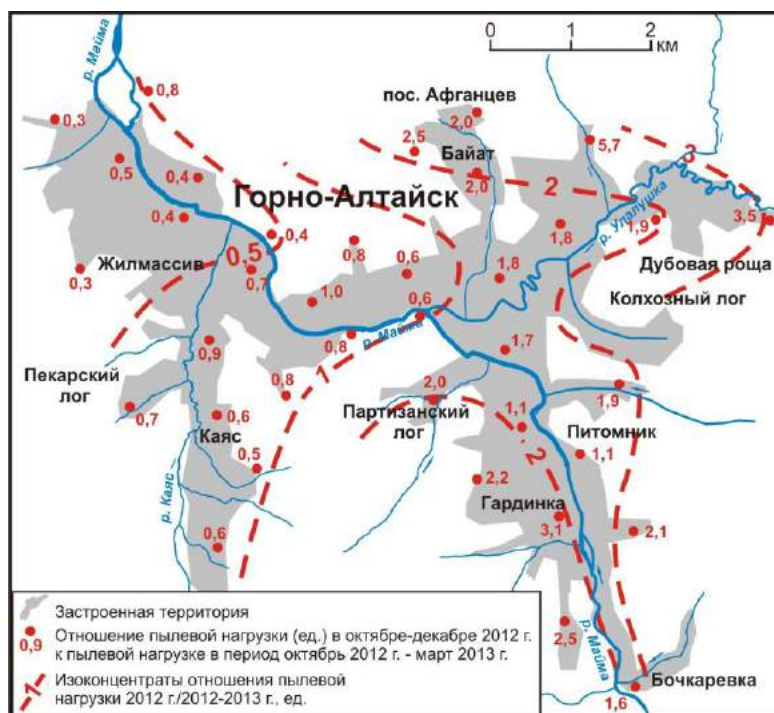


Рисунок 9 – Характер перераспределения пылевой нагрузки на территории г. Горно-Алтайска в отопительном сезоне 2012-2013 гг. [27]

Данные проведенного изучения атмосферных осадков в районе г. Горно-Алтайска говорят, как о близости, так и об отличии химического состава дождевой и снеготалой воды. Основные его различия проявлены в содержании щелочей, сульфатов, минерализации, ХПК и гидрохимического типа вод. Особенности усредненного химического состава снеготалой воды позволяют отнести ее к нейтральным, очень мягким (общая жесткость 0,05 мг-экв./дм³), ультрапресным природным водам трансформированного сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатного натриево-аммониево-кальциевого гидрохимического типа (табл. 9) [108].

Таблица 9 – Химический состав атмосферных осадков в районе Горно-Алтайска

Гидрохимический тип	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+K	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	ОМ	ХПК	ЖО
Дождевая вода, мг/дм ³ (n = 4)												
$\frac{HCO_3 41 SO_4 40 Cl 15 NO_2 4}{Ca 28 Mg 3 (Na + K) 60 NH_4 10}$	6,05	1,59	0,15	4,8	0,68	0,02	7,6	7,5	1,7	24,8	1,45	0,09
Снеготалая вода, мг/дм ³ (n = 50)												
$\frac{HCO_3 36 Cl 36 SO_4 21 NO_2 6}{Ca 43 NH_4 28 (Na + K) 25 Mg 4}$	6,60	1,62	0,08	1,1	0,95	0,08	4,0	1,8	2,3	12,9	4,17	0,04

При анализе распределения химического состава снеготалой воды в западной и центральной части г. Горно-Алтайска выявлена область повышенных значений pH (> 6,7 ед.), тяготеющая к основным автомагистралям и угольным котельным, выбросы которых способствуют подщелачиванию снеговой воды на 0,5-0,7 ед. за счет дополнительной эмиссии углеводородов и сажи (рис. 10).

Для пространственного распределения общей жесткости и окисляемости проявлена аналогичная картина, близкая к таковой для пылевой нагрузки. Области их повышенных в 1,5-3 раза значений совпадают с областями повышенной запыленности на территории агломерации (> 50-100 кг·км²/сут.).

Для близкого к вышеотмеченному распределению хлорид-иона в снеготалой воде характерна линейная полосовидная форма повышенных концентраций (> 5 мг/дм³). Их образование и форма объясняются обработкой песчано-соляной смесью основных автомагистралей агломерации в зимний период.

Отчетливо выраженная локализация и однотипный характер распределения пылевой нагрузки и показателей химического состава снеготалой воды свидетельствуют об едином источнике их повышенных значений. На это указывает и тот факт, что в пределах агломерации наибольший уровень трансформации

химического состава снеготалой воды проявлен в узлах концентрации угольных котельных и на наиболее загруженных транспортных магистралях [99].

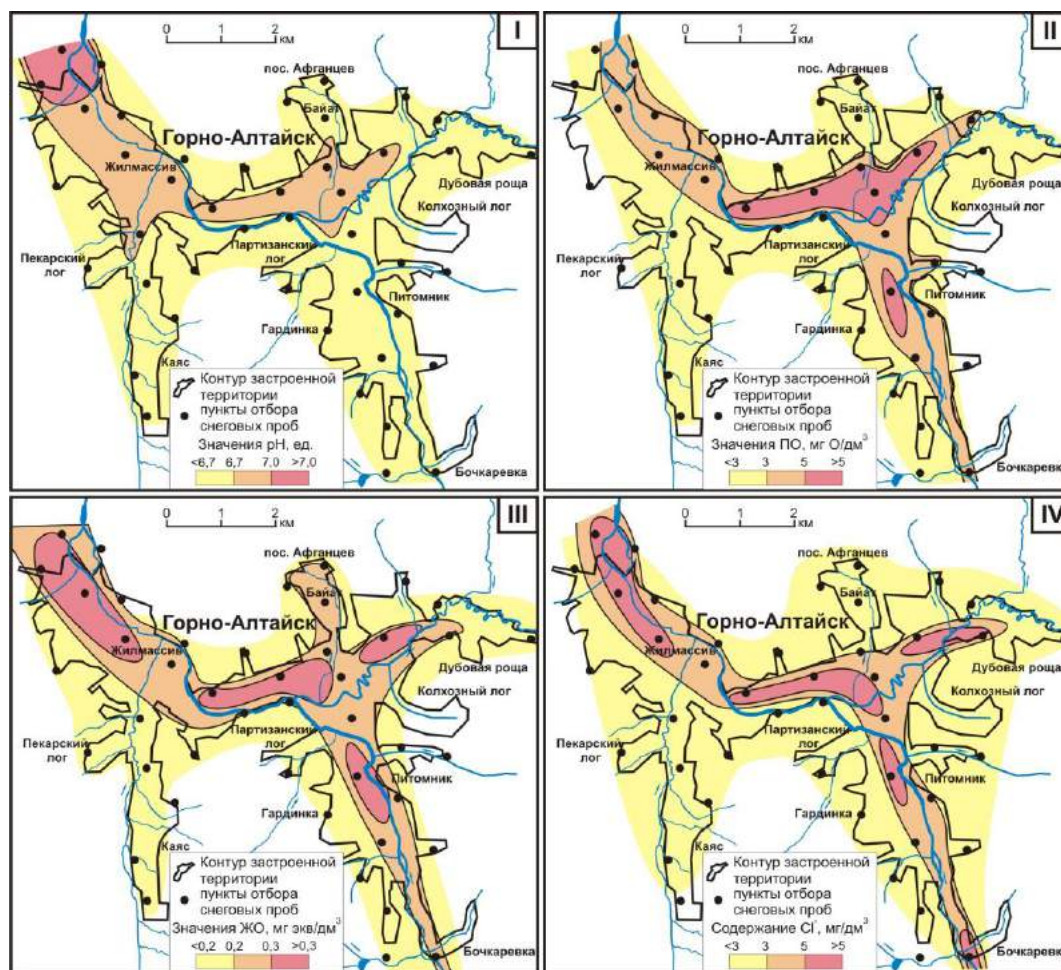


Рисунок 10 – Распределение рН (I), окисляемости (II), жесткости общей (III) и содержания хлорид-иона (IV) в снеготалой воде г. Горно-Алтайска

С этими же узлами тесно связаны очаги повышенных значений охарактеризованных выше показателей химического состава снеготалой воды, которые имеют очень тесные корреляционные связи как между собой, так и с пылевой нагрузкой (табл. 10), что также указывает на их общий источник – выбросы котельных и, в меньшей степени, транспортных средств.

Таблица 10 – Связи химического состава снеговой воды с пылевой нагрузкой (P_n) на территории агломерации г. Горно-Алтайска

P_n	рН	ОЖ	ХПК	Cl-	Показатели
1	0.55	0.77	0.26	0.63	P_n
	1	0.56	0.13	0.44	рН
		1	0.64	0.69	ОЖ
			1	0.48	ХПК
				1	Cl-

Выделены коэффициенты парной корреляции при уровне значимости 99 %

Содержание 49 изученных микроэлементов (МЭ) в снеготалой воде на территории г. Горно-Алтайска в целом заметно ниже, чем в "принимающих" их сток поверхностных водах. Среднее содержание практически всех МЭ, кроме алюминия и титана, выше местного фона в среднем в 2 раза (табл. 11).

Наибольшее превышение фона от 2 до 6,7 раз (в среднем в 3 раза) характерно для ассоциации МЭ с повышенно контрастным распределением (коэффициент вариации более 30%): Mn, Ba, Co, Cu, Zn, As, Sb, Cd, Sn, Mo, W, Bi. Большинство из этих МЭ, как было отмечено в разделе 3.2.2, относится к химическим элементам, образующимся при сжигании угля и работе автотранспорта.

Следует отметить, что среднее содержание отдельных МЭ (Mn, Cu, Zn) в 1,5-6,6 раза превышает ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов, к которым относится р. Майма – реципиент стока снеготалых вод.

Таблица 11 – Среднее содержание МЭ в снеговой воде в г. Горно-Алтайске

МЭ	Фон*	$\bar{x}$, мкг/дм ³	Ед. фона	МЭ	Фон*	$\bar{x}$, мкг/дм ³	Ед. фона
Li	0,06	0,08±0,03	1,3	<i>Cd</i>	0,04	0,098±0,07	2,4
Al	9,0	6,72±2,21	0,7	<i>Sn</i>	0,01	0,02±0,01	2,0
Ti	0,05	0,03±0,01	0,8	<i>Sb</i>	0,03	0,12±0,07	4,0
V	0,14	0,26±0,06	1,8	<i>Ba</i>	5,0	14,59±5,63	2,9
Cr	0,15	0,18±0,07	1,2	La	0,01	0,02±0,01	2,0
<i>Mn</i>	7,0	15,5±8,2	2,2	Ce	0,015	0,017±0,01	1,1
Fe	3,0	5,38±1,41	1,8	Pr	0,002	0,003±0,001	1,5
<i>Co</i>	0,05	0,11±0,04	2,2	Nd	0,008	0,011±0,007	1,4
Ni	0,2	0,25±0,07	1,2	Sm	0,003	0,005±0,005	1,7
<i>Cu</i>	2,0	6,62±3,51	3,3	Eu	0,001	0,0014±0,001	1,4
<i>Zn</i>	10,0	22,2±5,97	2,2	Er	0,002	0,003±0,002	1,5
As	0,15	1,12±1,06	6,7	Yb	0,0015	0,002±0,003	1,3
Rb	0,25	0,37±0,1	1,5	<i>W</i>	0,02	0,047±0,026	2,4
Sr	5,0	9,85±2,8	1,9	Pb	0,2	0,25±0,19	1,2
Y	0,01	0,02±0,02	2,0	<i>Bi</i>	0,002	0,004±0,003	2,0
<i>Mo</i>	0,03	0,07±0,9	2,3	U	0,003	0,005±0,004	1,7

* – местный фон; курсивом выделены МЭ с неравномерным распределением ($V > 30\%$), жирным шрифтом содержание МЭ превышающие ПДК для вод водоемов рыбохозяйственного назначения

Особенностью распределения МЭ в снеготалой воде на территории г. Горно-Алтайска является заметное различие их содержания в западной и восточной частях города. По величине этого отношения проявлен следующий убывающий в восточном направлении ряд МЭ: Te (>12), As (7,1), Sb (6,4), W (4,9), Li (3,1), Co (2,9), Cu (2,7), Mn (2,4), Pb (2,3), Cd (2,2), Zn (1,9), Sr (1,8), Ba, V (1,2), Ni (1,0), Cr (0,9), Al (0,7), РЗЭ (0,3-0,2). Градиенты изменения концентраций этих МЭ варьируются в пределах 0,1-2 ед. фона на 1 п. км.

Эта тенденция постепенного увеличения содержания МЭ в снеготалой воде в восточной части города аналогична по направленности и уровню превышения распределению пылевой нагрузки. Вероятной причиной ее возникновения является перенос содержащих МЭ аэрозолей ветрами западных румбов.

Аналогичные распределению МЭ в снеготалой воде особенности проявлены и для снеговой пыли. Среднее содержание в ней всех изученных МЭ выше местного фона в 1,1-3,5 раза, в среднем в 1,6 раза. Наибольшее превышение фона до 3,5 раз характерно для той же ассоциации МЭ с повышенно контрастным распределением: Mn, Co, Cu, Pb, As, Sr, Sb, Cd, Sn, Mo, W, Bi, Tl (табл. 12).

Таблица 12 – Параметры распределения МЭ в снеговой пыли на территории г. Горно-Алтайска, мг/кг

МЭ	Фон*	$\bar{x}$	V, %	Ед. фона	МЭ	Фон*	$\bar{x}$	V, %	Ед. фона
Li	30	31,0±2,9	9,2	1,0	Sn	9	20,5±3,9	30,0	2,3
Be	1,5	2,5±0,4	15,8	1,7	Sb	2,8	4,4±1,2	37,8	1,6
Al, г/кг	60	68,3±3,4	5,0	1,4	Ba	450	861±230	26,7	1,9
Sc	10	12,8±1,1	8,3	1,3	La	18	30,5±4,1	13,4	1,7
Ti, г/кг	2,2	2,81±0,21	7,3	1,3	Ce	37	58,5±5,2	9,0	1,6
V	70	81,3±5,9	7,2	1,2	Nd	17	26,3±2,4	9,0	1,6
Cr	50	55,8±9,7	17,3	1,1	Sm	3,5	5,3±0,4	8,0	1,5
Mn	550	597±180	30,2	1,1	Eu	0,8	1,1±0,2	15,1	1,4
Fe, г/кг	30	31,7±1,38	4,4	1,1	Gd	3,5	6,1±0,6	9,7	1,7
Co	15	21,5±4,2	19,5	1,4	Tb	0,5	0,8±0,1	9,1	1,6
Ni	50	54,7±10	18,3	1,1	Dy	2,8	4,2±0,4	8,5	1,5
Cu	90	101±31,2	30,9	1,1	Er	1,6	2,4±0,2	9,0	1,5
Zn	150	174±37,5	21,5	1,1	Tm	0,2	0,3±0,03	10,1	1,5
Ge	2,1	3,0±0,4	11,7	1,4	Yb	1,4	2,1±0,2	9,9	1,5
As	12,5	16,2±15	92,4	1,3	Lu	0,2	0,3±0,03	11,1	1,5
Rb	50	49,5±3	6,0	1,0	Hf	1,6	2,9±0,6	20,1	1,8
Sr	180	536±160,5	30,0	3,0	W	3,5	12,2±4,8	39,3	3,5
Y	15	21,9±2,8	12,7	1,5	Tl	0,3	0,7±0,3	44,2	2,3
Zr	60	119±23,3	19,5	2,0	Pb	80	103,7±62,7	60,4	1,3
Nb	8	9,5±2,8	29,5	1,2	Bi	0,6	0,95±0,36	37,9	1,6
Mo	1,8	3,5±0,8	32,9	1,9	Th	5,3	7,3±3,4	11,4	1,4
Cd	0,8	1,7±0,8	47,0	2,1	U	1,6	3,4±1,4	42,0	2,1

* – местный фон; жирным выделены МЭ с неравномерным распределением (V > 30%)

Полученных данных недостаточно для достоверной оценки пространственного распределения МЭ в снеговой пыли в районе г. Горно-Алтайска, однако не вызывает сомнения, что оно будет тождественно распределению в снеготалой воде, с которой их связывает общность депонирующей загрязнение среды. Предполагается, что области повышенных концентраций МЭ в снеговой пыли и снеготалой воде на территории агломерации совпадают между собой.

3.1.2 Оценка состояния приземной атмосферы по лишайникам

Известно, что лишайники успешно используются в биоиндикационных исследованиях антропогенного и естественного загрязнения приземной атмосферы [6, 13, 15, 51, 59, 104]. Автором на примере широко распространенных лишайников на шиферных кровлях сделана попытка выявить участки прошлого загрязнения атмосферного воздуха на территории агломерации г. Горно-Алтайска.

По литературным данным, характерными особенностями лишайников на искусственных "каменистоподобных" субстратах (бетон, кирпич, шифер и пр.) являются долголетие, медленный постоянный рост, аэральное питание, безбарьерное накопление поллютантов [13, 51, 59]. Это делает их чувствительным биоиндикатором состояния атмосферного воздуха и позволяет выделять зоны многолетнего загрязнения, особенно на урбанизированных территориях.

В разделе 1.3 отмечено, что объектом изучения служили шиферные крыши одноэтажных домов и надворных построек со временем эксплуатации 40-60 лет. Всего на территории агломерации было взято 28 образцов доминирующего лишайника *Caloplaca* sp., представленного мелкими (до 0,5 мм) накипными агрегатами зеленовато-желтого цвета толщиной до 1-2 мм.

В появлении и развитии лишайников на шифере построек агломерации можно выделить три основные стадии. В первую из них на гребнях волн листов шифера появляются темные пятна, во вторую стадию на их месте развивается лишайник *Caloplaca* sp. (накипная), в третью – среди его скоплений появляется красновато-оранжевые розетки *Xantoria* sp. (лопастная) (рис. 11).

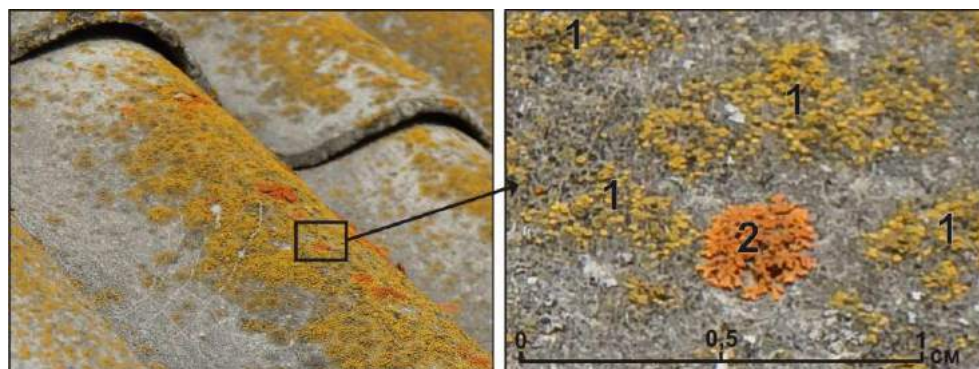


Рисунок 11 – Лишайники: 1. *Caloplaca* sp. (накипная), 2. *Xantoria* sp. (лопастная)

Среднее содержание химических элементов (более 10 мг/кг) в лишайнике *Caloplaca* sp. убывает в ряду: Ba, Zn, Cr, Ce, Rb, Br, La, Nd, а в субстрате-шифере в ряду: Ba, Cr, Zn, As, Ce, Ca, Co. При внешнем сходстве этих рядов, есть и заметные различия, выражающиеся в отношении среднего содержания МЭ в лишайнике и в шифере. Содержание большинства микроэлементов превалирует в лишайнике, кроме Fe, Ca, Cr, Co, As, Sb, Ba. При этом наибольшие, более чем трехкратные различия между ними (по модулю) проявлены для Ca, Sb, As, Cs, Na, Rb, Br (табл. 13).

Установлено, что распределение микроэлементов в лишайнике *Caloplaca* sp. характеризуется низкой и умеренной вариабельностью, небольшим превышением местного фона (1,8-5,7 раз при среднем 2,5 раза) и значительным на 3-4 порядка превышением их кларков в биосфере, кроме околоскларковых концентраций кальция, натрия и железа.

Таблица 13 – Содержание МЭ в лишайнике *Caloplaca* sp. и в шифере, мг/кг

МЭ	Лишайник <i>Caloplaca</i> sp. (накипная)				Кс*, ед	Кк**, ед.	Шифер (субстрат)		$\bar{x}_л/\bar{x}_ш$, ед.
	фон	max	$\bar{x}$	V, %			max	$\bar{x}$	
Ba	120	492,7	271,7	27	2,3	75472	798,8	538,6	0,50
Zn	80	521,5	169,7	57	2,1	36891	359,1	158,7	1,07
Cr	30	235,0	78,7	52	2,6	15734	298,6	211,0	0,37
Ce	10	71,5	27,0	42	2,7	8993	22,4	18,5	1,46
Rb	10	37,6	23,6	22	2,4	7167	10,6	4,51	5,23
Br	7	31,0	19,2	32	2,7	7385	2,84	2,50	7,68
La	5	22,9	12,0	30	2,4	12000	10,9	8,67	1,38
Co	4	17,2	9,46	28	2,4	4300	16,3	14,5	0,65
As	4	16,4	8,26	33	2,0	27533	42,0	26,5	0,31
Th	1,5	4,78	3,01	27	2,0	3762	2,50	2,00	1,50
Hf	0,5	6,44	2,24	50	4,5	11200	1,37	1,02	2,20
Fe	1	2,96	1,83	27	1,8	0,8	2,37	2,28	0,80
U	0,5	2,66	1,38	37	2,8	6900	1,60	1,39	1,00
Ca	0,7	2,33	1,28	25	1,8	0,8	19,7	17,0	0,08
Cs	0,5	1,77	1,27	23	2,5	2117	0,81	0,35	3,63
Sb	0,2	2,96	1,14	54	5,7	45640	14,5	4,64	0,24
Na	0,1	1,28	0,51	62	5,1	0,3	0,11	0,09	5,67
Ta	0,1	0,78	0,41	51	4,1	2050	0,37	0,14	2,93
Sm	1	4,74	2,61	29	2,6	–	1,93	1,73	1,51
Lu	0,1	0,29	0,18	27	1,8	4500	0,14	0,12	1,5
Yb	0,5	2,14	1,24	28	2,5	6200	1,08	0,96	1,3
Nd	5	25,18	11,42	43	2,3	–	10,11	8,35	1,12
Tb	0,1	0,69	0,35	39	3,5	–	0,35	0,23	1,52
Sc	3	10,54	5,57	31	1,8	7957	5,12	4,38	1,27
Eu	0,2	0,95	0,46	34	2,3	–	0,41	0,34	1,35

* – содержание относительно местного фона, ** – то же относительно кларка элемента в биосфере [34]

Анализ распределения элементного состава лишайника *Caloplaca* sp. в пределах населенных пунктов агломерации показал, что максимальное содержание большинства МЭ проявлено на территории г. Горно-Алтайска и в подчиненном количестве на площади сопредельного с городом с. Алферово (табл. 14). Так, среднее значение коэффициента соответствия (величины превышения местного фона) для всех изученных МЭ увеличивается в ряду населенных пунктов: с. Кызыл-Озек (2,1) – с. Майма (2,5) – с. Алферово (3,0) – г. Горно-Алтайск (3,4).

Таблица 14 – Параметры распределение МЭ в лишайнике *Caloplaca* sp. (мг/кг) на территории агломерации г. Горно-Алтайска

МЭ	с. Майма (n=10)		г. Горно-Алтайск (n=13)		с. Алфёрово (n=2)		с. Кызыл-Озек (n=3)	
	max	$\bar{x}$	max	$\bar{x}$	max	$\bar{x}$	max	$\bar{x}$
Ba	319,1	241,5	492,7	309,8	231,0	209,6	273,4	225,4
Zn	364,5	167,0	521,5	200,1	102,3	101,2	118,1	108,1
Cr	84,5	55,7	235,0	102,9	64,5	62,8	102,8	62,1
Ce	29,2	20,7	71,5	33,3	30,8	30,2	20,9	18,3
Rb	32,6	22,2	37,6	24,8	29,0	27,6	22,2	20,8
Br	27,3	18,2	31,0	20,0	23,1	21,8	24,0	19,9
Co	9,56	7,80	17,2	11,4	9,83	9,53	7,07	6,71
As	9,59	6,94	16,4	9,61	7,12	6,35	5,89	5,63
Th	3,52	2,51	4,78	3,52	3,48	3,46	2,53	2,26
Hf	2,51	1,74	6,44	2,74	2,66	2,65	1,55	1,42
Fe	1,93	1,51	2,96	2,16	2,01	1,94	1,37	1,32
U	2,03	1,39	2,66	1,41	1,80	1,71	1,24	1,01
Ca	1,54	1,14	2,33	1,44	1,18	1,09	1,46	1,09
Cs	1,61	1,29	1,77	1,22	1,74	1,66	1,57	1,25
Sb	1,47	0,89	2,96	1,57	0,73	0,63	0,84	0,59
Na	1,16	0,46	1,28	0,60	0,44	0,43	0,66	0,37
Ta	0,52	0,31	0,78	0,50	0,49	0,48	0,47	0,30
Sm	2,67	2,15	4,74	3,03	2,87	2,77	2,05	1,83
Lu	0,19	0,15	0,3	0,21	0,22	0,21	0,15	0,13
Yb	1,47	1,05	2,15	1,43	1,52	1,47	1,09	0,96
Nd	14,67	10,04	25,18	13,24	13,39	12,05	9,86	7,87
Tb	0,46	0,29	0,69	0,41	0,66	0,47	0,37	0,28
Sc	5,89	4,61	10,54	6,56	6,59	6,39	4,40	3,81
Eu	0,54	0,41	0,96	0,53	0,57	0,55	0,35	0,29

Жирным выделены наибольшие средние концентрации МЭ в ряду населенных пунктов агломерации

Подобная ситуация объясняется локализацией на территории города основных источников антропогенного воздействия на окружающую среду (котельных, автотранспорта) и доминирующим ветровым переносом их выбросов в восточном направлении в сторону с. Алферово [100].

Большинство изученных МЭ в лишайнике *Caloplaca* sp. имеют между собой тесные (на уровне более 95%) положительные связи, доля которых превы-

шает 50% от их общего числа. Наиболее устойчивые связи характерны для ассоциации элементов As, Sb, Cr, Zn, Ba, Br, Co, Fe, U, РЗЭ (табл. 15). Среднее содержание этой группы МЭ в лишайнике заметно ниже, чем в шифере (кроме цинка, урана, брома и РЗЭ). Исключением является пониженное число связей для натрия, хрома, брома, цезия и отсутствие значимых связей для золота.

Таблица 15 – Корреляционные связи МЭ в лишайнике *Caloplaca* sp. и в шифере

Ba	Zn	Cr	Rb	Br	Co	As	Sb	Fe	Na	Ca	Cs	Hf	Th	U	РЗЭ
Число положительных значимых корреляционных связей между МЭ в лишайнике, %															
81	35	19	50	12	73	50	58	80	0	54	23	73	81	50	70
Число отрицательных значимых корреляционных связей между МЭ в лишайнике и в шифере, %															
69	81	62	88	62	88	69	69	72	23	42	75	61	62	62	80

Анализ корреляционных связей между МЭ в сопряженных пробах лишайника *Caloplaca* sp. и в шифере показал, что основная их часть имеет близкий к значимому уровень и отрицательный знак, проявленный как для связей разных МЭ, так и для связи отдельных микроэлементов в лишайнике и в шифере. Доля отрицательных связей между МЭ в таких сопряженных пробах, как правило, превышает 60% от их общего количества, кроме натрия (23%) и кальция (42%). Эти данные согласуются с представлениями [15], что для лишайников, развивающихся на бедных МЭ субстратах, характерен более высокий уровень их аккумуляции, чем для тех, которые росли на богатых ими субстратах.

Между числом значимых корреляционных связей МЭ в лишайнике *Caloplaca* sp. и их числом в сопряженных пробах лишайника и шифера проявлена зависимость, выражающаяся в том, что первое из них увеличивается по мере нарастания числа отрицательных связей МЭ в лишайнике и в шифере. Примечательно, что наименьший уровень связей МЭ в лишайнике характерен для наиболее "летучих" из них – бром, цезий и др. [34].

Доминирующий "противофазный" характер концентраций МЭ в лишайнике относительно их содержания в шифере-субстрате наглядно виден при сравнении их средних концентраций. Иными словами, чем выше "антагонизм" МЭ в лишайнике и субстрате, тем выше уровень прямых связей между МЭ в лишайнике.

Это обстоятельство предположительно указывает на:

- почти полное отсутствие поступления МЭ из шифера в лишайник;
- преобладающее поступление МЭ в лишайник из атмосферного воздуха;
- тесную связь МЭ в лишайнике из-за их поступления от общего источника.

Сопоставление среднего содержания МЭ в лишайнике *Caloplaca* sp. и в углях Кузнецкого бассейна [3], которые в основном использовались и используются в котельных агломерации, показало их близкий характер (рис. 12). В пользу "угольной" природы загрязнения, фиксируемого лишайником, говорит и тот факт, что убывающий ряд концентраций МЭ, а также их отношений в нем (Th/U, Rb/Cs и др.) почти идентичен ряду их содержания в кузнецком угле. Отдельные небольшие различия в рядах предположительно обусловлены частичным использованием бурых углей Канско-Ачинского бассейна [100].

Можно предполагать, что основным источником поступления изученных МЭ (главным образом, ассоциации As, Sb, Cr, Zn, Ba, Br, Co, Fe, U, РЗЭ) в лишайник *Caloplaca* sp. на шиферных крышах на территории агломерации являлись пылеаэрозольные выбросы, а также сажа и недожог угольных котельных в относительно недалеком прошлом (10-50 лет назад).

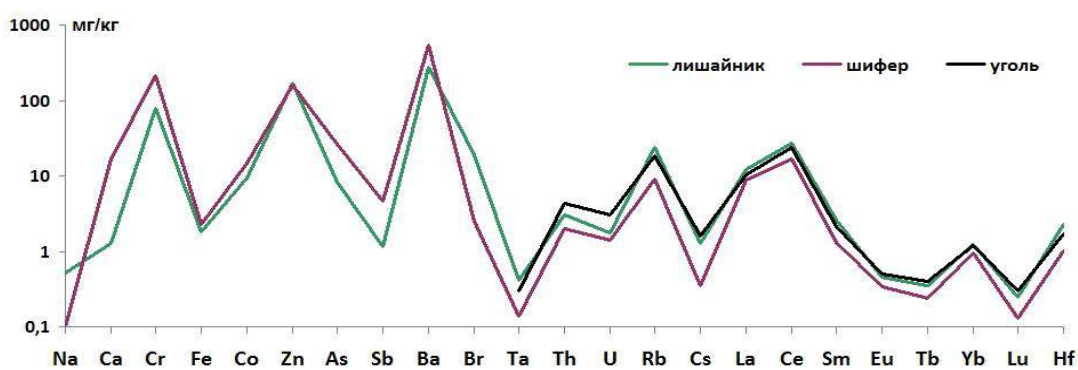


Рисунок 12 – Средние концентрации МЭ в лишайнике *Caloplaca* sp., шифере-субстрате и "кузнецком" угле по [3]

Предварительно установлено, что распределение на территории агломерации МЭ в лишайнике *Caloplaca* sp. имеет однотипный характер. Выявлены две области повышенного содержания большинства МЭ в лишайнике, основная из которых охватывает центральную и восточную части города, а второстепен-

ная – центр с. Майма (район разъезда). Ореолы отдельных "летучих" МЭ (бром, цезий и др.) локализованы в восточной части агломерации (рис. 13).

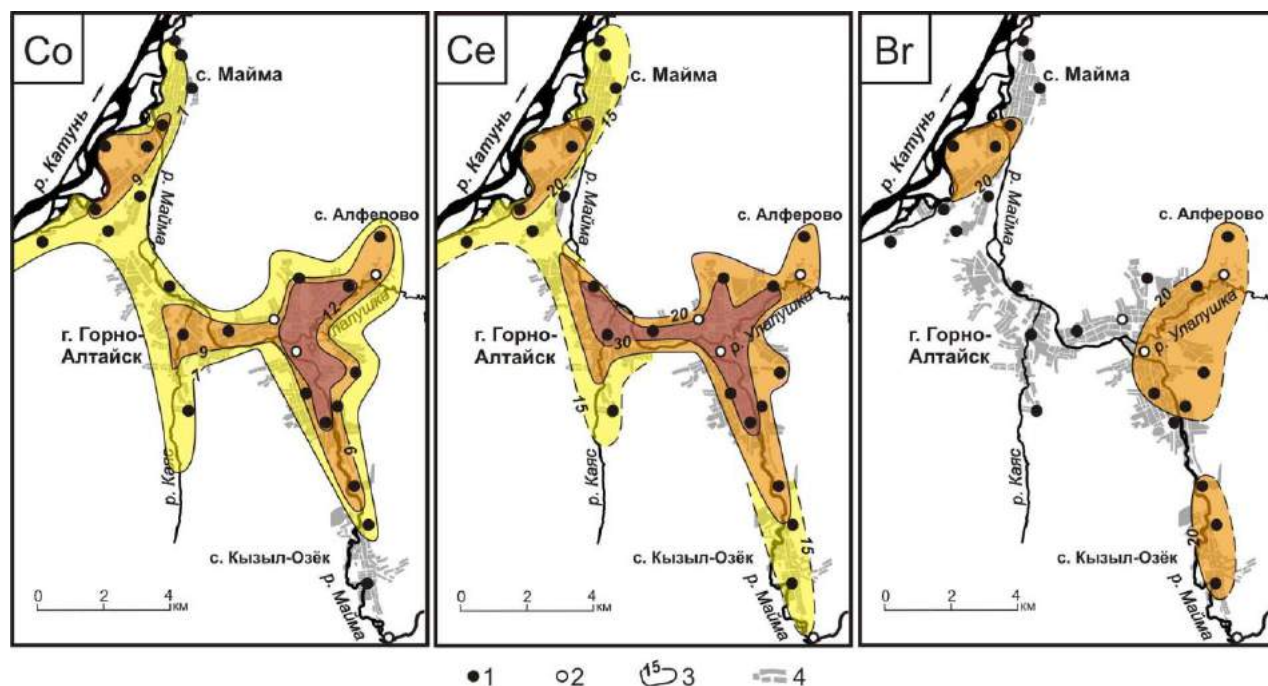


Рисунок 13 – Характер распределения микроэлементов (МЭ) в лишайнике *Caloplaca* sp. на территории агломерации г. Горно-Алтайска
1,2 – пункты опробования лишайника (1), лишайника и шифера (2); 3 – изоконцентраты МЭ, мг/кг; 4 – застроенная территория агломерации г. Горно-Алтайска

На основании приведенных данных можно сделать следующие выводы:

- элементный состав доминирующего на шифере эпилитного лишайника *Caloplaca* sp. в пределах агломерации г. Горно-Алтайска представлен в основном ассоциацией микроэлементов (As, Sb, Cr, Zn, Ba, Br, Co, Fe, U, РЗЭ), содержащихся в выбросах котельных, работающих на кузнецких углях;
- для ассоциации "угольных" МЭ в лишайнике *Caloplaca* sp. проявлены ясно выраженные обратные связи с их содержанием в шифере, указывающие на преобладающее поступление этих МЭ в лишайник из атмосферного воздуха;
- области повышенных концентраций вышеотмеченной ассоциации МЭ в лишайнике *Caloplaca* sp. пространственно совпадают с прошлыми очагами высокой пылевой нагрузки на территории агломерации г. Горно-Алтайска. При этом максимальное содержание МЭ в лишайнике проявлено на площади г. Горно-Алтайска и частично на смежной подветренной части с. Алферово.

3.2 Почвы

Геоэкологические последствия антропогенных нагрузок проявляются, как правило, во всех природных средах, но особенно полно в составе и свойствах почв [58]. Известно [107], что почвенный покров наиболее информативная среда для изучения антропогенного воздействия, а уровни и тенденции изменения их физико-химических свойств (ФХС), а также элементного состава являются индикаторами интенсивности и специфики этого воздействия.

3.2.1 Физико-химические свойства почв

Предыдущими работами отмечено, что антропогенные изменения почв на территории агломерации г. Горно-Алтайска носят комплексный характер, сопровождаются заметной трансформацией ФХС преобладающих лугово-черноземных почв и сопровождаются загрязнением тяжелыми металлами [55-56, 132].

В процессе настоящего исследования были проведены дополнительные измерения и определения физико-химических свойств почв – pH водного, магнитной восприимчивости, содержания гумуса, карбонатов и физического песка. Это позволило уточнить уровни ФХС и тренды их изменения в зонах влияния основных источников антропогенного воздействия на территории агломерации.

Автором подтверждено наличие двух ясно выраженных тенденций в комплексном изменении ФХС почв агломерации при нарастании антропогенного воздействия, одна из которых проявлена в увеличении значений pH водного, карбонатности, магнитной восприимчивости, содержания физического песка, а другая – в уменьшении содержания гумуса в почвах и их емкости поглощения.

Выяснено, что амплитуда изменений ФХС почв агломерации составляет: для pH 2 ед.; для содержания физического песка до 55%; магнитной восприимчивости, карбонатности и емкости поглощения – 19, 11 и 8 раз соответственно.

Средние значения физико-химических свойств почв заметно выше их местного фона: pH на 1-2 ед., содержания физического песка в 1,2 раза, карбонатности и магнитной восприимчивости в 3,3-4,1 раза. Напротив, содержание гумуса в почвах и их емкость поглощения ниже в среднем на 10% (табл. 16).

Таблица 16 – Показатели физико-химических свойств почв агломерации [56]

Степень воздействия	pH, ед.	Физический песок, %	Карбонатность, %	æ, 10 ⁻⁵ ед.СИ	Гумус, %	ЕП, мг-экв/100 г
lim	6,8-8,9	57,8-89,7	1,4-15,3	40-760	4,2-15	11-88
mean	7,8±0,1	74,9±6,9	6,3±1,8	245±37	6,9±0,8	36,4±5,4
Местный фон	6,8	60	1,9	60	7,7	41
Кк, ед.	1,1	1,2	3,3	4,1	0,9	0,9

По мнению автора, высокоинформативными индикаторами накопленных изменений экологического состояния почв изученной территории являются pH их водной вытяжки и магнитная восприимчивость. Пространственное распределения значений pH свидетельствует о тяготении его повышенных значений (более 7-8 ед.) к наиболее урбанизированным частям агломерации, особенно к участкам основных автомагистралей и скоплениям котельных. Минимальные значения pH проявлены для почв на окраинах агломерации. Аналогичная ситуация присуща для распределения магнитной восприимчивости почв (рис. 14).

Эта ситуация объясняется увеличением pH почв при попадании в них углеродсодержащих выбросов котельных, отопительных печей и автотранспорта (частиц сажи, недожога угля, оксидов углерода, углеводородов), которые приводят к подщелачиванию слабо кислых почв (pH 5,5-6 ед.) в районе г. Горно-Алтайска и способствуют увеличению содержания в них карбонатов [55].

Увеличение магнитной восприимчивости почв агломерации связано с дополнительным поступлением (накоплением) в них ферромагнитных соединений элементов группы железа (железо, марганец, хром, ванадий, никель, кобальт), содержащихся в выбросах котельных, автотранспорта и пр.

Основные изменения гранулометрического состава антропогенно измененных почв агломерации относительно их исходного состояния заключаются в увеличении содержания крупной пыли и мелкого песка (фракций 1-0,25 и 0,25-0,05 мм) вследствие их массового поступления в зимний период. Характерно, что эти изменения не вызывают нарушений глинистого базиса почв.

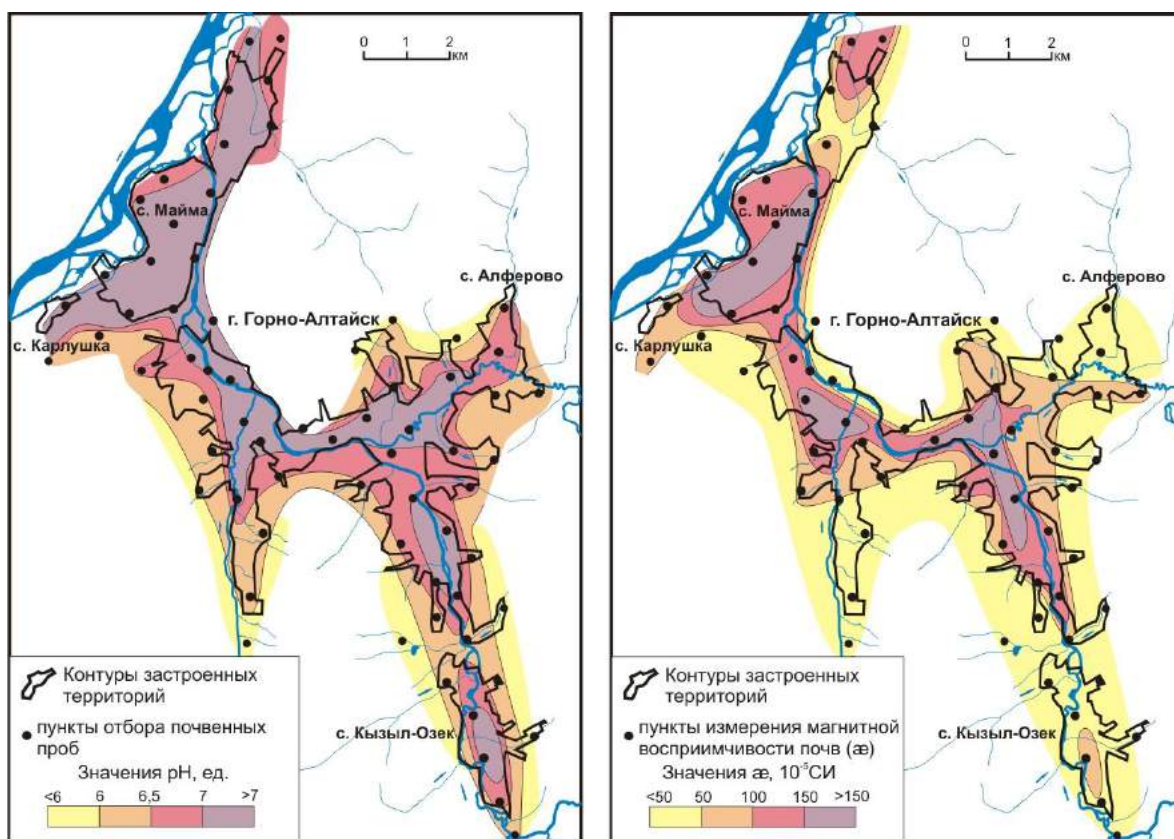


Рисунок 14 – Распределение pH водного (слева) и магнитной восприимчивости (справа) почв в районе г. Горно-Алтайска

Взаимосвязанный (комплексный) характер изменений физико-химических свойств почв и их деление на две группы по направленности этих изменений, находит свое подтверждение в очень тесных корреляционных связях между ФХС как целинных, так и пахотных почв агломерации (табл. 17). Величина этих связей усиливается при нарастании антропогенных нагрузок, в частности, при увеличении выбросов от основных источников в атмосферу.

Таблица 17 – Корреляционные связи ФХС целинных (вверху) и пахотных (внизу) почв на территории агломерации г. Горно-Алтайска [55]

Свойства	pH	гумус	ЕП	а	ФП	CaCO ₃
pH	1	-0,26	-0,39	0,40	0,34	0,59
гумус	-0,29	1	0,23	-0,19	-0,01	-0,14
ЕП	-0,50	0,52	1	-0,18	-0,11	-0,20
а	0,52	-0,60	-0,41	1	0,58	0,72
ФП	0,42	-0,94	-0,81	0,13	1	0,82
CaCO ₃	0,89	0,92	0,09	-0,42	0,13	1

Примечание: жирным выделены значимые коэффициенты корреляции при $r=0,95$

Предыдущими работами установлено [55], что интенсивность изменений изученного комплекса ФХС почв для основных источников антропогенного

воздействия нарастает в ряду: автодороги – котельные – автотранспортные предприятия, а также от слабой к сильной степени их воздействия (табл. 18).

Таблица 18 – Зависимость ФХС почв от степени антропогенного воздействия [55]

Показатели	Фон	Степень воздействия* основных антропогенных источников (число проб)								
		Автодороги			Котельные			Автопредприятия		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
рН водн., ед.	6,8	7,5	8,0	8,1	7,8	7,9	8,1	8,0	8,1	8,2
Гумус, %	7,7	7,5	7,2	5,3	9,0	9,4	9,7	6,8	6,7	5,7
ЕП, мг-экв/100г.	41	42,7	35,7	30,3	47,1	35,8	34,5	38,0	36,5	23,7
æ, 10 ⁻⁵ ед.СИ	60	151,5	172,8	184,3	188,1	211,7	258,2	95,7	195,6	218,3
Физ. песок, %	60	65,9	71,3	86,3	61,2	74,5	77,2	70,0	76,1	81,0
CaCO ₃ , %	1,9	4,4	5,5	7,0	5,2	6,2	7,2	5,0	7,3	9,6

* – степень воздействия: 1 – слабая, 2 – средняя, 3 – сильная; выделены максимальные значения ФХС

Латеральное распределение ФХС почв выяснено по их изменению при приближении к основным автомагистралям агломерации. Предварительно установлено, что их значения при приближении к полотну дорог заметно увеличиваются, кроме обратного поведения гумуса и емкости поглощения. Эта тенденция свойственна как целинным, так и пахотным почвам.

Для изученных ФХС почв на территории агломерации характерно уменьшение их значений с глубиной. При этом наибольшие различия отмечаются для верхнего слоя почв (0-10 см) и нижележащего слоя 10-20 см (рис. 15).

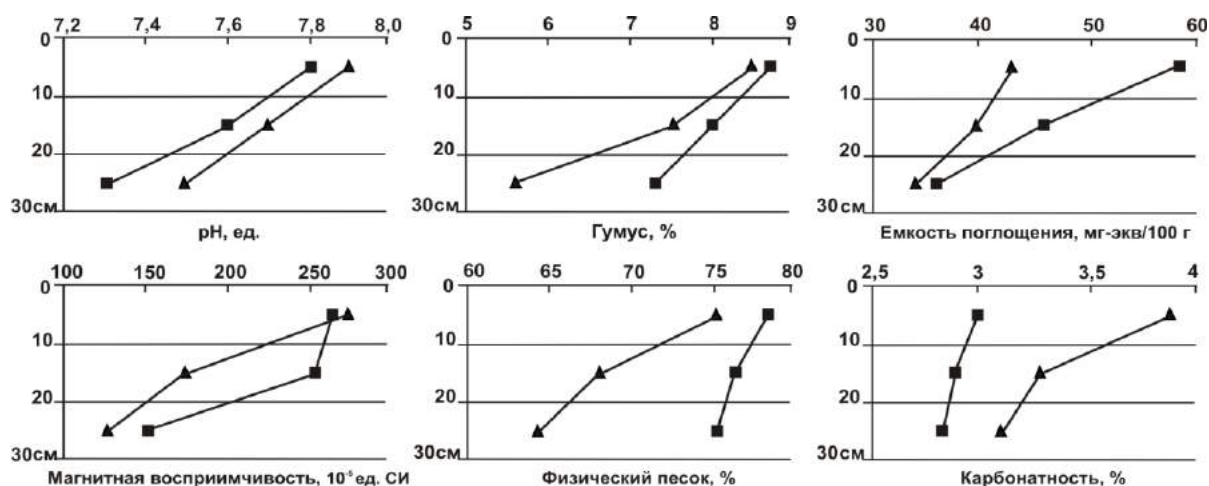


Рисунок 15 – Поведение ФХС в профиле почв агломерации г. Горно-Алтайска (треугольный пуансон – целинные почвы, квадратный – пахотные почвы)

Это позволяет считать, что основные последствия антропогенного воздействия на почвенный покров проявлены в верхней части профиля как целин-

ных, так и пахотных почв, но для последних уровни ФХС и амплитуда их изменений в целом ниже на 10-30%.

Контрастность различий значений ФХС почв в этих интервалах возрастает в ряду: рН водный – физический песок – содержание гумуса – емкость поглощения – карбонатность – магнитная восприимчивость, то есть тренды поведения изученных ФХС в почвенном профиле и по латерали в целом совпадают.

Таким образом, при нарастании антропогенного воздействия отчетливо проявляется тенденция увеличения рН, карбонатности, магнитной восприимчивости почв и содержания в них физического песка при одновременном уменьшении содержания гумуса и емкости поглощения почв агломерации. Предыдущими исследователями установлено, что с увеличением ФХС также происходит усиление загрязнения почв агломерации комплексом тяжелых металлов [55].

Имеющиеся данные позволили выделить следующие классы состояния изученных физико-химических свойств почв по степени антропогенного воздействия: условно фоновое, слабое, среднее, сильное. Для всех этих классов намечены интервалы значений ФХС (табл. 19).

Таблица 19 – Доля и классы значений ФХС почв агломерации г. Горно-Алтайска

Степень воздействия	рН, ед.	Физический песок, %	Карбонат- ность, %	а, 10 ⁻⁵ ед.СИ	Гумус, %	ЕП, мг-экв/100 г	Средняя доля, %
Классы значений физических и химических свойств почв							
Условно фоновая	< 7	< 55	< 1	< 100	> 11	> 60	
слабая	7-7,5	55-75	1-5	100-200	7-11	35-60	
средняя	7,5-8	75-85	5-8	200-300	5-7	20-35	
сильная	> 8	> 85	> 8	> 300	< 5	< 20	
Доля площади по степени антропогенных изменений комплекса ФХС, %							
Условно фоновая	6	6	5	13	11	9	8,3
слабая	24	53	33	48	60	48	44,4
средняя	57	29	56	26	18	32	36,3
сильная	13	12	6	13	11	11	11,0

Картографическим путем определена площадь агломерации с вышеотмеченными классами состояния ФХС почв. Для условно фоновых почв ее доля в пределах агломерации варьируется от 5 до 13% при среднем 8,3%, а для сильно измененных почв от 6 до 13% при среднем 11%.

Согласно полученным данным, на основной части агломерации преобладают слабые и средние изменения ФХС почв (44,4 и 36,3% соответственно).

3.2.2 Элементный состав почв

В предыдущем разделе было показано, что почвы являются наиболее информативным компонентом окружающей среды для изучения последствий многолетнего антропогенного воздействия на экосистемы урбанизированных территорий. Кроме охарактеризованных физико-химических свойств, чутким индикатором интенсивности и специфики этого воздействия выступает элементный состав почв, в том числе спектр и содержание в них тяжелых металлов [74, 115, 129, 131, 137, 140, 143- 145, 150].

По данным [88], для ведущих типов производства и хозяйственной деятельности на изученной территории характерны следующие специфические ассоциации химических элементов в почвах (табл. 20).

Таблица 20 – Химические элементы в почвах разных типов производств [107]

Типы производства	Ассоциации элементов
Автотранспорт	Pb, Hg, Sn, Ni, Cu, Ag, Mo, Cr, Cd
Сжигание угля	B, Pb, Mo, Be, Li, V, Ni, Cu, Zn, Ag, W
Агрохимизация	V, As, P, Sn, Y, Sr, Pb, Nb, Zn, Cu, Mo, B, Hg

Исследованиями 1990-х годов был установлен в целом низкий и умеренно повышенный уровень содержания в почвах района г. Горно-Алтайска большинства перечисленных химических элементов, в том числе тяжелых металлов, а в зонах влияния отдельных хозобъектов (районные котельные, автотранспортные предприятия и др.) отмечен высокий уровень загрязнения рядом ТМ [55].

После перевода в 2008-2010 гг. основных котельных на природный газ, выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников резко снизились, что способствовало снижению антропогенной нагрузки на изученной территории. Поэтому появилась необходимость в уточнении экологического состояния депонирующих загрязнение природных сред, в том числе почв агломерации [97].

Результаты проведенного исследования говорят об слабо повышенном содержании в почвах агломерации большинства изученных элементов, в том числе тяжелых металлов, и об их умеренно контрастном их распределении (коэффициенты вариации 18-64 %). Коэффициент концентрации ТМ варьируется в

пределах 1,2-2,6 ед. при среднем значении 1,7 ед. фона, а коэффициент загрязнения не превышает единицы, кроме цинка (до 1,2 ОДК).

Так, среднее содержание тяжелых металлов в почвах в целом незначительно (не более чем в 2 раза) превышает местный и региональный фон и в основном находится на уровне кларка почв по [34]. В разрезе населенных пунктов агломерации наибольшие средние концентрации ТМ проявлены в почвах с. Майма, частично, на территории г. Горно-Алтайска и с. Кызыл-Озек (табл. 21).

Таблица 21 – Среднее содержание ТМ в почвах населенных пунктов (мг/кг)

Тяжелые металлы	Кларк по [34]	Фон региона*	Местный фон	Горно-Алтайск	Майма	Кызыл-Озёк	Агломерация в целом
Хром	200	43	95	103	114	100	105
Ванадий	100	93	80	95	101	83	95
Марганец	850	925	650	756	750	771	756
Никель	40	25,2	40	45	58	40	48
Кобальт	10	12,3	10	16	17	17	17
Медь	20	30,9	30	45	46	36	44
Цинк	50	91	60	112	102	107	104
Свинец	10	15	10	19	19	18	19
Ртуть	0,06	0,07	0,04	0,066	0,052	0,044	0,060

* –горизонт А почв низкогорных ландшафтов Горного Алтая [80]

Анализ особенностей пространственного распределения изученных ТМ в почвах агломерации показал наличие в них двух отчетливо выраженных ассоциаций, первая из которых представлена преимущественно сидерофильными элементами группы железа (Fe, Ti, Mn, Cr, V, Ni, Co), а вторая – халькофильными элементами группы серы – Cu, Pb, Zn, Ag.

Особенностью второй ассоциации элементов является более высокая вариабельность содержания ($V = 37-64\%$), а также уровень концентрации в почвах ($K_c = 1,8-2,6$) и повышенные коэффициенты загрязнения ($K_z = 0,6-1,2$).

Геохимические различия этих групп элементов проявлены в их корреляционных связях. Элементы обеих групп имеют значимые положительные связи между собой и отрицательные связи с элементами другой группы (табл. 22). При этом элементы второй группы имеют положительные связи с пылевой нагрузкой зимнего периода, а элементы первой группы слабые отрицательные связи.

Это указывает на различные источники поступления этих групп элементов в почвы агломерации и на ведущую роль в настоящее время передвижных источников в их загрязнении тяжелыми металлами.

Таблица 22 – Корреляционные связи ТМ в почвах с пылевой нагрузкой (Р_п) на территории г. Горно-Алтайска

Fe	Ti	Mn	Cr	V	Ni	Co	Cu	Pb	Zn	Ag	Параметры
-0,28	-0,04	0,18	0,11	-0,02	-0,25	-0,10	0,42	0,15	0,22	0,24	Р _п
0,16	0,24	0,40	0,19	0,04	0,24	0,19	0,62	0,55	0,67	0,66	СПЗ почв
1,00	0,52	0,31	0,20	0,27	0,48	0,50	-0,06	-0,23	-0,16	-0,23	Fe
	1,00	0,67	0,54	0,16	0,46	0,42	-0,08	-0,21	-0,25	-0,27	Ti
		1,00	0,53	0,14	0,36	0,24	-0,06	-0,14	0,04	-0,02	Mn
			1,00	0,15	0,55	0,15	-0,12	-0,18	-0,20	-0,16	Cr
				1,00	0,45	0,60	-0,03	-0,22	-0,33	-0,18	V
					1,00	0,42	-0,21	-0,01	-0,22	-0,25	Ni
						1,00	0,02	-0,32	-0,22	-0,15	Co
							1,00	0,34	0,54	0,44	Cu
								1,00	0,43	0,44	Pb
									1,00	0,62	Zn
										1,00	Ag

n = 41

Выделены значимые коэффициенты корреляции при $p=0,95$

Более наглядно ассоциативность выделенных групп элементов видна в их пространственном распределении на территории г. Горно-Алтайска. Так, элементы второй группы (Cu, Pb, Zn, Ag) образуют умеренно контрастные литохимические ореолы рассеяния, приуроченные к застроенной части города в долине р. Майма. Локальные эпицентры этих ореолов с содержанием ТМ, превышающими ПДК (ОДК) для почв, отвечают центру города (пересечении пр. Коммунистический и ул. Ленина). Напротив, максимальные концентрации сидерофильных элементов проявлены для фоновых почв в бортах р. Майма, а днище ее долины характеризуется пониженным в 1,5-2 раза содержанием элементов этой ассоциации и их зональным распределением в почвах (рис. 16).

Распределение большинства других изученных химических элементов в почвах агломерации в целом имеет однотипный характер. Слабо повышенные концентрации большинства из них образуют два основных ореола, один из которых охватывает центр и промзону в с. Майма, а второй – центр г. Горно-Алтайска и его микрорайоны Каяс и Гардинка (рис. 17).

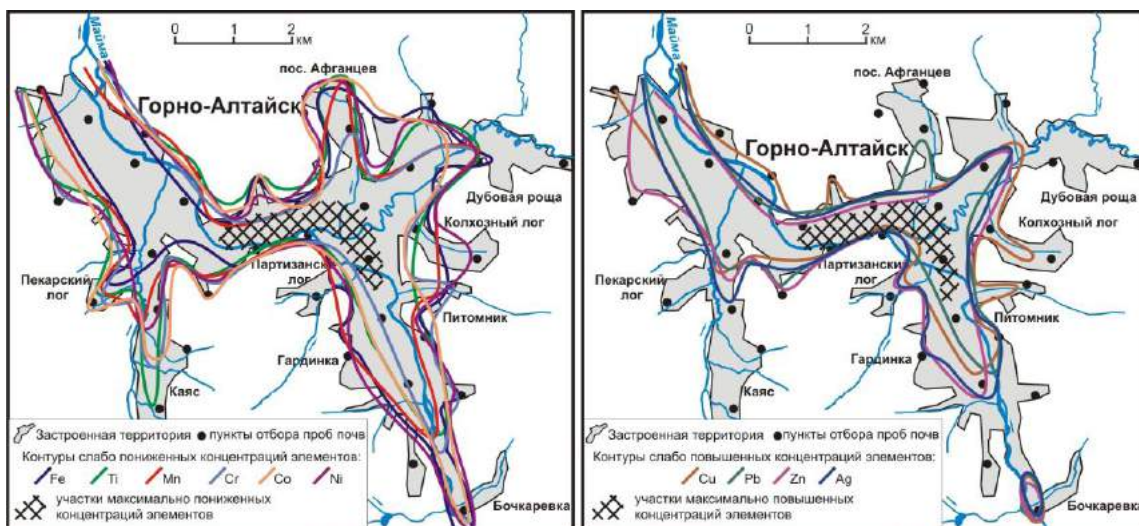


Рисунок 16 – Обобщенных ореолы рассеяния сидерофильных (слева) и халькофильных (справа) элементов в почвах г. Горно-Алтайска

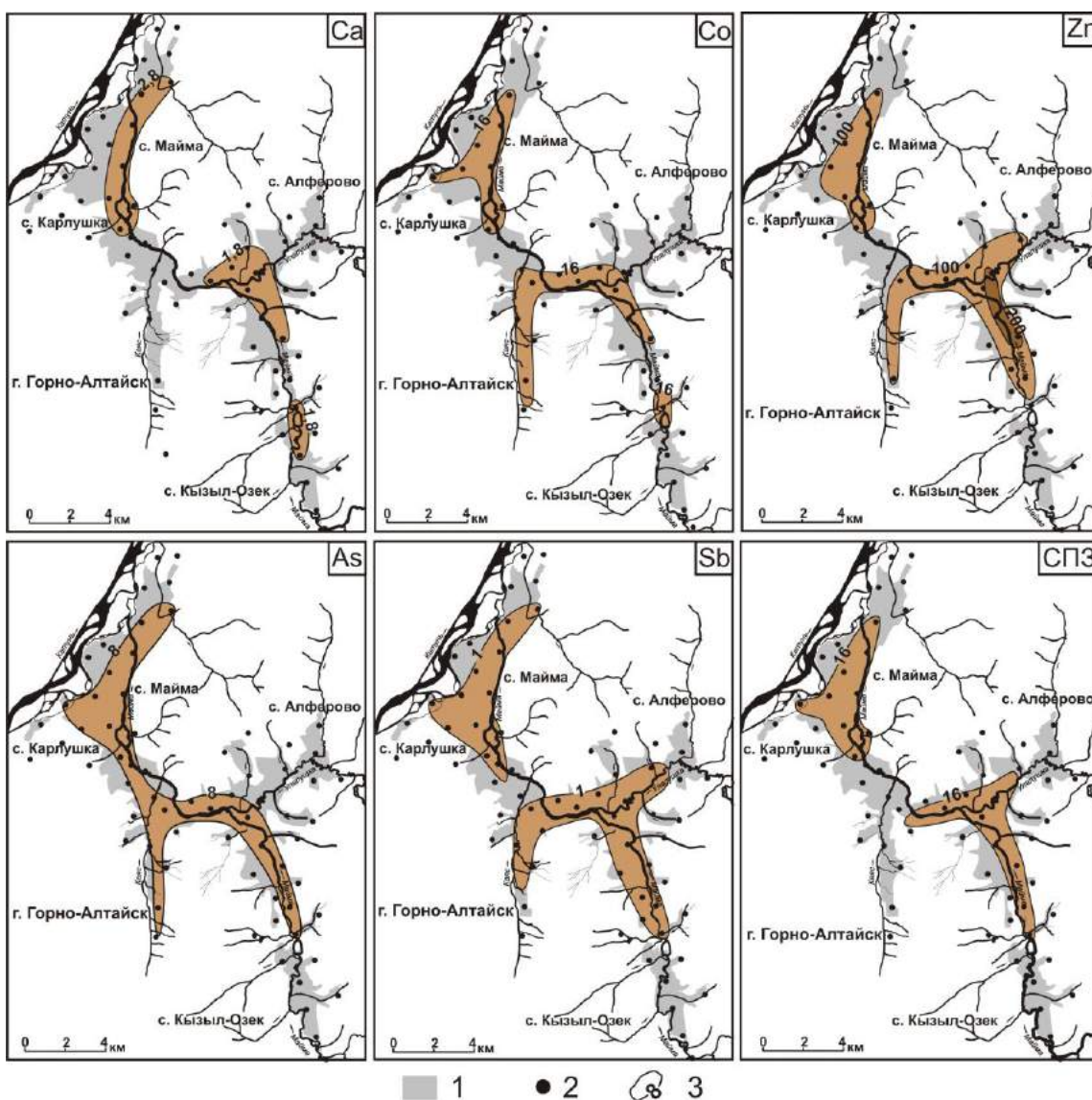


Рисунок 17 – Характер распределения элементного состава почв агломерации
1 – застроенная территория; 2 – пункты опробования, 3 – изоконцентраты химических элементов, мг/кг (Ca, вес.%). Подкрашены участки максимальных концентраций элементов.

Суммарный показатель загрязнения (СПЗ) почв агломерации находится в основном на низком уровне – от 6,6 до 23,7 ед. при среднем значении 14,4 ед. Установлено, что халькофильные ТМ вносят основной вклад в СПЗ почв – 31 до 69% при среднем значении 42%. Повышенные значения СПЗ (более 16 ед.) как и халькофильных ТМ проявлены в центре г. Горно-Алтайска и с. Майма.

Это указывает на ведущую роль в настоящее время передвижных источников в антропогенном загрязнении тяжелыми металлами почв города. В предыдущий "догазовый" период приоритетным загрязнителем почв ТМ являлись выбросы многочисленных (более сотни) котельных, работающих на угле.

Предыдущими работами установлено [55-56], что содержание ТМ в почвах агломерации увеличивается по мере роста антропогенного воздействия. Максимальные их концентрации проявлены на основных автомагистралях вблизи территорий скопления котельных или около районных котельных (табл. 23).

Таблица 23 – Содержание ТМ в почвах вблизи источников загрязнения на территории агломерации г. Горно-Алтайска, мг/кг [55]

Тяжелые металлы	автодороги			котельные			автодороги+котельные		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Хром	271	277	324	190	275	304	264	300	342
Ванадий	160	175	194	88	125	126	145	187	200
Марганец	655	664	764	608	625	660	500	672	723
Никель	57	63	65	50	53	55	56	60	62
Кобальт	15	15	16	9	10	13	15	16	16
Медь	47	59	65	41	58	58	41	50	65
Цинк	87	103	125	80	85	127	139	145	200
Свинец	19	24	26	18	40	50	20	30	45

Степень воздействия: 1 – слабая, 2 – средняя, 3 – сильная; выделено максимальное содержание ТМ

В 2005 г. вклад свинца в загрязнение почв города составлял 23,2% [55]. В настоящее время вклад свинца в СПЗ уменьшился до 10,2%.

Содержание ртути – другого ТМ 1-го класса опасности в почвах агломерации находятся на околофоновом уровне (менее 0,1 мг/кг) (табл. 24). Ее максимальное содержание в почвах (более 0,1 мг/кг) проявлено в центре города, а слабо повышенное (0,05-0,1 мг/кг) в центре сел Майма и Кызыл-Озек.

Таблица 24 – Содержание ртути в почвах агломерации г. Горно-Алтайска, мкг/кг

Содержание	Горно-Алтайск (n=13)	Майма (n=8)	Кызыл-Озек (n=4)	Агломерация (n=25)
min	30,6	38,1	34	30,6
max	121,6	77,6	85,8	121,6
mean	65,7	52,2	43,8	57,9

3.3 Поверхностные воды

Геоэкологическое состояние поверхностных вод охарактеризовано с учетом их связи с другими типами природных вод и атмосферных осадков, участвующих в их питании, т.е. грунтовых, дождевых и снеговых вод.

Установлено, что в районе средние значения показателей химического состава этих типов природных вод, нормированные на их содержание в дождевой воде, увеличиваются (кроме NH_4^+ и ХПК) в ряду: атмосферные осадки – поверхностные воды – грунтовые воды (табл. 25). Это обстоятельство указывает на их тесную взаимосвязь, обусловленную совершенной связью, в том числе гидравлической, между атмосферными осадками, поверхностным и грунтовым стоком на территории агломерации г. Горно-Алтайска.

Таблица 25 – Химический состав природных вод относительно дождевой воды, ед.

Природные воды	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}+\text{K}$	NH_4^+	NO_2^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	ОМ	ХПК	ЖО
Снеготалая	1,0	0,6	0,1	1,4	4,0	0,5	0,2	1,4	0,5	1,0	0,4
Поверхностная	39,1	57,5	3,3	0,2	2,5	31,8	1,8	3,2	14,4	2,0	42,3
Грунтовая	59,8	75,3	5,8	0,1	4,5	42,5	3,2	10,9	21,6	0,5	62,9

Выделены максимальные (жирным) и минимальные (курсивом) значения показателей

Вышеотмеченный ряд природных вод в целом повторяется и в их гидрохимических типах. Рассчитанные массовые доли основных катионов и анионов закономерно увеличиваются (кальций, магний, гидрокарбонаты) или уменьшаются (щелочи, сульфаты, хлориды) в следующем ряду вод: дождевая – снеготалая – поверхностная – грунтовая (табл. 26, рис. 18).

Таблица 26 – Массовая доля катионов-анионов в осадках и природных водах, %

Типы природных вод	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^++K^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-
Дождевая	25,3	2,7	63,7	38,0	43,0	16,7	2,3
Снеготалая	42,7	3,5	25,3	36,2	21,0	36,5	5,7
Поверхностная	68,5	15,9	15,4	88,3	6,8	3,1	2,0
Грунтовая	68,2	13,9	17,7	79,1	7,1	6,7	7,1

Выделены максимальные (жирным) и минимальные (курсивом) значения показателей

Таким образом, гидрохимические типы характеризуемых природных вод в районе г. Горно-Алтайска варьируются в диапазоне от хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатных кальциево-натриевых (дождевая вода) до хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатных магниевых-натриево-кальциевых (грунтовые воды).

Расчет покомпонентного долевого участия атмосферных осадков и грунтовых вод, питающих поверхностный сток бассейна р. Майма показал, что вклад основных из них варьируется от 16 до 75 % и среднем составляет около 50 %. В частности, доля грунтового питания водотоков агломерации в летнюю межень составляет около половины (табл. 27).

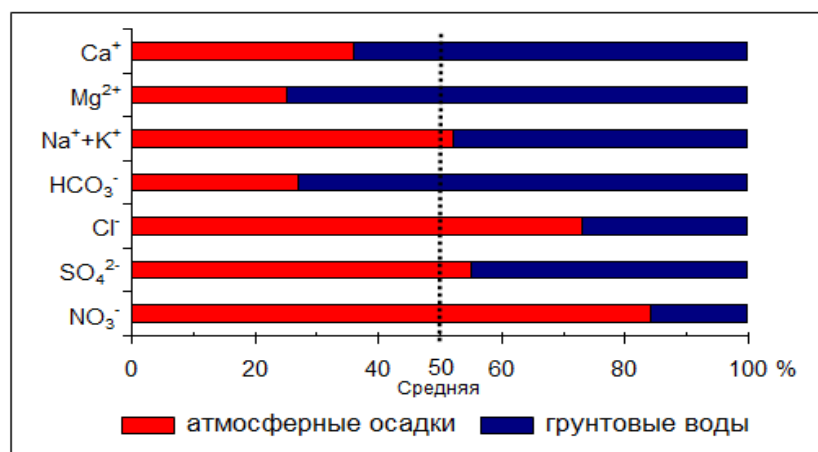


Рисунок 18 – Типы и доля питания воды р. Майма в летнюю межень

На значительную роль грунтовых вод в питании поверхностного руслового стока в районе указывают близкий характер и большое число значимых связей между показателями солевого состава этих сопряженных типов вод. Это указывает на преемственность в речном стоке особенностей химического состава грунтовых вод, питающих их на всем протяжении водотоков.

Таблица 27 – Корреляционные связи показателей химического состава поверхностных (вверху) и грунтовых (внизу) вод в районе г. Горно-Алтайска

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	ОМ	ОЖ	ХПК	n=20
1,00	-0,43	-0,30	-0,57	-0,34	-0,34	-0,71	-0,75	-0,44	-0,41	-0,44	-0,43	-0,41	-0,03	pH
-0,41	1,00	0,84	0,84	0,12	0,98	0,53	0,53	0,32	0,49	0,49	0,99	0,99	-0,19	Ca ²⁺
-0,07	0,35	1,00	0,67	0,17	0,86	0,54	0,43	0,30	0,57	0,31	0,87	0,89	-0,21	Mg ²⁺
-0,54	0,59	0,06	1,00	0,33	0,83	0,65	0,73	0,28	0,40	0,47	0,87	0,83	-0,03	Na ⁺ +K ⁺
0,24	-0,05	-0,11	-0,03	1,00	0,08	0,47	0,46	0,38	0,31	0,15	0,15	0,13	0,38	NH ₄ ⁺
-0,35	0,91	0,52	0,62	-0,12	1,00	0,43	0,43	0,23	0,40	0,40	0,99	0,99	-0,22	HCO ₃ ⁻
-0,51	0,77	0,31	0,59	0,11	0,60	1,00	0,84	0,58	0,82	0,56	0,55	0,55	0,02	SO ₄ ²⁻
-0,40	0,74	0,18	0,69	0,10	0,59	0,64	1,00	0,44	0,51	0,50	0,54	0,53	0,16	Cl ⁻
0,28	-0,02	-0,12	-0,07	0,99	-0,10	0,12	0,06	1,00	0,74	0,66	0,32	0,33	-0,02	NO ₂ ⁻
-0,47	0,76	0,36	0,52	-0,09	0,57	0,80	0,63	-0,04	1,00	0,64	0,50	0,52	-0,12	NO ₃ ⁻
-0,18	0,05	0,01	0,23	0,39	-0,02	0,31	0,19	0,36	0,20	1,00	0,47	0,47	0,32	PO ₄ ³⁻
-0,45	0,97	0,47	0,70	-0,07	0,95	0,78	0,74	-0,06	0,77	0,09	1,00	0,99	-0,19	ОМ
-0,38	0,98	0,55	0,54	-0,07	0,94	0,76	0,70	-0,05	0,77	0,05	0,98	1,00	-0,20	ОЖ
-0,21	0,16	-0,10	0,34	0,50	0,02	0,42	0,43	0,45	0,22	0,45	0,17	0,12	1,00	ХПК

Уровни корреляционных связей с вероятностью 95% (оранжевый цвет), 99% (красный цвет)

Полученные данные позволяют отнести поверхностные воды р. Майма и ее притоков к пресным (минерализация 150-450 мг/дм³), мягким (жесткость 0,8-4,6 мг-экв/дм³), нейтральным и слабощелочным (рН 7,0-8,2) водам гидрокарбонатного кальциевого типа, характерного для Горного Алтая.

Анализ макрокомпонентного (солевого) состава поверхностных вод показал наличие прямой связи между уровнем содержания всех изученных показателей воды и порядком водных объектов на территории агломерации. Установлено, что с нарастанием порядка водотоков (от 2-го к 4-му) содержание химических компонентов в воде увеличивается, при этом их наибольшие концентрации характерны для небольших ручьев – притоков р. Майма (табл. 28).

Таблица 28 – Состав поверхностных вод в районе г. Горно-Алтайска, мг/дм³

Реки (порядок)	рН	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+K	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	ОМ	ХПК	ЖО
Катунь (2)	8,32	21,5	4,2	8,0	0,02	0,01	87	11,8	1,9	137	1,36	1,42
Майма (3)	8,45	61,1	6,1	13,3	0,07	0,07	224	12,4	4,0	327	1,82	3,55
Притоки Маймы (4)	8,29	64,8	9,2	16,5	0,14	0,05	254	13,8	5,7	370	3,09	3,99

Другой чертой химического состава водотоков на территории агломерации является закономерное увеличение содержания большинства изученных макрокомпонентов от их истока к устью, что особенно характерно для воды притоков 4-го порядка, часть из которых полностью находится в пределах агломерации. Содержание компонентов в них близко к грунтовым водам, что указывает на их повышенную роль в питании мелких водотоков района.

Известно, что основная роль в поступлении химических веществ в речные воды принадлежит атмосферным осадкам, почвам и горным породам водосборных бассейнов [119]. Если состав осадков в районе в целом стабилен, то степень выноса веществ из горных пород зависит от ряда факторов – уровня их дезинтеграции, наличия кор выветривания, степени их промытости и др. [1]. Эти факторы в совокупности с низкими температурами воды, быстрым течением рек, маломощным почвенным профилем, слабым развитием органики, создают условия для формирования слабо минерализованного руслового стока [12, 48, 101].

Эти особенности природных условий в разной степени сказались на элементном составе речного стока в районе г. Горно-Алтайска. Содержание в реч-

ной воде большинства микроэлементов (87%) характеризуется неравномерным распределением ($V > 30\%$) и увеличивается от крупных рек к мелким. Так, в воде рек 2-3 порядков максимальные концентрации характерны для 20% изученных МЭ, то в воде их притоков 4-го порядка они составляют 80% (табл. 29).

Таблица 29 – Содержание МЭ в речной воде в районе г. Горно-Алтайска, мкг/дм³

МЭ	Фон*	Катунь	Майма	Каяс	Улала	МЭ	Фон*	Катунь	Майма	Каяс	Улала
Si	2240	3090	4290)	7650	5850	Sb	0,080	0,11	0,11	0,09	0,11
Al	52	205	76,3)	400	401	Rb	0,90	1,45	0,35	0,68	0,72
Ca	16200	25600	66700	55900	63400	Ba	13	14	19	26	32
Mg	284	434	617	984	926	Sr	66	145	260	240	270
Na	186	235	402	553	690	Zr	0,16	0,02	0,04	0,07	0,13
K	820	815	903	940	1870	Y	0,09	0,10	0,12	0,40	0,45
B	1,0	5,9	10,3	17,0	22,5	Nb	0,014	0,016	0,005	0,015	0,027
P	18	7,6	48,7	47	37	Sc	0,015	0,75	0,11	0,17	0,10
Li	0,83	1,5	1,4	2,0	2,3	Ga	0,02	0,08	0,03	0,12	0,12
Fe	0,16	0,46	0,16	0,51	0,66	Cd	0,023	0,008	0,006	0,011	0,012
Ti	1,4	12	1,9	7,7	7,6	Sn	0,028	0,030	0,037	0,004	0,008
V	0,22	0,78	0,84	1,90	1,90	Mo	0,53	0,75	0,48	0,50	0,38
Cr	1,8	1,9	0,4	1,0	0,9	Be	0,007	0,009	0,002	0,026	0,021
Mn	0,002	0,012	0,016	0,032	0,094	Ag	0,10	0,002	0,007	0,007	0,049
Co	0,16	0,22	0,21	0,43	0,60	Br	27	7,8	14	27	28
Ni	0,34	0,21	0,46	1,55	1,80	I	0,70	0,12	0,31	0,65	0,78
Cu	2,2	1,5	1,0	1,8	2,2	La	0,05	0,10	0,09	0,42	0,48
Zn	4,0	1,4)	1,0	2,4	2,6	Tl	0,011	0,007	0,007	0,010	0,011
Pb	0,62	0,40	0,09	0,33	0,44	Th	0,011	0,013	0,006	0,010)	0,016
As	0,57	0,54	0,76	1,10	1,10	U	0,56	0,73	1,03	0,74	1,45

* – среднее содержание МЭ в воде оз. Телецкое; выделены максимальные для рек концентрации МЭ

Среднее содержание большинства МЭ в воде изученных рек в целом выше регионального фона, за который условно принят уровень их содержания в воде Телецкого озера [98]. Аномально высокое превышение (более 10 фонов) характерно для марганца, бора и скандия. При этом максимальные концентрации и превышения фона (72,5% от всех МЭ) проявлены в воде р. Улалушка, которая в отличие от других рек района характеризуется медленным течением, наличием меандр, повышенной ролью грунтового питания [83, 99].

Средняя величина превышения регионального фона увеличивается в ряду рек: Майма (1,29) – Каяс (2,55) – Улалушка (2,82), то есть возрастает от крупных к малым рекам. Наибольшие превышения фона присущи ассоциации порообразующих литофильных и сидерофильных элементов, что указывает на геологические образования района как основной поставщик МЭ в речные воды, особенно микроэлементов почвообразующих рыхлых пород в воды малых рек и

ручьев 4-5-го порядка. Можно предполагать, что их воды вымывают и растворяют МЭ из почв и пород рыхлого чехла в большей степени, чем из литифицированных пород нижнего палеозоя (порфириды, песчаники, известняки и др.).

Сравнение уровней содержания МЭ в воде рек агломерации с их мировыми кларками для речной воды [34] показало, что содержание половины МЭ ниже кларков, а другой половины выше их. Аномально высокое превышение (более 10 кларков) характерно только для железа, рубидия и ниобия (табл. 30).

Таблица 30 – Содержание МЭ в воде рек агломерации относительно местного фона, кларка и экологических регламентов

Доля от фона*, ед.	р. Катунь	р. Майма	р. Улалушка	р. Каяс
< 1	P, Ni, Cu, Zn, Pb, Zr, Cd, Ag, Br, I, Tl	Cr, Cu, Zn, Pb, Rb, Zr, Nb, Cd, Mo, Ag, Be, Br, I, Tl, Th	Cr, Zn, Pb, Rb, Zr, Cd, Sn, Mo, Ag	Cr, Cu, Zn, Pb, Rb, Zr, Cd, Sn, Mo, Ag, I, Tl, Th
1-10	Si, Al, Ca, Mg, Na, K, B, Li, Fe, Ti, V, Cr, Mn, Co, As, Sb, Rb, Ba, Sr, Y, Nb, Ga, Sn, Mo, Be, La, Th, U	Si, Al, Ca, Mg, Na, K, P, Li, Fe, Ti, V, Mn, Co, Ni, As, Sb, Ba, Sr, Y, Sc, Ga, Sn, La, U	Si, Al, Ca, Mg, Na, K, P, Li, Fe, Ti, V, Co, Ni, Cu, As, Sb, Ba, Sr, Y, Nb, Sc, Ga, Be, Br, I, La, Tl, U	Si, Al, Ca, Mg, Na, K, P, Li, Fe, Ti, V, Co, Ni, As, Sb, Ba, Sr, Y, Nb, Ga, Be, Br, La, U
> 10	Sc	B	B, Mn	B, Mn, Sc
Доля кларка < 0,1 ед.	Ni, Zn, Zr, Cd, Ag, I, Tl	Zn, Pb, Zr, Cd, Sn, Ag, Tl, Th	Zr, Cd, Tl	Sb, Zr, Cd, Sn, Ag, Tl
0,1-1	Si, Na, K, B, P, Li, V, Co, Cu, Pb, As, Sb, Ba, Y, Ga, Sn, Mo, Br, Th	Si, Al, Na, K, B, Li, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, As, Sb, Ba, Y, Ga, Mo, Br, I	Si, K, P, Li, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Sb, Y, Sn, Mo, Ag, I, Th	K, B, Li, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Ba, Y, Mo, I, Th
1-10	Al, Ca, Mg, Ti, Cr, Mn, Sr, Sc, La, U	Ca, Mg, P, Fe, Mn, Sr, Nb, La, U	Al, Ca, Mg, Na, B, Ti, V, Mn, Co, Ba, Sr, Ga, Br, La, U	Si, Al, Ca, Mg, Na, P, Ti, V, Cr, Mn, Co, Sr, Ga, Br, La, U
> 10	Fe, Rb, Nb	Rb	Fe, Rb, Nb	Fe, Rb, Nb
Доля ПДК** < 0,1 ед.	B, Cr, Co, Ni, Pb, As, Ba, Zr, Cd, Be, Br, I	Ti, Cr, Co, Ni, Pb, As, Ba, Zr, Cd, Be, Br, I	Cr, Co, Pb, As, Ba, Zr, Cd, Be, Br, I	Cr, Co, Pb, As, Ba, Zr, Cd, Be, Br, I
0,1-1	Ti, V, Zn, Mo	B, V, Zn, Mo	B, Ti, Ni, Zn, Mo	B, Ti, Ni, Zn, Mo
1-10	Al, Li, Fe, Mn, Cu	Al, Li, Fe, Mn, Cu	Li, Fe, V, Mn, Cu	Al, Li, Fe, V, Mn, Cu

* – фон оз. Телецкое; ** – ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов; среднее содержание МЭ приведено в порядке увеличения их доли от фона (кларка, ПДК); кларки МЭ в речных водах по (Соловов, 1990)

Большинство МЭ присутствует в речной воде на уровне менее 1 ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов [101], кроме Al, Fe, V, Mn и др., т.е. основных породообразующих элементов, что указывает на их поступление в воду из горных пород региона, специализированных на железо, марганец, алюминий.

Корреляционный анализ элементного состава воды рек района показал, что МЭ в воде имеют между собой в основном положительные значимые связи. Наибольшим числом значимых связей (более 25% от их числа) характеризуются сидерофильные (Fe, V, Mn, Co, Ni) и литофильные (Al, Ca, Na, Ba, Sr, Zr, Be и пр.) элементы. Эти особенности корреляционных связей МЭ речных вод объясняются их тесной сопряженностью (система вода – порода) с химическим составом геологических образований, развитых в их водосборных бассейнах [19].

Для выявления трендов содержания МЭ были рассчитаны отношения их содержания в устье и истоке рек (для рек Катунь и Майма – на изученных отрезках) (табл. 31). Установлено, что они варьируются в пределах от менее 0,1 до 5,5 ед. Намечен следующий ряд увеличения содержания МЭ вниз по течению рек: Ag (1,18), Mo (1,21), Sb (1,24), Ba (1,25), Li, Cu, Cd (1,34), Ca (1,38), Mg (1,39), Sr (1,40), U (1,62), I (1,63), B (1,73), Br (2,01), Na (2,17), K (2,20), Se (2,27), Tl (3,82), а также ряд их уменьшения: Si (0,88), V (0,86), Cr (0,76), Ni, Th (0,75), Zr (0,72), Co (0,71), Mn (0,67), Pb (0,59), Al, Fe, Ti (0,58), лантаноиды (0,52). Эти ряды вероятно обусловлены степенью растворимости химических элементов в воде [93].

Таблица 31 – Отношение содержания МЭ (устье/исток) в воде водотоков района

МЭ	Катунь	Майма	Каяс	Улала	МЭ	Катунь	Майма	Каяс	Улала
Si	1,0	0,9	1,1	0,8	Sb	1,0	1,3	0,8	1,2
Al	1,1	0,8	0,2	0,7	Rb	1,1	2,0	1,0	0,4
Ca	1,0	0,9	1,8	1,4	Ba	1,0	1,1	1,3	1,3
Mg	1,0	1,2	1,6	1,4	Sr	0,9	1,1	1,7	1,4
Na	1,0	2,3	2,1	2,1	Zr	1,8	0,8	0,6	0,8
K	0,9	2,4	1,4	2,8	Cr	0,3	0,9	0,5	0,9
B	0,9	1,6	2,0	1,6	Y	1,1	0,6	0,3	0,7
P	0,5	2,6	1,0	0,6	Sc	1,0	1,4	1,2	0,7
Li	1,0	1,2	1,7	1,3	Ga	1,0	0,7	0,3	0,7
Fe	1,0	0,7	0,4	0,7	Cd	0,8	1,0	0,5	1,2
Ti	1,2	0,7	0,3	0,8	Sn	< 0,1	2,0	3,8	0,6
V	1,0	1,1	0,6	1,0	Mo	1,0	1,1	1,4	1,1
Mn	1,2	0,6	0,5	0,9	Be	1,1	1,0	0,0	0,8
Co	1,0	1,0	0,5	0,7	Br	1,0	1,9	2,2	2,0
Ni	1,2	0,9	0,5	0,9	I	1,4	1,6	1,6	1,6
Cu	0,6	1,6	0,8	1,3	La	1,0	0,7	0,2	0,6
Zn	1,0	1,9	0,3	0,8	Tl	1,4	5,5	2,1	3,9
Pb	0,4	0,8	0,3	0,6	Th	1,8	0,7	0,6	1,1
As	0,8	1,2	1,2	1,0	U	1,0	1,1	2,1	1,6

Жирным шрифтом выделены наибольшие значения, жирным курсивом – наименьшие значения

Наибольшие средние величины отношения содержания (устье/исток) изученного комплекса МЭ характерны для воды р. Каяс (2,11), в меньшей степени, для рек Улалушка (1,57) и Майма (1,55). Таким образом, чем меньше длина водотока, тем больше разница в содержании МЭ в его истоке и устье. Эта особенность проявлена и для показателей солевого состава вод, для которых наибольшее увеличение содержания в устье рек характерно для поставляемых селитебными территориями нитратов (3-6,5 раз) и хлоридов (7-38 раз) (рис. 19).

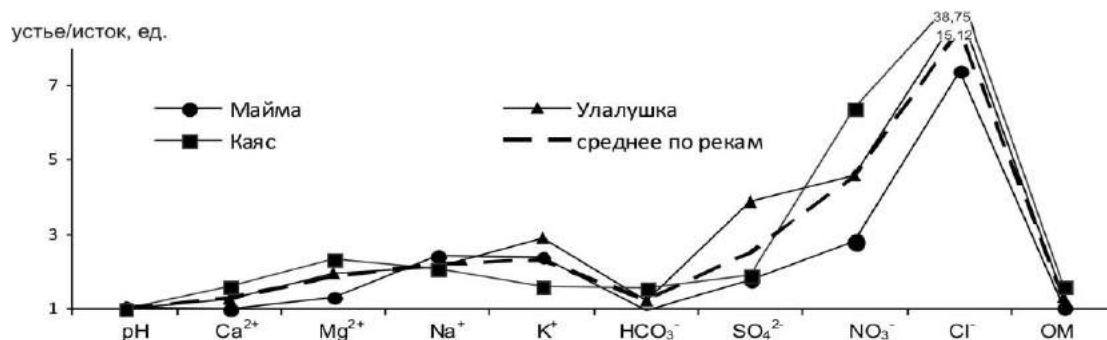


Рисунок 19 – Величина отношения показателей солевого состава воды в устье и истоке основных водотоков на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Для оценки "скорости" роста-снижения содержания МЭ вниз по течению рек были рассчитаны градиенты их изменения на изученных отрезках. Предварительно установлено, что положительные значения градиентов характерны для литофильных МЭ, а отрицательные – для сидерофильных и, частично, для халькофильных МЭ. Максимальные значения градиентов присущи породообразующим МЭ, а минимальные – редким и рассеянным МЭ (рис. 20).

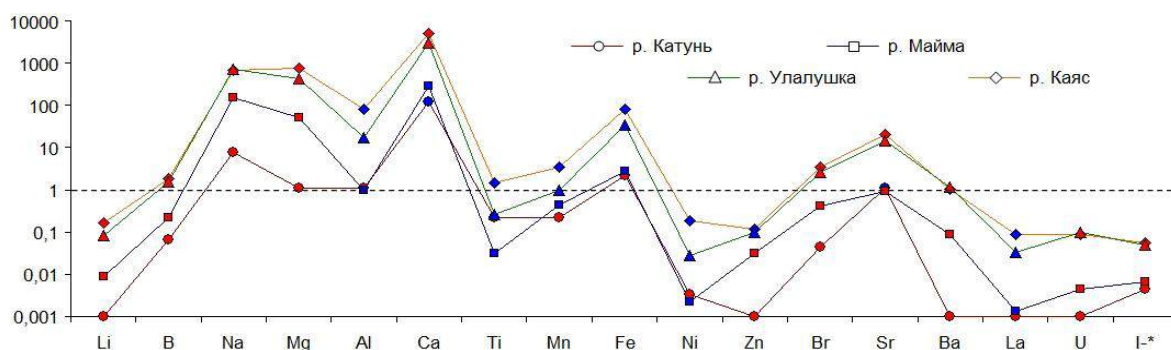


Рисунок 20 – Градиенты содержания МЭ в воде рек (устье/исток), мкг/км (красные пуансоны для положительных значений, синие для отрицательных)

По результатам анализа методом главных компонент химического состава речной воды агломерации выделено три основных фактора, первый из которых со вкладом 44,5% объединяет следующие МЭ (по степени уменьшения влияния): La, Al, Y, Co, Fe, Ga, Be, Ni, Zn, Cd, V, Zr, Mn, Th. Фактор 2 влияет на 11 элементов: Na, B, K, Br, Li, Tl, I, Ba, U, Mg, Sr, а фактор 3 на Cr, Sn, Rb, Sc, Ca, Ti, Mo. Можно считать, что первый фактор объединяет преимущественно литофильные и сидерофильные элементы, а второй – щелочные металлы и галогены. Факторные нагрузки МЭ в группах предположительно снижаются на фоне уменьшения растворимости их солей в воде.

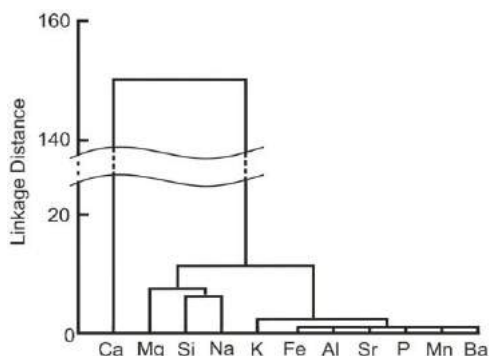


Рисунок 21 – Дендрограмма связей МЭ в речной воде

Результаты кластерного анализа состава речных вод показали наличие иерархических связей между ассоциациями основных породообразующих элементов – кальция, магния, кремния и щелочей (рис. 21). Последние образуют свои кластеры, которые объединяются с кальцием – основным индикатором природного гидрохимического типа вод. Таким образом, в речных водах района проявлены типовые устойчивые связи между основными компонентами природного солевого состава вод, не подвергшихся антропогенному воздействию [83].

К числу индикаторов геоэкологического состояния (качества) речной воды относится содержание в ней растворенного кислорода, зависящее от ряда природных факторов: характера русловых процессов, наличия фитопланктона, микроорганизмов, степени атмосферной реаэрации воды, а также от объема и степени загрязнения поступающих сточных вод. Известно [22], что наиболее благоприятный кислородный режим характерен для горных рек, в которых в результате перемешивания и реаэрации содержание кислорода в воде близко к насыщению, а высокая скорость течения препятствует накоплению органики.

По данным впервые проведенного изучения особенностей кислородного режима речных вод на территории агломерации установлено, что содержание растворенного кислорода в них летом варьируется в пределах 7,4-9,2 мгО₂/л (среднее 8,3 мгО₂/л), а зимой от 11,1 до 14 мгО₂/л (среднее 12,3). Средняя степень насыщения кислородом воды летом составляет 80%, зимой 90% (рис. 22).

По данным впервые проведенного изучения особенностей кислородного режима речных вод на территории агломерации установлено, что содержание растворенного кислорода в них летом варьируется в пределах 7,4-9,2 мгО₂/л (среднее 8,3 мгО₂/л), а зимой от 11,1 до 14 мгО₂/л (среднее 12,3). Средняя степень насыщения кислородом воды летом составляет 80%, зимой 90% (рис. 22).

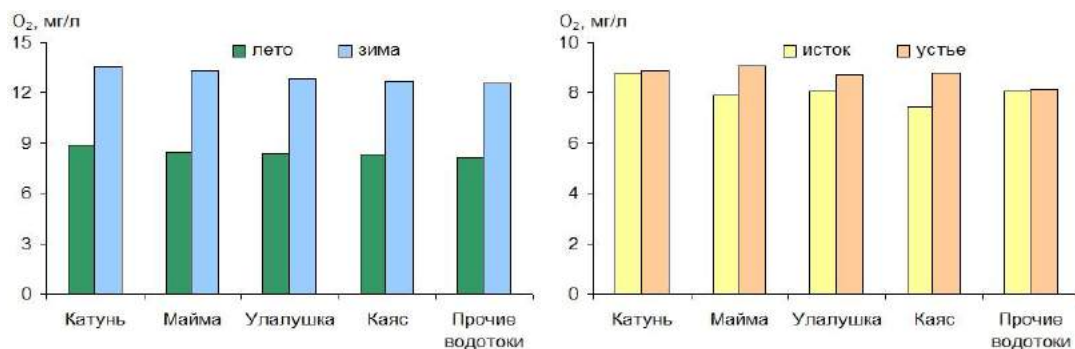


Рисунок 22 – Содержание растворенного кислорода в воде рек агломерации в зависимости от сезона года (слева) и в истоке-устье (справа)

Предварительно установлено, что в районе г. Горно-Алтайска проявлены следующие тренды поведения растворенного кислорода в русловом стоке: увеличение его содержания и степени насыщения от истока к устью водотоков всех порядков; увеличение содержания кислорода в ряду водотоков: мелкие – средние – крупные. Эти тренды объясняются различной водностью объектов. Так, содержащие наименьшие концентрации кислорода ручьи и мелкие реки глубиной 0,1-0,5 м с расходами единицы-первые десятки л/с в большей степени дегазируют растворенный кислород, чем более крупные реки (рис. 23).

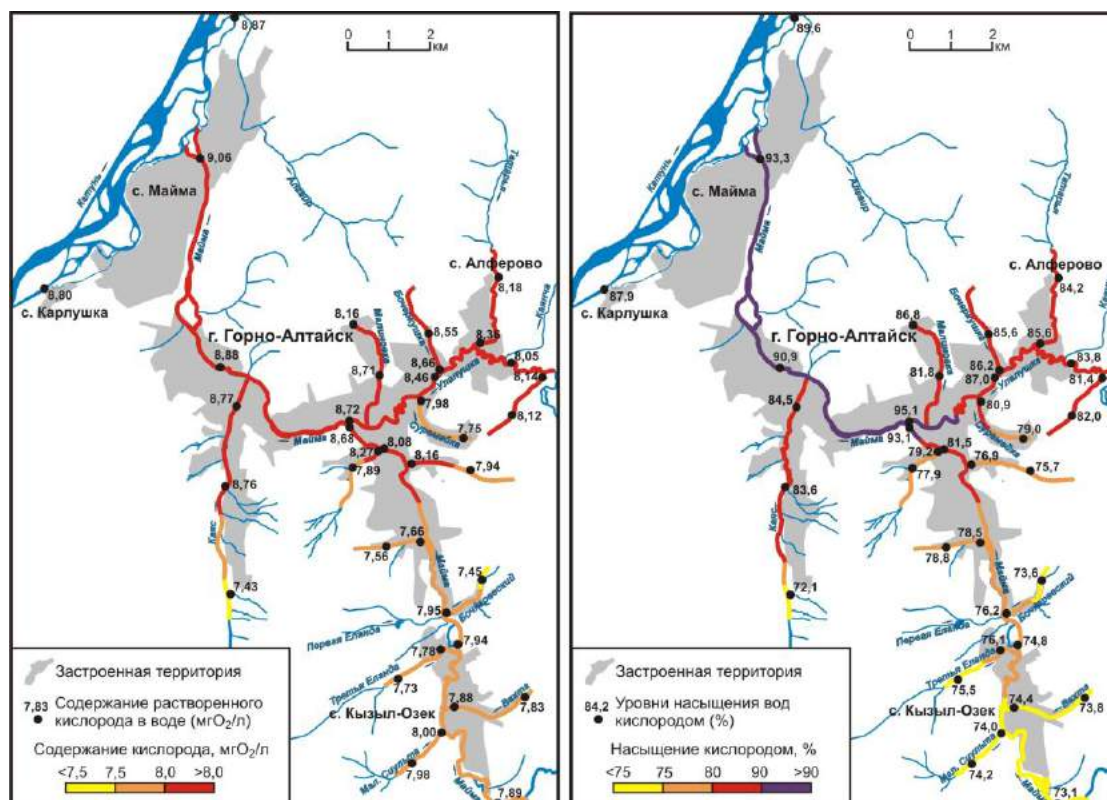


Рисунок 23 – Уровни содержания (слева) и насыщения кислородом (справа) речных вод в районе г. Горно-Алтайска в летнюю межень 2016 г.

Значения других показателей кислородного режима воды – перманганатной окисляемости, ХПК, БПК, напротив, увеличиваются от крупных рек к мелким водотокам и уменьшаются от истока к устью изученных рек. Эти закономерности предположительно объясняются увеличением роли легко-окисляемой органики (в основном гумуса прибрежных почв), вовлекаемой в верховьях мелких водотоков в русловый сток [84]. Значения этих показателей на территории агломерации находятся на экологически приемлемом уровне (ниже ПДК и ОБУВ), кроме ХПК воды части водотоков 4-5 порядка (рис. 24).

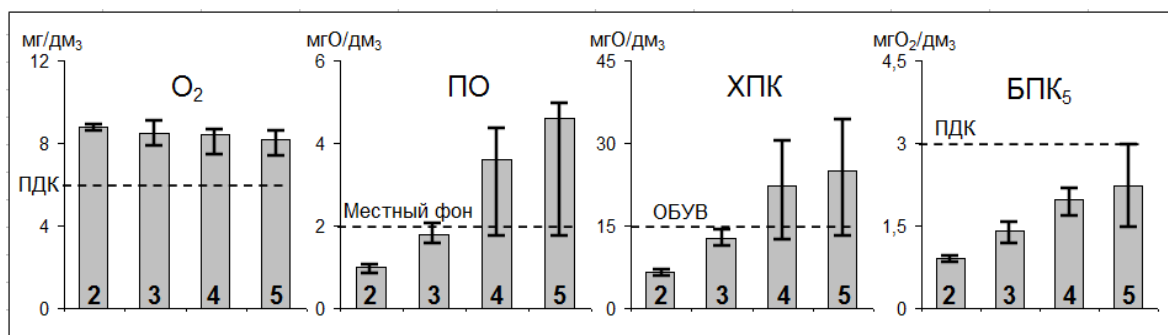


Рисунок 24 – Средние значения показателей кислородного режима водотоков 2-5 порядков в районе Горно-Алтайска (летняя межень)

Изученные показатели кислородного режима речных вод в районе г. Горно-Алтайска имеют между собой тесные корреляционные связи на уровне 99%, причем химическое и биохимическое потребление кислорода между собой имеют прямые связи, а с растворенным кислородом обратные связи (табл. 32).

Таблица 32 – Связи между показателями кислородного режима рек агломерации

O ₂	ХПК	БПК ₅	Показатели
1	-0,50	-0,38	O ²
	1	0,60	ХПК
		1	БПК ₅

$$n = 38 \quad r = \pm 0,32 \text{ (95\%)} \quad r = \pm 0,41 \text{ (99\%)}$$

В общем виде намечена зависимость градиентов значений этих показателей от порядка рек. Так, градиент изменения содержания кислорода по течению (%O₂/км) в воде р. Майма в 2-3 раза, БПК₅ в 5-10 раз, а окисляемости в 9-26 раз ниже, чем для ее притоков 4-5 порядков. В свою очередь, градиенты этих показателей р. Майма на порядок выше, чем для воды р. Катунь (табл. 33).

Таблица 33 – Градиенты показателей кислородного режима рек (исток – устье)

Водотоки (порядок рек)	Кислород, мг/дм ³			Окисляемость, мгО/дм ³			БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³		
	Исток	Устье	Δ, %/км	Исток	Устье	Δ, %/км	Исток	Устье	Δ, %/км
Катунь* (2)	8,80	8,87	0,8	0,97	0,95	0,2	0,94	0,93	0,1
Майма* (3)	7,89	9,06	5,2	2,09	1,63	2,1	1,56	1,24	1,4
Улалушка* (4)	8,05	8,72	9,4	4,40	3,02	19,4	2,21	1,74	6,6
Притоки Улалушки (5)	7,75	7,98	14,4	2,72	1,84	55,0	2,70	2,50	12,5

* – расстояние между крайними створами в районе; градиент $\Delta = (\text{устье-исток}) \times 100\% / \text{расстояние, км}$

Таким образом, для речной воды района характерно в целом высокое, реже среднее качество изученных показателей кислородного режима, в т.ч. растворенного кислорода, обусловленное интенсивной атмосферной реаэрацией, высокой скоростью течения, каменистым дном, слабым развитием органики.

3.4 Донные отложения

Известно, что донные отложения водных объектов в зависимости от их сорбционных свойств, внутриводоемных процессов, ландшафтных особенностей водосборов, а также характера поступающих химических веществ, могут быть их аккумулятором и источником вторичного загрязнения вод [77, 102, 124].

В процессе исследования пробы речных отложений на территории агломерации г. Горно-Алтайска были взяты в реках разных порядков – от р. Катунь (2-й порядок) до притоков р. Улалушка (5-й порядок). Их общее количество составило 33 пробы и варьировалось от пяти единиц для р. Майма до одной пробы для водотоков 4-5-го порядков, в которых она бралась в их устье (рис. 25).

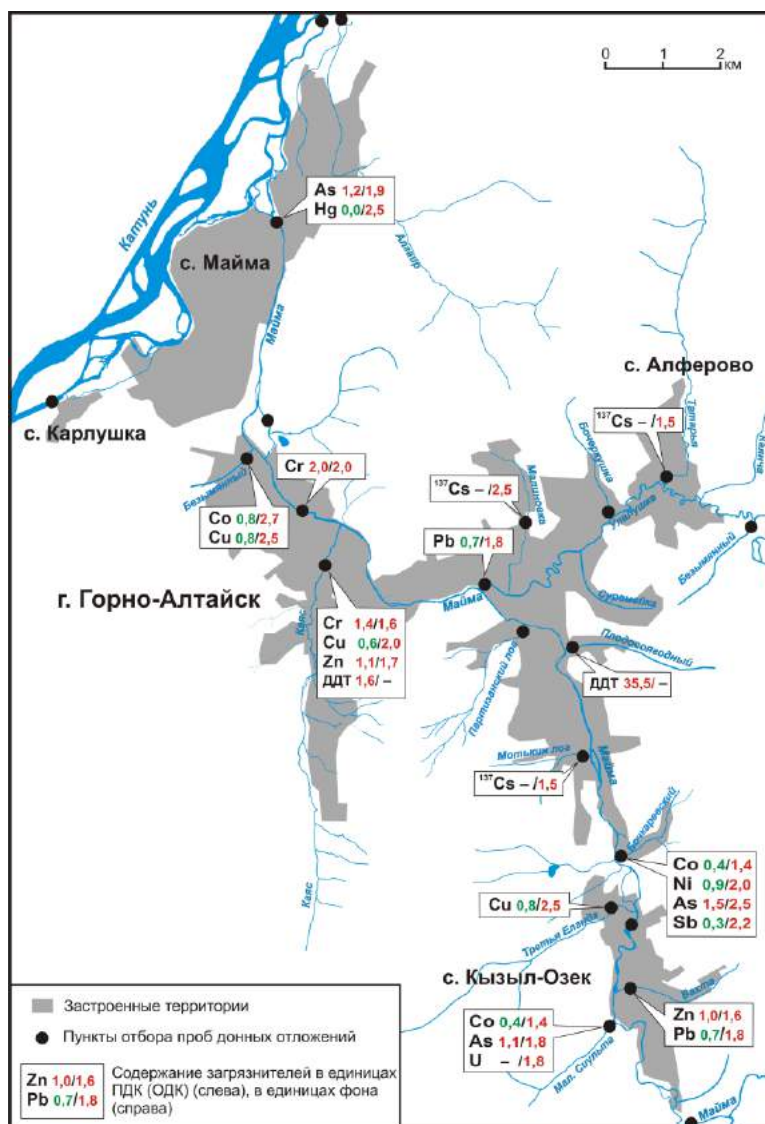


Рисунок 25 – Характер загрязнения донных отложений рек агломерации

Пробы речных отложений были представлены в основном глинисто-илистым материалом с примесью органики, а донные осадки р. Катунь на отрезке сел Карлушка – Майма глиной с примесью мелкопесчаной фракции. Все пробы были проанализированы методами ААС, ИНАА и ПКСА на комплекс 10-30 химических элементов, в т. ч. на тяжелые металлы, а также на ЕРН-ТРН.

Установлено, что содержание тяжелых металлов 1-3 классов опасности для окружающей среды в донных отложениях водотоков на территории агломерации довольно однородно и находится на фоновом и слабо повышенном уровне. Так, среднее содержание в них ртути составляет всего 0,029 мг/кг – около 1% ПДК для почв. Невысокое среднее содержание на уровне 0,3 ОДК для почв характерно и для халькофильных ТМ – свинца, меди, кобальта и др. Повышенные концентрации ТМ в отдельных пунктах представлены в основном хромом (до 2 ПДК), мышьяком (до 1,5 ПДК), цинком (1,1 ПДК) (рис. 25).

Предварительно намечена прямая связь между уровнем содержания ТМ в донных отложениях и порядком водных объектов. Так, среднее содержание ТМ в них увеличивается от крупных к мелким водотокам, при этом их наибольшее содержание характерно для небольших ручьев – притоков р. Майма (табл. 34).

Таблица 34 – Среднее содержание ТМ в донных осадках рек агломерации, мг/кг

Реки (порядок)	Cr	V	Mn	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	Mo
Катунь (2)	87	90	733	53	25	30	87	17	< 1
Майма (3)	93	117	793	57	27	33	89	18	2
Притоки р. Майма (4)	100	120	900	70	32	36	90	19	2,5

Примечание: выделено максимальное содержание ТМ в донных осадках

Предварительно установлено, что для ряда ТМ (Hg, Cu, Zn, Pb) уровень загрязнения речных отложений р. Майма в черте города г. Горно-Алтайска на 4-18 % выше, чем в пригородных селах (табл. 35). Это указывает на более значимое воздействие городской территории на водные объекты агломерации.

Таблица 35 – Содержание ТМ в донных илах р. Майма в черте агломерации, мг/кг

Водные объекты (пункты)	Hg	Cu	Zn	Pb
р. Майма (Горно-Алтайск)	0,027	33	103	17
р. Майма (пригородные села)	0,026	28	96	16
Горно-Алтайск / пригороды, %	104	118	107	108

Анализ корреляционных связей между содержанием химических элементов в донных отложениях на территории агломерации показал наличие ограниченного числа их разнонаправленных связей (табл. 36). Обращают внимание преобладающие отрицательные связи кальция, что указывает на его обособленное поступление из антропогенно измененных почв в донные осадки. Все другие значимые связи для ассоциации МЭ (Fe, Co, Zn, Ba, Sb) положительные.

Таблица 36 – Связи химических элементов в донных отложениях агломерации

Ca	U	Th	Cr	Ba	Sr	As	Cs	Sc	Fe	Zn	Co	La	Sb	
1	-0,15	-0,48	0,02	-0,69	0,13	0,20	-0,52	-0,56	-0,56	-0,43	-0,25	-0,17	0,36	Ca
	1	0,46	-0,08	0,52	0,39	0,38	-0,23	0,39	0,38	0,08	0,58	0,31	0,29	U
		1	0,04	0,33	0,06	0,08	0,42	0,15	0,11	-0,11	0,25	0,75	-0,18	Th
			1	-0,09	-0,25	0,00	-0,07	-0,08	0,09	-0,21	0,23	0,15	0,05	Cr
				1	-0,04	-0,17	-0,02	0,69	0,59	0,39	0,23	0,00	-0,05	Ba
					1	-0,10	-0,02	-0,10	-0,23	-0,36	0,02	-0,09	-0,16	Sr
						1	-0,13	0,06	0,39	0,25	0,72	0,20	0,58	As
							1	0,33	0,24	0,14	0,07	0,35	-0,09	Cs
								1	0,89	0,64	0,43	0,08	0,26	Sc
									1	0,72	0,70	0,06	0,30	Fe
										1	0,37	-0,27	0,21	Zn
											1	0,36	0,29	Co
												1	-0,12	La
													1	Sb

Выделены значения коэффициентов корреляции при $p \geq 0,05$

Содержание ЕРН в донных отложениях рек и почвах близки между собой, что говорит об их поступлении в реки из почв агломерации. На это же указывает более высокое (в 3 раза и более) содержание ^{137}Cs в почве, чем в донных осадках, что особенно характерно для мелких водотоков 4-5 порядков (табл. 37).

Таблица 37 – Радионуклиды в донных осадках рек в районе г. Горно-Алтайска

Реки (порядок)	U(Ra), г/т		Th, г/т		K, %		^{137}Cs , Бк/кг	
	lim	mean	lim	mean	lim	mean	lim	mean
Катунь (2)	2,7-2,9	2,8	5,2-5,4	5,3	1,3-1,5	1,44	0	0
Майма (3)	2,0-2,2	2,1	5,9-7,5	6,6	1,2-1,3	1,25	0-2	1
Притоки р. Майма (4)	2,1-4,0	2,8	4,4-7,4	6,7	1,1-1,4	1,31	0-5	1,5

Проведенные в 1950-1980-х годах обработки хлорорганическими пестицидами ДДТ и ГХЦГ бывших овощных и ягодных плантаций в пределах микрорайонов Плодопитомник и Каяс г. Горно-Алтайска сформировали умеренно интенсивное загрязнение донных отложений притоков р. Майма на этих территориях [52]. Так, остаточные концентрации ДДТ в донных илах руч. Плодовая годного достигают 35,5 ПДК для почв, а руч. Каяс – 1,6 ПДК. Это свидетель-

ствует о седиментационном закреплении ХОП в донных отложениях водотоков, способствующем слабому вторичному загрязнению поверхностных вод агломерации.

Имеющиеся данные позволяют считать геоэкологическое состояние донных отложений водотоков агломерации в целом удовлетворительным (слабо загрязненным), кроме отдельных ручьев с повышенным содержанием загрязнителей (ТМ, ХОП).

3.5 Подземные воды

Характеристика подземных вод в районе г. Горно-Алтайска дана по результатам проведенного изучения, а также данных государственного (АО "Алтай-Гео") и социально-гигиенического (ФГУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии в РА") мониторинга.

В соответствии со стратиграфическим положением водовмещающих пород и их литологическим составом среди подземных вод на территории агломерации выделяются следующие водоносные комплексы покровных отложений и водоносные зоны литифицированных пород складчатого фундамента [81]:

- водоносные комплексы пород рыхлого чехла (Q_{III-IV}), (Q_{III}), ($Q_{II}+Q_{III-IV}$);
- водоносные зоны геологических образований рифей-палеозойского фундамента: гранитоидов топольнинского комплекса (γD_2), представленных Рыбалкинским массивом; терригенных пород среднего кембрия – нижнего ордовика (ϵ_2-O_1gr); основных вулканитов нижнего кембрия (ϵ_{1mn} , ϵ_{1km}); карбонатных пород венд-кембрия ($V-\epsilon_{1ed}$) и рифей-венда ($R-Vbr$).

Природные условия района (сильная расчлененность рельефа, большое количество атмосферных осадков и пр.) обуславливают высокую интенсивность водообмена в подземных водах, основная часть которых относится к нейтральным пресным (минерализация 0,4-0,6 г/дм³) мягким и умеренно жестким водам. Их гидрохимические типы зависят, главным образом, от состава водовмещающих пород. В целом однотипный солевой состав вод всех комплексов и зон позволяет отнести их к гидрокарбонатному кальциевому типу (табл. 38).

Таблица 38 – Химический состав подземных вод водоносных комплексов на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Водоносные комплексы	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	ОМ	Формула Курлова
Q _{III-IV}	7,33	76,4	11,8	21,1	298,5	11,8	16,7	0,11	0,031	8,1	0,16	444,6	$\frac{HCO_3 86 SO_4 6 Cl 16 NO_2 2}{Ca 67 Mg 17 (Na + K) 16}$
Q _{I-II}	7,26	113,3	21,8	17,2	380,4	27,4	21,9	<0,05	0,003	45,0	0,19	627,1	$\frac{HCO_3 76 Cl 9 NO_2 9 SO_4 6}{Ca 69 Mg 22 (Na + K) 9}$
γD ₂	7,26	86,1	12,3	50,5	375,3	35,7	14,6	<0,05	0,004	2,6	0,32	577,3	$\frac{HCO_3 82 Cl 13 SO_4 NO_2 1}{Ca 57 (Na + K) 29 Mg 14}$
Є ₁	7,18	86,4	15,5	16,8	330,6	10,3	15,5	<0,05	0,005	17,5	0,22	492,9	$\frac{HCO_3 86 SO_4 5 Cl 5 NO_2 4}{Ca 68 Mg 20 (Na + K) 12}$
V-Є ₁	7,09	74,6	13,2	17,3	307,8	4,8	12,9	<0,05	0,006	6,5	0,25	437,2	$\frac{HCO_3 91 SO_4 5 Cl 2 NO_2 2}{Ca 67 Mg 19 (Na + K) 14}$

Анализ имеющихся данных не выявил больших различий в распределении солевого состава вод вышеотмеченных комплексов и зон на территории населенных пунктов агломерации. Однако для вод верхнечетвертичного-современного комплекса грунтовых вод имеются заметные различия по содержанию сульфатов, хлоридов, нитратов, нитритов, общей жесткости и минерализации, значения которых уменьшаются в ряду Горно-Алтайск – Майма – Кызыл-Озек, что объясняется снижением антропогенной нагрузки в этих пунктах (табл. 39).

Таблица 39 – Химический состав подземных вод в населенных пунктах, мг/дм³

Гор-ты	n	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	ОМ	ЖО	ХПК
г. Горно-Алтайск														
Q _{III-IV}	24	7,25	105,0	12,3	0,07	23,5	375,2	33,6	20,6	0,168	40,2	648	5,8	0,96
Є _{1mn}	8	7,26	114,3	24,4	0,00	6,7	356,6	26,4	38,6	0,002	48,9	605	7,8	0,64
V-Є _{1ed}	30	7,37	92,2	15,0	0,05	18,9	359,6	30,9	10,1	0,004	5,5	547	5,7	0,63
с. Майма														
Q _{III-IV}	8	7,21	108,5	14,4	0,12	24,0	286,7	53,7	31,8	0,020	38,5	590	6,7	0,62
Q _{III}	13	8,07	109,7	29,7	0,75	21,0	406,6	17,3	25,1	0,179	34,8	645	7,9	1,80
Q _{I-II}	26	7,61	114,6	27,2	0,08	13,2	356,8	27,1	51,3	0,025	38,0	609	8,0	0,67
Є _{1mn}	8	7,55	77,6	16,8	0,05	18,1	333,2	13,5	10,1	0,006	8,3	478	5,3	0,81
с. Кызыл-Озек														
Q _{III-IV}	2	7,07	79,7	12,7	0,11	19,4	335,6	6,9	7,4	0,013	31,5	463	5,0	2,40
V-Є _{1ed}	14	7,73	78,9	13,3	0,05	11,8	316,3	9,0	6,6	0,010	12,0	448	5,0	1,06
Агломерация г. Горно-Алтайска														
Q _{III-IV}	42	7,44	96,8	11,3	0,09	29,2	328,8	24,4	19,3	0,080	35,4	546	5,8	0,95
Q _{III}	3	7,33	76,4	11,8	0,11	21,1	298,5	16,7	11,8	0,031	8,1	445	4,8	0,36
Q _{I-II}	3	7,26	113,3	21,8	<0,05	17,2	380,4	21,9	27,4	0,003	45,0	627	7,4	<0,25
Є _{1mn}	4	7,18	86,4	15,5	<0,05	16,8	330,6	15,5	10,3	0,005	17,5	493	5,6	<0,25
V-Є _{1ed}	9	7,12	78,0	13,9	0,03	17,2	313,7	14,2	6,6	0,006	6,6	437	5,0	0,19

Примечание: ОМ – общая минерализация, ЖО – жесткость общая

Для питьевых целей используются в основном водоносные зоны карбонатных толщ венд-кембрия и нижнечетвертичных отложений р. Катунь, в меньшей степени терригенно-порфириновых пород кембрия и среднедевонских

гранодиоритов. Водоотбор ведется одиночными, реже групповыми водозаборами, добыча до 5 тыс.м³/сут. (на Улалинском и Катунском водозаборах выше).

По имеющимся данным, геоэкологическое состояние (качество) подземных вод в рифей-палеозойских породах в черте агломерации находится на удовлетворительном уровне. Воды не загрязнены или слабо загрязнены в случае их связи с поверхностными и грунтовыми водами, как это имеет место на Майминском водозаборе. Их "негативными" природными гидрохимическими особенностями являются повышенные значения жесткости и содержания ряда специфических тяжелых металлов, главным образом, железа и марганца.

3.5.1 Грунтовые воды

Широко используемые населением агломерации грунтовые воды представлены тремя водоносными горизонтами аллювиальных отложений речных пойм и надпойменных террас (Q_{III-IV} , Q_{III} , $Q_{II}+Q_{III-IV}$), а также горизонтом спорадического распространения вод среди делювиально-пролювиальных склоновых отложений. Глубина их залегания составляет 2-3 м в пойме и до 20 м и более на 3-4-ой террасах р. Катунь. Воды относятся к слабо защищенным, поскольку имеют гидравлическую связь с поверхностью. Усредненный химический состав грунтовых вод позволяет отнести их к пресным нейтральным умеренно и повышенно жестким водам гидрокарбонатного кальциевого класса (табл. 40).

Таблица 40 – Химический состав грунтовых вод в районе г. Горно-Алтайска

Водоносные комплексы	pH	ОЖ	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+K	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	ХПК	ОМ	Гидрохимические типы
Q_{III-IV}	7,44	5,8	96,8	11,3	29,2	328,8	19,3	24,4	0,09	0,080	35,4	0,23	0,95	546	$\frac{HCO_3}{Ca} \frac{77}{69} \frac{Cl}{(Na+K)} \frac{8}{18} \frac{SO_4}{Mg} \frac{7}{13} \frac{NO_3}{13}$
Q_{III}	7,33	4,8	76,4	11,8	21,1	298,5	11,8	16,7	0,11	0,031	8,1	0,16	0,36	445	$\frac{HCO_3}{Ca} \frac{86}{67} \frac{SO_4}{Mg} \frac{6}{17} \frac{Cl}{(Na+K)} \frac{16}{16} \frac{NO_3}{16}$
Q_{I-II}	7,26	7,4	113,3	21,8	17,2	380,4	27,4	21,9	<0,05	0,003	45,0	0,19	<0,25	627	$\frac{HCO_3}{Ca} \frac{76}{69} \frac{Cl}{Mg} \frac{9}{22} \frac{NO_3}{(Na+K)} \frac{9}{9} \frac{SO_4}{9}$

Химический состав грунтовых вод на площади населенных пунктов в целом близок между собой (табл. 41), но имеются и некоторые различия. Так, минимальные значения всех изученных показателей проявлены в с. Майма, максимальное содержание "природных" компонентов вод (Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻) в с. Кызыл-Озек, а загрязняющих веществ (NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺) в г. Горно-Алтайске.

Таблица 41 – Химический состав грунтовых вод в населенных пунктах

Вещества, показатели	с. Майма			г. Горно-Алтайск			с. Кызыл-Озёк		
	min	max	$\bar{x}$	min	max	$\bar{x}$	min	max	$\bar{x}$
pH	6,66	7,96	7,31	7,03	8,05	7,54	7,44	7,60	7,50
Ca ²⁺	24,0	220,0	89,1	47,4	167,2	91,7	109,0	143,8	120,6
Mg ²⁺	3,3	16,3	9,4	7,1	41,5	9,8	5,6	15,4	12,7
Na ⁺ +K ⁺	9,0	60,4	27,6	12,6	57,6	28,6	23,3	40,2	31,5
NH ₄ ⁺	0,03	0,20	0,04	0,03	2,01	0,13	0,03	0,29	0,08
HCO ₃ ⁻	99	580	301	229	603	327	296	407	355
Cl ⁻	2,2	66,3	20,1	2,2	54,4	29,7	12,4	48,8	25,2
SO ₄ ²⁻	6,9	55,2	19,2	8,3	49,2	25,8	19,1	50,4	31,6
NO ₂ ⁻	0,001	0,15	0,01	0,001	2,80	0,13	0,001	0,29	0,06
NO ₃ ⁻	1,6	104,1	31,4	2,1	83,0	51,8	2,7	118,1	33,1
Жесткость	1,5	11,8	5,2	3,3	11,8	5,6	6,0	7,8	6,8
XПК	0,04	3,19	0,54	0,04	4,81	1,56	0,53	1,63	1,04
Минерализация	146	1091	500	319	1003	531	552	715	629
Гидрохимический тип	<i>HCO₃77Cl9NO₃8SO₄6</i> <i>Ca60(Na + K)23Mg17</i>			<i>HCO₃78SO₄8NO₃8Cl6</i> <i>Ca67(Na + K)18Mg15</i>			<i>HCO₃71Cl10NO₃10SO₄8</i> <i>Ca74(Na + K)18Mg9</i>		

Курсивом выделены минимальные значения показателей, прямым шрифтом – максимальные значения

Эта тенденция изменения химического состава грунтовых вод агломерации в направлении Кызыл-Озек – Горно-Алтайск – Майма проявлена в постепенном уменьшении содержания вышеотмеченных "природных" компонентов воды в этом ряду (рис. 26). Подобный тренд предположительно обусловлен различными условиями залегания и разным уровнем антропогенного воздействия на гидрохимические особенности грунтовых вод этих населенных пунктов.

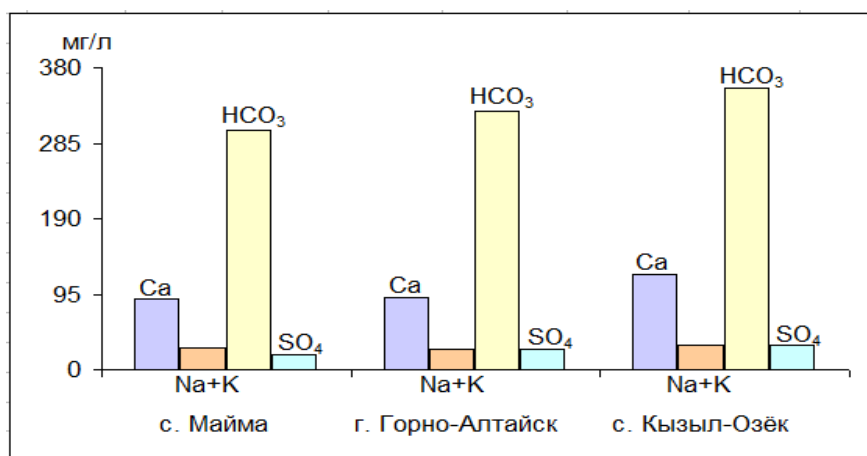


Рисунок 26 – Тренды химического состава грунтовых вод в пределах агломерации

Результаты корреляционного анализа показателей химического состава грунтовых вод свидетельствуют о наличии тесных связей между ними. Боль-

шинство из них имеют положительные связи на уровне значимости 99%. Характерно, что загрязняющие вещества – аммоний-ион, нитриты, фосфаты не имеют или имеют минимум связей с солевым составом вод, что указывает на их привнесенный при антропогенном воздействии характер (табл. 42).

Таблица 42 – Связи показателей химического состава грунтовых вод агломерации

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	ОМ	ОЖ	ХПК	n=36
1,00	-0,41	-0,07	-0,54	0,24	-0,35	-0,51	-0,40	0,28	-0,47	-0,18	-0,45	-0,38	-0,21	pH
	1,00	0,35	0,59	-0,05	0,91	0,77	0,74	-0,02	0,76	0,05	0,97	0,98	0,16	Ca ²⁺
		1,00	0,06	-0,11	0,52	0,31	0,18	-0,12	0,36	0,01	0,47	0,55	-0,10	Mg ²⁺
			1,00	-0,03	0,62	0,59	0,69	-0,07	0,52	0,23	0,70	0,54	0,34	Na ⁺ +K ⁺
				1,00	-0,12	0,11	0,10	0,99	-0,09	0,39	-0,07	-0,07	0,50	NH ₄ ⁺
					1,00	0,60	0,59	-0,10	0,57	-0,02	0,95	0,94	0,02	HCO ₃ ⁻
						1,00	0,64	0,12	0,80	0,31	0,78	0,76	0,42	SO ₄ ²⁻
							1,00	0,06	0,63	0,19	0,74	0,70	0,43	Cl ⁻
								1,00	-0,04	0,36	-0,06	-0,05	0,45	NO ₂ ⁻
									1,00	0,20	0,77	0,77	0,22	NO ₃ ⁻
										1,00	0,09	0,05	0,45	PO ₄ ³⁻
											1,00	0,98	0,17	ОМ
												1,00	0,12	ОЖ
													1,00	ХПК

Уровни корреляционных связей с вероятностью:

99 %

95 %

Имеющиеся данные и материалы позволяют считать геоэкологическое состояние грунтовых вод в районе г. Горно-Алтайска условно удовлетворительным и малоудовлетворительным (более подробная аргументация в разделе 4.1).

3.6 Сточные и сбросные воды

К числу основных источников поступления загрязняющих веществ в водоемы агломерации относятся стоки ливневой канализации и сбросные воды очистных сооружений города. Первые из них содержат загрязнители, поступающие с территории агломерации при плоскостном смыве дождевыми и снеготалыми водами, а вторые оказывают негативное воздействие путем прямого сброса ненормативно очищенных сточных вод.

С целью оценки качества сточных и сбросных вод на территории агломерации изучен химический состав стоков ливневой канализации (9 проб), очистных сооружений (3 пробы), а также 64-х проб снеготалой воды (табл. 43).

Таблица 43 – Химический состав сточных вод в районе г. Горно-Алтайска

Вещества, показатели	Стоки ливневой канализации (n=9)		Сброс очистных сооружений (n=3)	
	max	mean	max	mean
pH	8,77	8,32	7,41	7,25
Ca ²⁺	25,43	18,47	110,25	104,15
Mg ²⁺	2,37	1,25	24,75	22,55
Na ⁺ +K ⁺	17,69	11,49	67,66	61,63
NH ₄ ⁺	0,11	0,04	4,24	3,78
HCO ₃ ⁻	86,9	65,8	354,7	332,6
Cl ⁻	11,32	5,12	159,5	103,46
SO ₄ ²⁻	15,1	11,8	61,7	55,2
NO ₂ ⁻	0,19	0,08	18,54	14,06
NO ₃ ⁻	6,25	3,39	99,07	73,68
PO ₄ ³⁻	0,7	0,4	6,5	4,5
ХПК	11,71	8,05	27,52	23,82
Жесткость	1,46	1,02	7,60	7,05
Минерализация	150,8	117,8	797,33	730,2
Гидрохимический тип	$\frac{HCO_3 71 SO_4 16 Cl 9 NO_3 4}{Ca 60 (Na + K) 33 Mg 7}$		$\frac{HCO_3 55 Cl 21 SO_4 12 NO_3 9}{Ca 52 (Na + K) 27 Mg 19}$	

Выделены значения более 1 ПДК для вод водоемов рыбохозяйственного назначения

Установлено, что макрохимический состав снеготалой воды и ливневых стоков на территории агломерации в целом незначительно отличается от состава исходных атмосферных осадков, в то время как сбросные воды очистных сооружений города представляют заметно трансформированный тип сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатных магниевых-натриево-кальциевых вод [99].

Анализ полученных данных указывает на близость химического состава снеготалой и дождевой воды, однако величины его показателей их ливневых стоков отличаются на 1-2 порядка. Так, средние значения большинства показателей химического состава сточных и сбросных вод, нормированные на их содержание в дождевой воде, закономерно увеличиваются (кроме NH₄⁺) в ряду: снеготалые воды – ливневые стоки – сбросные воды очистных сооружений, то есть в сторону усиления антропогенного воздействия на исходный состав атмосферных осадков и природных вод (табл. 44).

Таблица 44 – Состав стоков агломерации относительно дождевой воды (ед.)

Отношение типов вод	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+K	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	ОМ
Снеготалая/дождевая	1,0	0,6	0,1	1,4	4,0	0,5	0,2	1,4	0,5
Ливневые стоки/дождевая	17,0	22,6	3,4	0,1	75,3	12,1	2,2	7,4	7,2
Сбросная вода ОС/дождевая	69,1	110,3	12,8	5,6	703	43,7	9,0	44,4	29,4

Особый интерес представляет трансформация химического состава дождевых осадков, поступающих в р. Майма в виде стоков ливневой канализации. В них на фоне заметного подщелачивания многократно (до 15-20 раз) увеличивается содержание всех катионов и анионов (кроме иона аммония), а также значения минерализации, жесткости, химического и биологического потребления кислорода. Значения большинства из перечисленных показателей приближаются к их уровню для поверхностных вод на территории города.

Таким образом, даже относительно кратковременный контакт дождевых осадков с почвами приводит к заметной трансформации их химического состава и к максимальному загрязнению среди других типов природных вод. Следовательно, экологическое состояние почвы является основным фактором формирования химического состава ливневых стоков, которые концентрируют загрязняющие вещества и выступают в качестве одного из факторов снижения загрязнения почвенного покрова на территории агломерации [99].

Максимальное превышение действующих эколого-гигиенических регламентов характерно для нормативно очищенных [27] сбросных вод очистных сооружений г. Горно-Алтайска, главным образом, для соединений минерального азота и фосфатов – основных загрязнителей, перерабатываемых жидких коммунальных отходов, что свидетельствует о низкой эффективности их очистки.

Установлено, что в последние годы в сбросных водах очистных сооружений присутствует ряд загрязнителей, в основном соединений минерального азота, фосфатов и взвешенных веществ, многократно превышающих ПДК и ОБУВ для вод водоемов рыбохозяйственного назначения, каковым является р. Майма (2 категория). В частности, в них содержится аммоний-ион в количестве до 8,5 ПДК, нитриты до 321,8 ПДК, нитраты (2,5 ПДК), а также в повышенных количествах сульфаты и хлориды (0,5 ПДК), фосфаты и взвешенные вещества – 45 и 58 фонов соответственно (табл. 45).

Эти загрязняющие вещества обнаруживаются в воде, принимающей сброс р. Майма ниже по течению на 4 км, вплоть до ее впадения в р. Катунь. При

этом концентрация нитритов в воде на всем протяжении ниже сброса превышает ПДК, а содержание иона аммония, нитратов, ортофосфатов и величина ХПК остается выше фоновых значений для воды р. Майма (табл. 45).

Таблица 45 – Содержание загрязнителей в воде р. Майма в районе очистных сооружений г. Горно-Алтайска, мг/дм³

Загрязняющие вещества	Расстояние от места сброса очистных сооружений				
	-0,1 км	+0,2 км	+0,5 км	+2,3 км	+4 км (устье)
NH ₄ ⁺	0,07	1,77	0,94	0,12	0,11
NO ₂ ⁻	0,048	4,43	3,44	0,16	0,12
NO ₃ ⁻	5,09	86,52	76,15	6,35	5,06
SO ₄ ²⁻	18,5	44,4	38,3	14,5	6,8
Cl ⁻	22,4	146,9	61,4	31,5	6,5
PO ₄ ³⁻	0,03	1,98	1,71	0,32	0,18
ХПК, мгО/дм ³	1,27	5,77	5,15	3,59	2,05

Жирным выделены значения более ПДК для вод рыбохозяйственных, курсивом – выше фона р. Майма

3.7 Древесные растения

Установлено, что на урбанизированных территориях негативное влияние на древесные виды оказывают, главным образом, выбросы промышленных предприятий и автотранспорта, которые в совокупности с другими факторами неблагоприятного воздействия могут приводить к таким последствиям как ослабление жизненного состояния деревьев, усыхание, изреживание кроны, преждевременная дефолиация, хлорозы, некрозы, а в отдельных случаях и к развитию патологий (повреждения насекомыми, болезни и пр.) [76, 114].

К отдаленным последствиям воздействия этих факторов также относятся изменения, связанные с нарушением морфоанатомических, биофизических, биохимических характеристик состояния древесных видов. Некоторые из этих изменений являются индикаторами состояния окружающей среды и могут быть использованы при оценке ее экологического состояния на урбанизированных территориях [75].

Известно [31], что одной из основных причин ухудшения жизненного состояния древостоя является нарушение процессов стволового сокодвижения. С помощью методов эколого-физиологической диагностики жизненного состоя-

ния деревьев, основанных на определении их биометрических показателей, в том числе температуры и влажности их стволов, была проведена оценка состояния березы на территории агломерации и в фоновых пунктах.

Комплексная оценка экологического состояния компонентов окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска включала изучение растительного покрова по доминирующим на его территории древесным лиственным породам – березе повислой (*Betula pendula*) и тополю черному (*Pinus nigra* L.).

3.7.1. Состояние березы повислой

В пределах агломерации была обследована 31 береза, в том числе 5 условно фоновых деревьев, произрастающих на окраинах пригородных сел. Для каждого из них определялась категория жизненного состояния, измерялись температура и влажность ствола и корней, радиальный прирост за последние 5 и 15 лет, определялась величина асимметрии листовой пластинки.

Установлено, что жизненное состояние березы повислой на территории агломерации отвечает 1-3 категориям (из шести возможных), в среднем 2-й категории ослабленного состояния. При этом деревья без признаков ослабления (1-я категория) встречаются в основном на фоновых и приближенным к ним территориях сел Алферово и Кызыл-Озек. Наибольшие значения этого показателя – 3-4 категории состояния (усыхающие деревья) выявлены в селах Майма, Карлушка, что предположительно обусловлено близостью Чуйского тракта и аэропорта Горно-Алтайск.

Установлено, что из биофизических показателей максимальные отклонения от фоновых значений присущи градиенту разности температур ствола и корней дерева, который в с. Майма превышает фон в среднем в 3 раза, а на территории агломерации – в 2,4 раза. Обратно сопряженный с этим показателем градиент влажности также имеет наибольшее отклонение от фона в с. Майма – в среднем ниже в 1,7 раза (в пределах агломерации в 1,4 раза). Радиальный

прирост деревьев за последние 5 лет в с. Майма и г. Горно-Алтайске в среднем на 10% ниже по сравнению с приростом берез на фоновых участках.

Величина флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы в целом для агломерации равна 0,047, что отвечает 3 классу среднего отклонения от нормы [31]. На фоновых участках этот показатель отвечает 1-2 классам.

Среднее величина отклонения (изменения) от фоновых значений биофизических показателей березы в пределах агломерации нарастает в ряду населенных пунктов: Алферово – Кызыл-Озек – Горно-Алтайск – Майма (табл. 46).

Таблица 46 – Биофизические показатели состояния березы повислой на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Биофизические показатели	Горно-Алтайск	Майма	Кызыл-Озек	Алферово	Вся агломерация
Жизненное состояние, категория	1,6 (1,4)	1,9 (1,7)	1,5 (1,3)	1,2 (1,1)	1,7 (1,5)
Градиент температур, $\Delta^{\circ}\text{C}/\text{м}$	1,3 (2,4)	1,6 (3,0)	0,5 (1,0)	0,6 (1,1)	1,3 (2,4)
Градиент влажности, $\Delta\%/ \text{м}$	3,2 (0,8)	2,6 (0,6)	4,0 (1,0)	4,2 (1,0)	3,1 (0,7)
Радиальный прирост за 5 лет, мм	1,7 (0,9)	1,7 (0,9)	1,8 (1,0)	1,8 (1,0)	1,7 (0,9)
Среднее значение в пунктах, ед.фона	[1,5]	[1,9]	[1,1]	[1,0]	[1,6]

В скобках значения показателей в единицах фона, в квадратных скобках средние значения изменений

Корреляционный анализ биофизических показателей состояния березы выявил заметные различия в их связях на территории агломерации и на условно фоновых участках.

В частности, для деревьев в населенных пунктах агломерации отмечено в 3 раза больше значимых связей, чем на их окраинах. Большинство из них характеризует отрицательные связи жизненного состояния деревьев с градиентами их влажности и радиальным приростом. Также значимо связаны между собой температурные и влажностные показатели ствола березы повислой (табл. 47).

Эти данные позволяют предполагать, что биофизические показатели березы повислой на территории агломерации реагируют на усиление антропогенного прессинга адекватным нарастанием тесноты корреляционных связей между собой.

Таблица 47 – Корреляционные связи показателей состояния березы повислой на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Показатели	Категория состояния	Температура			Влажность			Прирост	
		почвы	ствола	градиент	ствола	корней	градиент	15 лет	5 лет
Категория состояния	1,0	-0,11	-0,09	0,09	-0,92	-0,78	-0,56	0,00	-0,25
Температура почвы	0,15	1,0	0,99	0,82	-0,24	-0,48	0,62	-0,39	-0,78
Температура ствола	0,34	0,80	1,0	0,86	-0,27	-0,51	0,64	-0,45	-0,82
Градиент температуры	0,30	-0,35	0,28	1,0	-0,42	-0,69	0,67	-0,81	-0,99
Влажность ствола	-0,37	-0,34	-0,49	-0,22	1,0	0,94	0,33	0,20	0,56
Влажность корней	-0,25	-0,37	-0,42	-0,08	0,95	1,0	-0,01	0,46	0,80
Градиент влажности	-0,46	-0,04	-0,34	-0,47	0,44	0,14	1,0	-0,71	-0,56
Прирост (15 лет)	-0,48	-0,14	-0,19	-0,06	0,03	0,03	-0,01	1,0	0,79
Прирост (5 лет)	-0,39	0,15	0,15	-0,35	0,26	0,18	0,31	0,16	1,0

Примечание: в нижней части таблицы – связи показателей в пределах агломерации; в верхней части – связи на фоновых точках; подкрашены значения парной корреляции при $r \geq 0,95$

Анализ связи биофизических показателей состояния березы с физико-химическими свойствами и элементным составом почв показал следующее [109]:

– жизненное состояние деревьев и большинство биофизических показателей тесно (прямо или обратно) связано с рН и магнитной восприимчивостью почв в местах их произрастания, что указывает на их зависимость от интенсивности антропогенного воздействия;

– связи биофизических показателей с содержанием микроэлементов в почвах носят разнонаправленный характер, что не всегда объяснимо и нуждается в дальнейшем изучении.

Важно отметить, что в местах произрастания усыхающих и сильно ослабленных деревьев установлены максимальные и превышающие среднее значения рН почвы, ее магнитной восприимчивости, содержание меди, железа и кальция, а также более низкие концентрации фосфора. Это подтверждают установленные между ними тесные положительные корреляционные связи.

Для температурных показателей физиологического состояния березы и их градиентов отмечены положительные значимые связи с магнитной восприимчивостью и рН почвы, содержанием в ней меди, лития, ванадия. Для влажности ствола и корней, напротив, значимые связи с магнитной восприимчивостью и

pH почвы отрицательные, как и связи практически со всеми микроэлементами (Fe, Na, K, Cu, V, Li, Pb и др), кроме фосфора (табл. 48).

Таблица 48 – Связи показателей состояния березы со свойствами и составом почв

Показатели		χ	pH	Ca	Fe	Na	K	P	Ti	V	Li	Cu	Pb
Категория состояния		0,56	0,75	0,38	0,78	0,55	0,28	-0,58	-0,43	0,43	0,77	0,55	0,10
Температура	почвы	0,39	0,43	0,25	0,32	0,12	0,13	-0,09	-0,59	0,17	0,57	0,57	0,21
	ствола	0,50	0,57	0,34	0,46	0,27	0,33	-0,38	-0,61	0,18	0,70	0,62	0,00
Градиент температуры		0,44	0,53	0,32	0,48	0,40	0,52	-0,70	-0,34	0,71	0,59	0,39	0,37
Влажность	ствола	-0,37	-0,72	-0,55	-0,59	-0,38	-0,32	0,27	-0,28	-0,43	-0,66	-0,46	-0,19
	корней	-0,25	-0,56	-0,46	-0,40	-0,20	-0,16	0,09	-0,15	-0,22	-0,46	-0,31	-0,01
Градиент влажности		-0,45	-0,68	-0,43	-0,70	-0,61	-0,53	0,58	-0,44	-0,71	-0,76	-0,56	-0,55
Радиальный прирост	15 лет	-0,45	-0,34	-0,12	-0,25	-0,03	-0,08	0,33	-0,29	-0,18	-0,33	-0,18	-0,72
	5 лет	-0,07	-0,60	-0,40	-0,44	-0,57	-0,10	0,19	-0,09	-0,31	-0,30	-0,30	-0,43
Асимметрия листа		0,20	0,03	0,30	0,07	0,41	0,32	0,10	0,13	0,15	0,13	0,22	0,52

Примечание: выделены значения парной корреляции при $r = 0,95$ (желтым), $r = 0,99$ (оранжевым)

Анализ распределения изученных биофизических показателей на территории агломерации показал, что минимальные значения градиента влажности ствола и корней березы и ее радиального прироста проявлены на большей части с. Майма, в центральной части г. Горно-Алтайска и с. Кызыл-Озек (рис. 27) [109].

Обратная, но почти совпадающая по площади, ситуация проявлена в распределении температурного градиента ствола и корней деревьев. Совмещенное положение изменений изученных биофизических факторов (в т. ч. жизненного состояния) березы позволяет считать, что на территории агломерации максимальное негативное воздействие на древесные растения проявлено преимущественно вдоль основных автомагистралей в с. Майма и г. Горно-Алтайске.

Области максимальных изменений биофизических и морфометрических показателей экологического состояния березы имеют узкую линейную форму и приурочены в с. Майма к Чуйскому тракту, а в городе к пр. Коммунистический, улицам Чорос-Гуркина, Ленина и Барнаульская. Эпицентры этих областей локализованы в с. Майма на отрезке разъезд – с. Карлушка, в г. Горно-Алтайске – на отрезке остановка "Трастовая" – микрорайон "Гардинка".

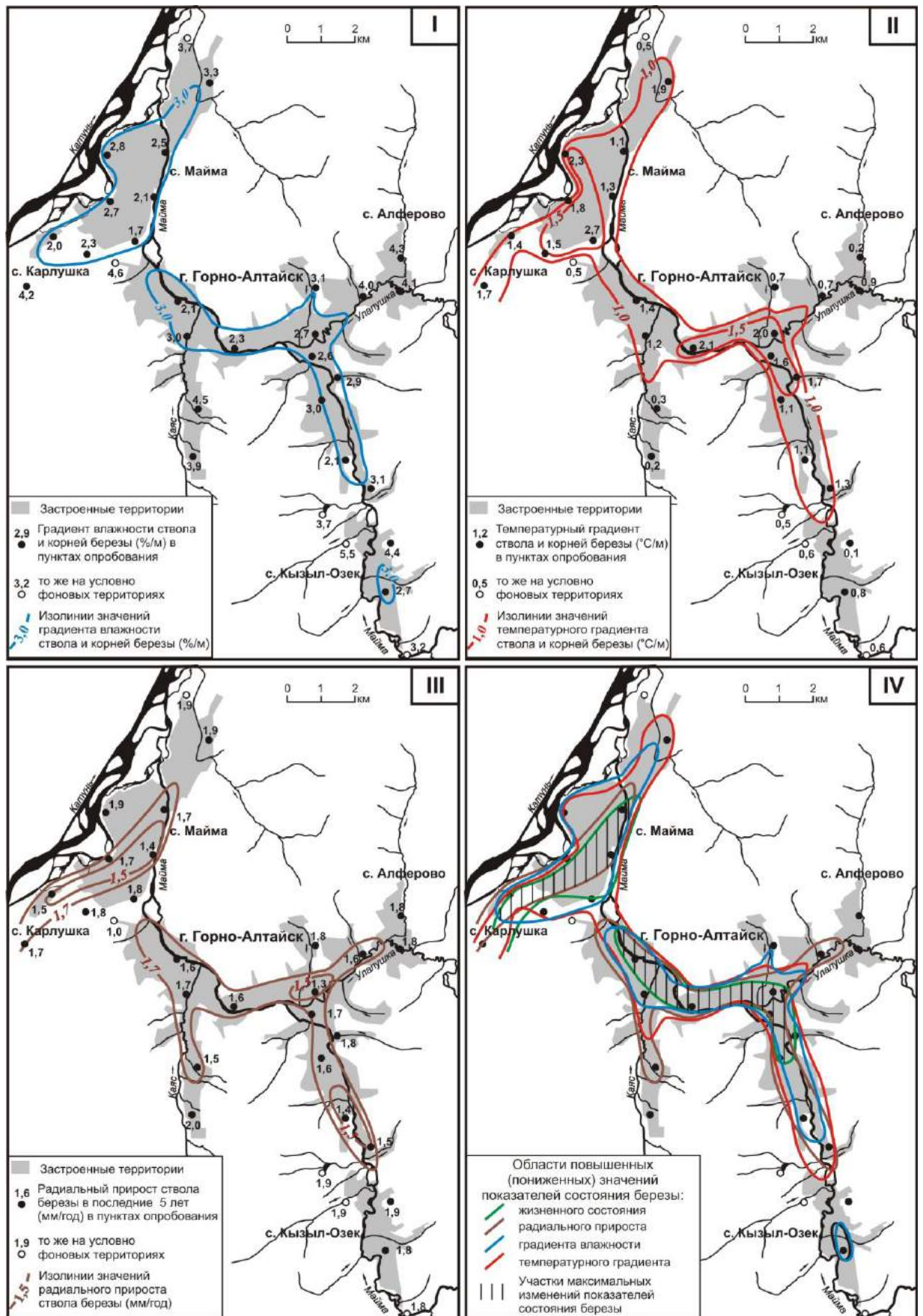


Рисунок 27 – Биофизические показатели состояния березы повислой на территории агломерации г. Горно-Алтайска

I – градиент влажности ствола и корней; II – то же температуры; III – величина радиального прироста ствола; IV – области повышенных и пониженных значений показателей состояния

В качестве предварительных выводов отметим следующие особенности показателей геоэкологического состояния березы повислой в районе г. Горно-Алтайска:

- все изученные показатели имеют между собой устойчивые связи, которые усиливаются при нарастании антропогенного воздействия;
- большинство изученных показателей геоэкологического состояния древостоя тесно связаны с такими физико-химическими свойствами почв, как pH и магнитная восприимчивость;
- степень превышения фоновых значений биофизических показателей березы в пределах агломерации уменьшается в ряду населенных пунктов: с. Майма – г. Горно-Алтайск – с. Кызыл-Озек – с. Алферово;
- градиенты влажности и температуры стволов березы можно использовать в качестве индикатора уровня антропогенного воздействия на древесные растения на территории агломерации;

Таким образом, результаты проведенного исследования указывают на локализацию максимальных негативных нарушений геоэкологического состояния березы повислой в пределах основных автомагистралей агломерации и их связь с уровнем загрязнения атмосферного воздуха и антропогенных изменений физико-химических свойств почв.

3.7.2 Состояние тополя черного

В рамках проведенного исследования геоэкологического состояния древесных растений в пределах агломерации взято 26 образцов листьев тополя черного и 5 образцов на условно фоновой территории, для которых была определена зольность и элементный состав (28 элементов методом ИНАА).

Выяснено, что распределение концентраций микроэлементов в золе листьев тополя на территории агломерации неравномерное. Их амплитуда варьируется от одного до трех порядков, а вариации среднего в основном больше 70%. В то же время средние концентрации в его листьях большинства изученных МЭ выше или ниже местного фона всего в 2,5-3,3 раза (табл. 49).

Сравнение среднего содержания МЭ в золе с региональным фоном [90, 127] выявило две их группы, первая из которых характеризуется преобладанием среднего содержания над фоном (Fe, Cr, Rb, Cs, La, Ce, Yb, Br, Th и др.), а вторая пониженным содержанием (As, Sb, Zn, Co, Ag, Au и др.). Первая группа предположительно представлена ассоциацией МЭ, содержащихся в основном в выбросах угольных котельных, вторая – в выбросах автомобильного транспорта.

Таблица 49 – Содержание МЭ в листьях и золе тополя черного на территории агломерации г. Горно-Алтайска, мг/кг

МЭ	К*	РГФ**	МФ***	Содержание в золе, от-до	Среднее содержание		Отношение, ед.	
					$\bar{x}$ зола	$\bar{x}$ листья	$\bar{x}$ зола/РГФ	$\bar{x}$ листья/К
Ce	$3 \cdot 10^{-5}$	2,54	0,2	0,05-10,42	2,83±2,49	0,37±0,33	1,1	0,01
Ca	$1,6 \cdot 10^{-2}$	13,2	3	2-19,9	8,2±5,1	1,10±0,67	0,6	68,8
U	$2 \cdot 10^{-6}$	0,30	–	0,02-2,1	0,29±0,27	0,04±0,04	1,0	0,02
Th	$8 \cdot 10^{-6}$	0,33	0,05	0,004-1,48	0,33±0,31	0,04±0,04	1,0	0,01
Cr	$5 \cdot 10^{-5}$	8,10	2	0,9-19,2	9,6±5	1,3±0,7	1,2	0,03
Yb	$2 \cdot 10^{-6}$	0,09	0,03	0,002-0,61	0,15±0,14	0,02±0,2	1,7	0,01
Au	$7 \cdot 10^{-10}$	0,010	0,0003	0,0002-0,043	0,005±0,08	0,001±0,01	0,5	1,43
Hf	$2 \cdot 10^{-6}$	0,17	0,002	0,01-0,62	0,18±0,18	0,23±0,23	1,1	0,12
Ba	$3,6 \cdot 10^{-5}$	168	10	7-426	107±113	14,1±14,9	0,6	0,39
Sr	$4 \cdot 10^{-5}$	1196	50	38-1158	367±320	48±42	0,3	1,20
As	$3 \cdot 10^{-6}$	1,10	0,2	0,09-1,74	0,72±0,41	0,1±0,02	0,7	0,03
Ag	$5 \cdot 10^{-8}$	0,25	0,03	0,03-0,25	0,14±0,11	0,02±0,01	0,6	0,4
Br	$2,6 \cdot 10^{-5}$	69,2	5	3,6-115,6	30,8±28,3	4,1±3,7	0,5	0,16
Cs	$6 \cdot 10^{-6}$	0,28	0,05	0,3-1,13	0,4±0,24	0,05±0,03	1,4	0,01
Sc	$7 \cdot 10^{-6}$	0,51	0,1	0,11-4	0,71±0,79	0,1±0,1	1,4	0,01
Rb	$3,3 \cdot 10^{-8}$	35,7	20	10,6-156,3	66,4±42,7	8,8±5,6	1,9	267
Fe	$2,2 \cdot 10^{-2}$	0,20	0,05	0,04-0,93	0,23±0,2	0,03±0,03	1,2	1,36
Zn	$4,6 \cdot 10^{-5}$	1154	200	142-1572	713±410	94±54	0,6	2,04
Ta	$2 \cdot 10^{-6}$	0,03	0,01	0,01-0,11	0,05±0,03	0,01±0,003	1,7	0,01
Co	$2,2 \cdot 10^{-5}$	8,7	2	1,7-22,3	7,1±4,5	0,9±0,6	0,8	0,04
Na	$1,9 \cdot 10^{-2}$	0,20	0,02	0,02-3,47	0,21±0,61	0,03±0,08	1,1	1,58
La	$1 \cdot 10^{-5}$	1,6	0,2	0,2-9,32	2,13±2,55	0,28±0,34	1,3	0,03
Sb	$2,5 \cdot 10^{-7}$	0,40	0,05	0,03-2,84	0,45±0,49	0,06±0,06	1,1	0,24

* – кларк элемента в биосфере [34]; ** – региональный фон [90]; *** – местный фон

Отношение среднего содержания изученных МЭ в листьях тополя к кларку элементов в биосфере варьируется в пределах от 0,01 до 267. Наибольшие значения кларка концентрации убывает в следующем ряду МЭ: Rb (267), Ca (68,8), Zn (2,0), Na (1,6), Fe (1,3) и т. д. Среднее содержание большинства МЭ в листьях тополя на 1-2 порядка ниже их биосферного кларка (табл. 50).

Вышеотмеченные группы (ассоциации) МЭ в золе листьев тополя образуют на территории агломерации как положительные (Ca, Na, Fe, Ba и др.), так и отрицательные (Zn, Co, As, Sb, Br, Ag, Au и др.) биогеохимические ореолы, пространственно совпадающие между собой и с областями аномальных значений биофизических параметров березы. Они также тяготеют к Чуйскому тракту в с. Майма и к основным автомагистралям г. Горно-Алтайска (рис. 28).

Наличие этих ассоциаций и разнонаправленное поведение входящих в них МЭ проявлены и в их корреляционных связях (табл. 50). Так, МЭ первой ассоциации имеют более тесные и множественные связи между собой (до 60% и более), в то время как МЭ второй группы имеют единичные значимые связи или они отсутствуют (Zn, Au). Отсутствие связей натрия с другими МЭ возможно связано с его обособленным поступлением с автодорог, обрабатываемых зимой песчано-солевой смесью.

Таблица 50 – Связи МЭ в золе листьев тополя на территории агломерации

Ca	Fe	Na	Ce	Th	Cr	Au	Ba	Sr	As	Br	Cs	Sc	Rb	Zn	Co	La	Sb	МЭ
1	0,14	-0,09	0,40	0,23	-0,02	-0,17	0,87	0,93	0,49	0,49	0,52	0,06	0,57	-0,02	0,30	0,41	-0,16	Ca
	1	0,04	0,84	0,89	0,72	0,31	0,23	0,11	0,50	0,08	0,56	0,98	0,08	-0,20	0,35	0,40	0,47	Fe
		1	0,08	0,02	0,04	-0,03	-0,09	-0,10	-0,07	-0,06	-0,18	0,01	-0,01	0,26	-0,14	0,03	-0,03	Na
			1	0,94	0,72	0,07	0,51	0,38	0,83	0,30	0,73	0,75	0,09	0,00	0,51	0,66	0,43	Ce
				1	0,72	0,13	0,37	0,22	0,59	0,09	0,61	0,82	-0,04	-0,06	0,27	0,49	0,42	Th
					1	0,25	0,01	-0,05	0,45	0,04	0,32	0,63	-0,24	-0,25	0,29	0,33	0,83	Cr
						1	-0,26	-0,26	0,24	-0,27	-0,05	0,28	-0,16	-0,05	-0,15	-0,13	0,33	Au
							1	0,91	0,57	0,51	0,68	0,19	0,52	0,01	0,35	0,47	-0,23	Ba
								1	0,57	0,58	0,49	0,08	0,61	0,04	0,30	0,42	-0,20	Sr
									1	0,29	0,45	0,45	0,35	0,13	0,32	0,42	0,24	As
										1	0,26	0,07	0,54	0,06	0,69	0,66	-0,16	Br
											1	0,53	0,46	0,04	0,37	0,40	-0,01	Cs
												1	0,13	-0,18	0,33	0,36	0,40	Sc
													1	0,23	0,34	0,24	0,36	Rb
														1	-0,01	0,07	-0,27	Zn
															1	0,64	0,09	Co
																1	0,10	La
																	1	Sb

Выделены значения парной корреляции при $r=0,95$ (желтым), $r=0,99$ (красным)

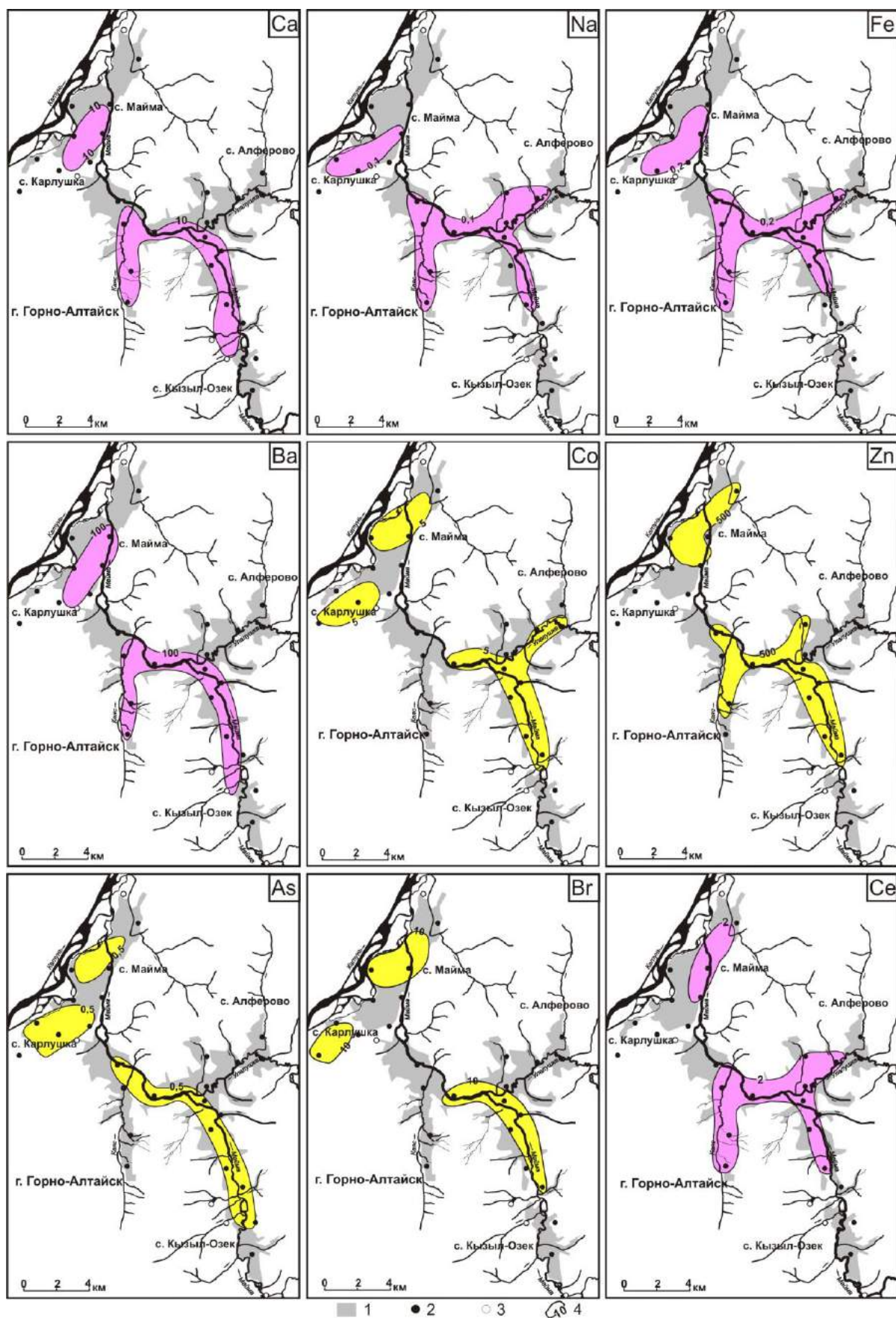


Рисунок 28 – Ореолы МЭ в золе листьев тополя в районе г. Горно-Алтайска
 1 –застроенная территория; 2,3 – пункты отбора листьев тополя в селитебной зоне (2), то же на фоновых территориях (3); 4 – изоконцентраты микроэлементов в золе листьев, мг/кг (желтым цветом выделены ореолы пониженных концентраций, красным – повышенных)

Участки максимальной зольности листьев тополя (более 14%) в центре г. Горно-Алтайска и с. Майма, проявленные на фоне менее 10% (рис. 29), предположительно обусловлены повышенным содержанием неорганической пыли на листьях деревьев этих участков, которые также совпадают с областями аномальных значений биофизических показателей березы [109].

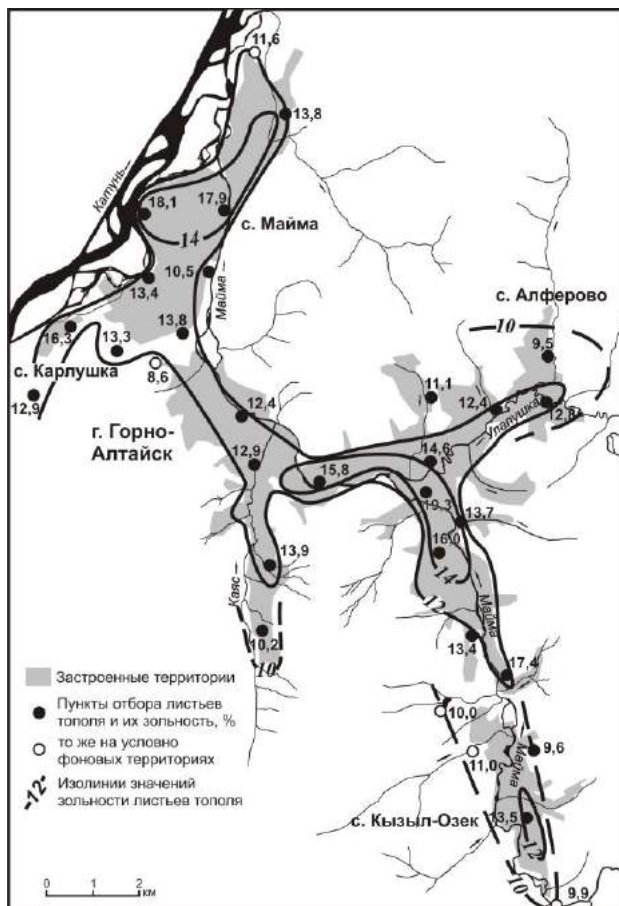


Рисунок 29 – Зольность листьев тополя на территории агломерации

Эти особенности характеризуемого древесного биоиндикатора геоэкологического состояния окружающей среды (в основном воздушного бассейна) в районе г. Горно-Алтайска позволяют сделать следующие выводы:

- на территории агломерации сформировано две области повышенных и пониженных значений микроэлементов в золе листьев тополя черного, приуроченных к Чуйскому тракту и к основным автомагистралям города;
- показатели зольности и элементного состав листьев тополя служат надежными биоиндикаторами специфики и интенсивности антропогенной деятельности на территории агломерации.

3.8 Радиационная обстановка

Радиоэкологическая обстановка в районе г. Горно-Алтайска обусловлена в основном радиационными характеристиками геологической среды. В разных частях агломерации она варьируется в больших пределах – от фоновой до напряженной и определяется гамма-фоном горных пород и почв, содержащих естественные радионуклиды (ЕРН), активностью радона в почве, воздухе и в воде, воздействием космического излучения и, частично, прошлыми атмосферными выпадениями радиоактивных продуктов ядерных взрывов на СИП [70, 89, 96].

Радиоэкологическая обстановка, обусловленная природными источниками ионизирующего излучения. Установлено, что содержание и параметры слабоконтрастного ($V=10-22\%$) распределения ЕРН (^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U (^{226}Ra)) в почвах и донных осадках водотоков на территории агломерации находятся на уровне местного фона и практически совпадают между собой (разница не более 5-10%), что свидетельствует о близости их минерального субстрата, унаследованного от коренных почвообразующих пород (табл. 51). Это касается и отношения Th/U , которое в среднем составляет 2,7 для почв и 2,4 для донных осадков.

Таблица 51 – Концентрации естественных радионуклидов и ^{137}Cs в почвах и в донных отложениях на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Содержание	1. Почвы (n=44)				2. Донные отложения (n=16)				Отношение 1/2, ед
	min	max	mean	V, %	min	max	mean	V, %	
^{238}U (^{226}Ra), мг/кг	1,8	3,8	2,4	22,5	2,0	4,0	2,7	22,6	0,89
^{232}Th , мг/кг	4,6	8,0	6,5	12,9	4,4	7,5	6,5	13,2	1,00
^{40}K , %	0,93	1,50	1,25	9,8	1,11	1,57	1,31	9,2	0,95
^{137}Cs , Бк/кг	2	47	8	108	2	5	2,7	41,1	2,96

Мощность создаваемой ЕРН экспозиционной дозы гамма-излучения варьируется в пределах 8-15 мкР/час при среднем 10 мкР/час. Между собой естественные радионуклиды в почвах имеют положительные значимые связи, обусловленные совместным нахождением в исходных почвообразующих породах. Напротив, их связи с привнесенными техногенными ^{137}Cs и ^{90}Sr отрицательные и незначимые. В донных отложениях характер связей в целом сохраняется, что указывает на преобладание в них местного материала (табл. 52).

Таблица 52 – Корреляционные связи радионуклидов в почвах (вверху) и донных отложениях водотоков в районе г. Горно-Алтайска (внизу)

ЕРН-ТРН	$^{238}\text{U}(^{226}\text{Ra})$	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
$^{238}\text{U}(^{226}\text{Ra})$	1	0,30	0,25	-0,17
^{232}Th	0,38	1	0,23	-0,08
^{40}K	0,30	0,33	1	-0,03
^{137}Cs	-0,12	-0,10	-0,08	1

Примечание: выделены значения коэффициентов корреляции при $r \geq 0,95$

Распределение МЭД, ЕРН и их интегрального эквивалента (Аэфф.) на территории агломерации носит в целом однотипный характер [24]. Сопряженные между собой участки их повышенных значений имеют в основном очаговый характер и овально-полосовидную форму. Они ориентированы согласно геологическим структурам района, в основном вдоль разрывных нарушений. Основные из них тяготеют к микрорайонам Каяс, Байат, пос. Афганцев, Алгаир, Гардинка, северной части с. Кызыл-Озек (рис. 30).

Установлено, что в пределах населенных пунктов агломерации величина МЭД варьируется в узких пределах – от 9 до 18 мкР/ч при среднем значении 11,2 мкР/ч. Это более чем в три раза меньше допустимого гигиенического норматива (35 мкР/ч). Создаваемые МЭД уровни значений мощности поглощенной дозы в воздухе населенных пунктов также небольшие – от 0,09 до 0,23 мкЗв/ч при среднем значении 0,16 мкЗв/ч (табл. 53).

Таблица 53 – Мощность экспозиционной и поглощенной дозы гамма-излучения

Содержание	г. Горно-Алтайск (n = 59)	с. Майма (n = 26)	с. Кызыл-Озек (n = 9)	с. Алферово (n = 6)	Агломерация в целом (n = 100)
Значения МЭД в воздухе, мкР/ч					
min	9,6	9,1	9,6	11,4	9,1
max	12,8	17,6	12,5	11,7	17,6
mean	11,4	10,7	11,2	11,6	11,2
Значения мощности поглощенной дозы в воздухе, мкЗв/ч					
min	0,09	0,11	0,12	0,13	0,09
max	0,23	0,23	0,17	0,21	0,23
mean	0,16	0,16	0,15	0,17	0,16

Значительная часть территории агломерации, особенно в пределах с. Кызыл-Озек, является весьма опасной по радону, пространственное распределение которого носит неравномерный характер в районе в целом, но в тоже время достаточно выдержанно в контурах отдельных аномальных участков.

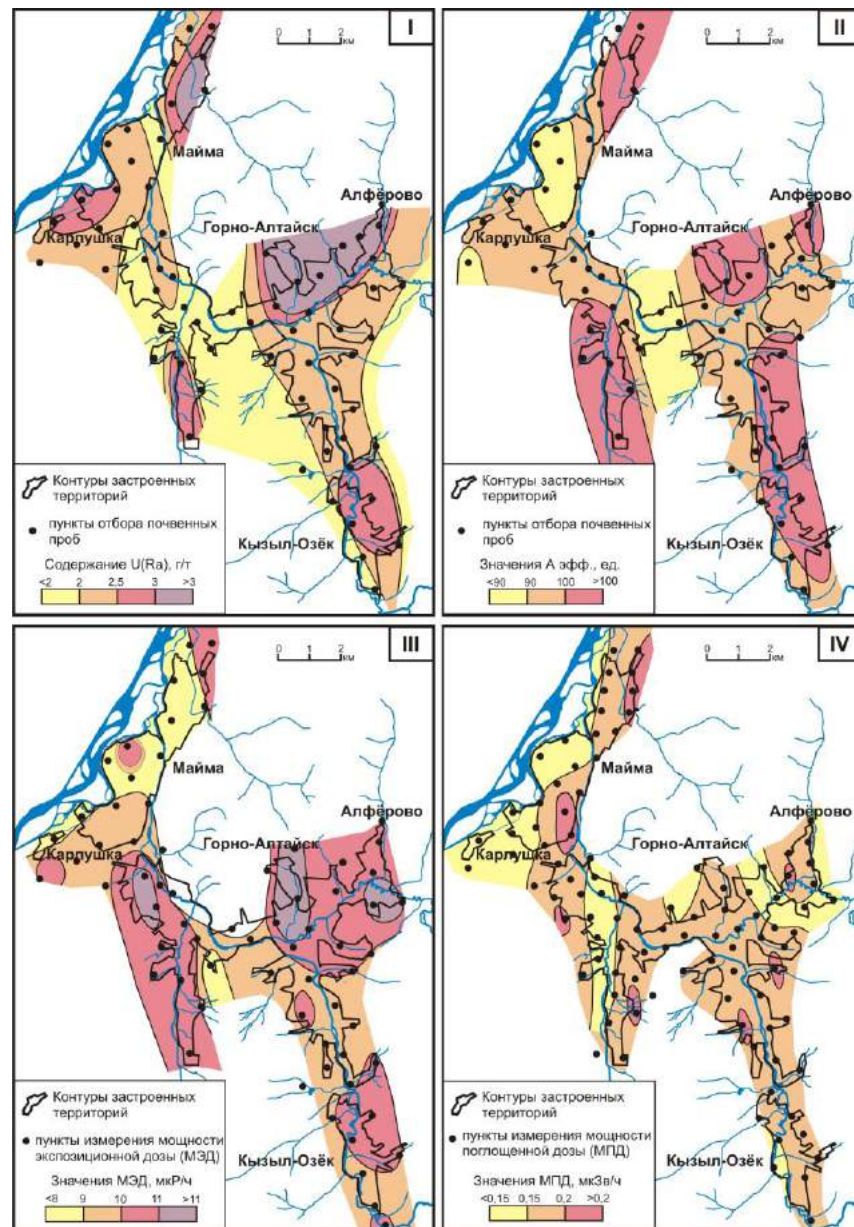


Рисунок 30 – Характер распределения ^{226}Ra (I), величины Аэфф. (II), мощности экспозиционной (III) и поглощенной (IV) доз в районе г. Горно-Алтайска

В геологическом отношении к потенциально радоноопасным участкам в районе относятся площадь развития гранодиоритов Рыбалкинского массива в юго-западной части района, а также не выходящие на эрозионный срез гранитоидные интрузии, "дренирующие" их разломы и узлы их пересечения [27].

Ранее проведенными исследованиями выяснено, что на территории г. Горно-Алтайска плотность потока радона с поверхности почвы (ППР) варьируется в пределах 12-8610 мБк/м²·с при среднем значении 186 мБк/м²·с.

Проведенное с участием автора изучение распределения ППР на территории агломерации (100 пунктов по сети примерно 600×600 м) показало, что в ее пределах значения ППР варьируются в пределах от 54 до 4975 мБк/м²·с при среднем 415 мБк/м²·с. Наибольшие значения ППР отмечены в с. Кызыл-Озек (в среднем 1375 мБк/м²·с), а минимальные на территории с. Майма (табл. 54).

Таблица 54 – Распределение ППР на территории населенных пунктов

Содержание	г. Горно-Алтайск (n = 59)	с. Майма (n = 26)	с. Кызыл-Озек (n = 9)	с. Алферово (n = 6)	Агломерация в целом (n = 100)
Величина ППР, мБк/м ² ·с					
min	62	54	347	92	54
max	1050	690	4975	943	4975
mean	350	230	1375	370	415
Доля площади населенных пунктов по классам защиты зданий от радона, %					
I (<80 мБк/м ² ·с)	1,7	3,8	0,0	0,0	2,0
II (80-200 мБк/м ² ·с)	27,1	46,2	0,0	33,0	30,0
III (>200 мБк/м ² ·с)	71,2	50,0	100,0	67,0	68,0

Участки повышенных и аномально высоких значений ППР имеют овальную и полосовидную форму, их размеры достигают 2×10 км, а площадь от 1 до 15 км². Они ориентированы в основном в субмеридиональном направлении согласно геологическим структурам района.

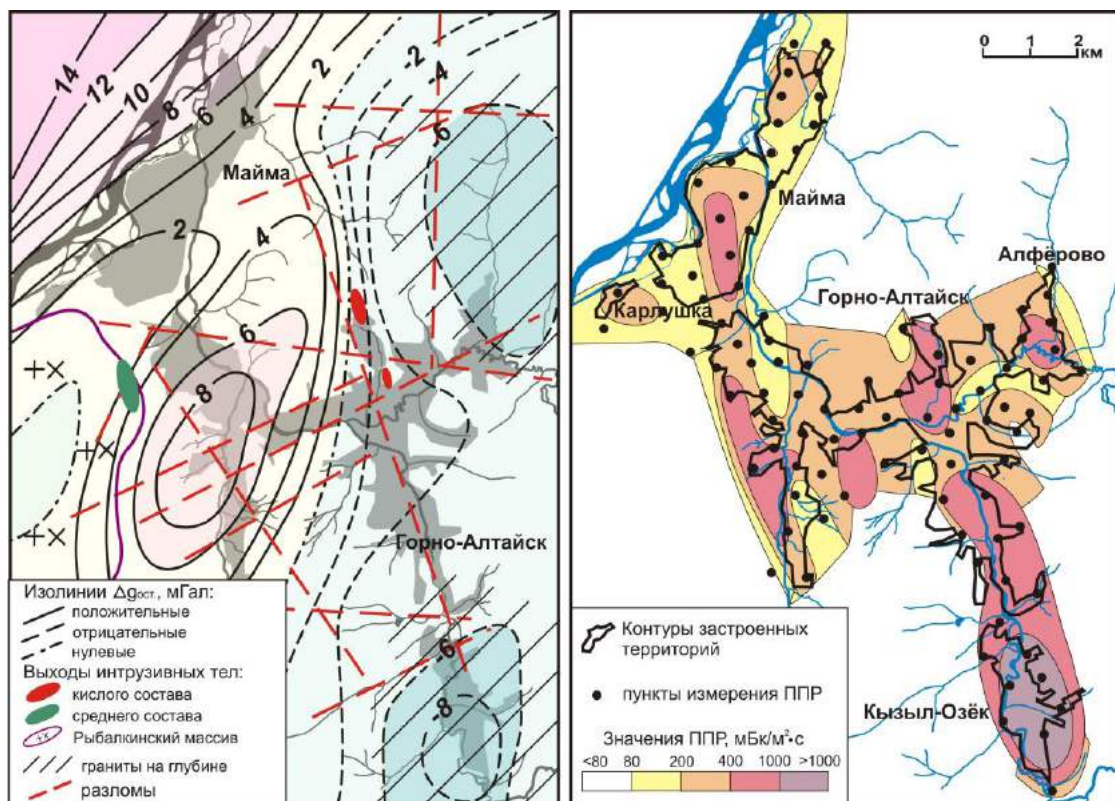


Рисунок 31 – Глубинное геологическое строение района г. Горно-Алтайска (слева); плотность потока радона с поверхности почвы (справа) [81]

Анализ их положения показывает, что большинство из них тяготеет к разрывным нарушениям складчатого фундамента, а также к апикальным зонам нескрытых гранитоидных интрузий в восточной части агломерации (рис. 31).

Согласно полученным данным по распределению ППР (табл. 55), доля площади населенных пунктов агломерации, не требующей защиты зданий от радона, составляет всего 2%, а более двух третей площади с ППР более 200 мБк/м²·с относится к III классу защиты от радона (в с. Кызыл-Озек – 100%).

Известно, что высокие значения ППР способствуют его накоплению в зданиях, особенно в отопительные периоды. Эта особенность наглядно проявлена в распределении ЭРОА на территории г. Горно-Алтайска. Так, здания с опасно повышенными значениями ЭРОА (более 200 кБк/м³) тяготеют к областям значений ППР более 400 мБк/м²·с (рис. 32).

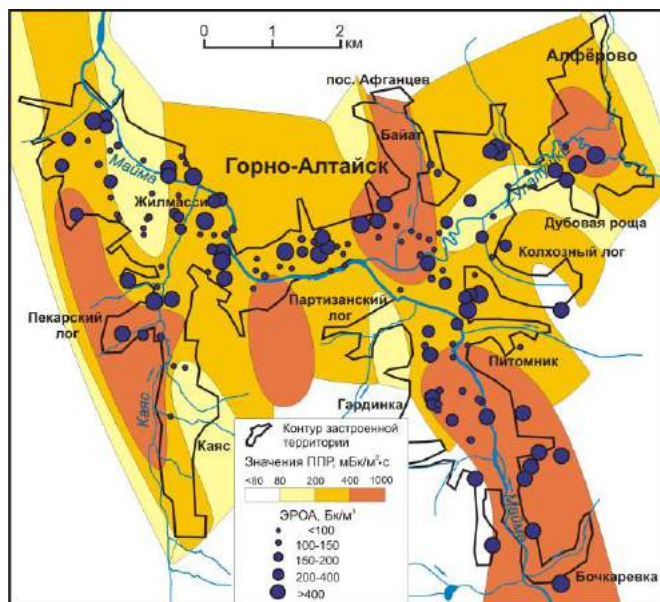


Рисунок 32 – Схема радоноопасности территории г. Горно-Алтайска

Распределение ²²²Rn в жилых и производственных зданиях, помещениях на территории агломерации характеризуется крайней неравномерностью. Так, его средневзвешенная ЭРОА в воздухе помещений в разные годы составляла 155-256 Бк/м³ при максимальных значениях до 5000 Бк/м³ и более [94].

Ранее проведенными работами было предварительно установлено, что 48% площади г. Горно-Алтайска и 34% территории пригородных сел относится к категории опасной по радону (ЭРОА более 200 кБк/м³), требующей проведе-

ния мероприятий по защите от его проникновения в здания [89].

В подземных водах на территории агломерации г. Горно-Алтайска также нередко повышенные концентрации радона, особенно на водозаборах из венд-кембрийских отложений, где эпизодически отмечается превышение ПДК по радону (до 2650 Бк/л или 44 ПДК). Содержание радона в воде водоносных горизонтов, как правило, не превышает гигиенический норматив 60 Бк/л.

В то же время превышений ПДК для суммарной альфа- и бета-активности, обусловленных нахождением в них элементов ториевого и радиевого рядов распада, в подземных водах агломерации не установлено.

Содержание урана в питьевых водах основных водозаборов г. Горно-Алтайска (Улалинский и Майминский) составляет в основном тысячные доли мг/л, но эпизодически повышается до 0,02-0,03 мг/л (табл. 55).

Таблица 55 – Радиологическая характеристика подземных вод агломерации*

Водоносные горизонты	Уран, мкг/дм ³		Радон, Бк/кг		α -активность		β -активность	
	lim	$\bar{x}$	lim	$\bar{x}$	lim	$\bar{x}$	lim	$\bar{x}$
Q _{III-IV}	0,1-1,3	1,0	0,9-85,2	21,2±7,0	0,006-0,043	0,014±0,010	0,002-0,268	0,080±0,010
Q _{II} + Q _{III}	0,8-13	6,5	3,5-42,2	22,2±10,4	0,011-0,057	0,025±0,016	0,085-0,420	0,229±0,018
V-Є ₁ + Q _{III-IV}	1,2-4	2,5	0,9-93,8	21,4±7,4	0,002-0,036	0,011±0,013	0,002-0,036	0,006±0,002
Є ₁	1,6-3,6	2,6	4,0-65,2	18,8±6,4	0,001-0,028	0,010±0,018	0,053-0,534	0,143±0,012
V-Є ₁	0,9-6	2,8	0,1-2650	25,7±5,1	0,003-0,253	0,020±0,015	0,003-0,514	0,103±0,018
ПДК	15		60		0,1		1,0	

Примечание: * – по данным АО "Алтай-Гео" и Управления Роспотребнадзора по Республике Алтай

По данным АО "Алтай-Гео", максимальная активность радона в подземных водах среди литифицированных пород и покровного чехла наблюдались в афтершоковый период Чуйского землетрясения. В это время активность радона в подземных водах агломерации превышала местный фон в 3-50 раз [42].

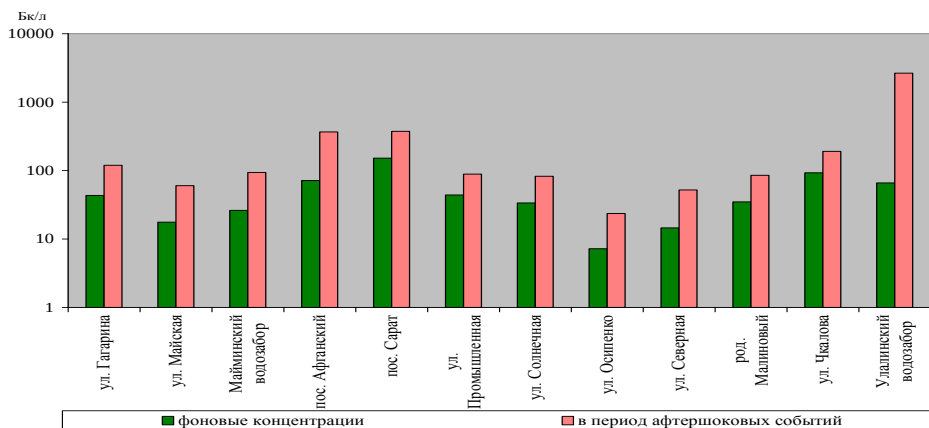


Рисунок 33 – Содержание радона в подземных водах г. Горно-Алтайска (Бк/л)

Техногенные источники радиоактивного загрязнения. На современную радиационную обстановку в районе г. Горно-Алтайска в небольшой степени оказывают влияние глобальные, а также локальные выпадения долгоживущих техногенных радионуклидов – ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ (ТРН), привнесенных при прошлых испытаниях ядерных устройств на Семипалатинском полигоне (СИП).

По архивным данным, в период 1956-1962 гг. в районе установлено 10 случаев аномальных повышений радиационного поля интенсивностью до 1000 мкР/час и более (октябрь 1956 г.). В эти и последующие годы в районе г. Горно-Алтайска и на смежной с ним территории было выявлено около 20 разных по размерам и интенсивности (в основном до 100 мкР/час) очагов прошлого радиоактивного загрязнения почв. Для распределения этих техногенных радионуклидов присуща неоднородность и мелкоочаговый характер первичных выпадений, а также их последующей миграции и аккумуляции, зависящих от типа почв, рельефа, поверхностного стока, материала донных отложений и пр. [89].

Средняя удельная активность ^{137}Cs в почвах агломерации в целом невысока – от 2 до 47 Бк/кг при среднем 8 Бк/кг, а в речных донных илах в три раза ниже (табл. 52). Это указывает на "закрепленный" высококонтрастный ($V>100\%$) характер распределения его прошлых выпадений. Наибольшая плотность остаточного загрязнения ^{137}Cs на территории агломерации составляет 140 мКи/км² (локальный очаг на западном склоне горы Комсомольская). Средняя плотность загрязнения 24 мКи/км², что в целом заметно ниже фона его прошлых глобальных выпадений на территории региона – 40-60 мКи/км² [94].

Для распределения ^{137}Cs в профиле почв характерно резкое уменьшение активности с глубиной. Максимальная плотность его осадка проявлена в интервале 0-5 см. В интервале 0-10 см сосредоточено до 80 % его запасов (рис. 34). Глубина вертикальной миграции ^{137}Cs , как правило, составляет 15-20 см и изредка достигает 30-50 см. Эти особенности его распределения существенно отличаются от поведения естественных радионуклидов, что указывает на различные источники их поступления в почвы – местном для естественных радионуклидов и дальнеприносом для радиоцезия-137 [70].

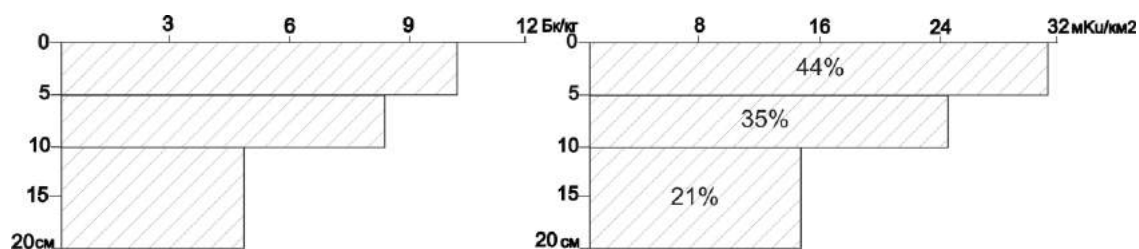


Рисунок 34 – Распределение средней активности (слева) и запасов ^{137}Cs в профиле почв в районе г. Горно-Алтайска [70]

Распределение других техногенных радионуклидов – ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ в природных средах агломерации изучено слабо. Предварительно установлена их тесная сопряженность с остаточными концентрациями ^{137}Cs , при этом плотность осадка ^{90}Sr в 1,5-5 раз (в среднем в 3 раза) меньше. Глубина распространения ^{90}Sr в профиле почв достигает 0,5-1 м и более. При этом с глубиной отношение $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ заметно увеличивается. Эти особенности поведения стронция-90 объясняются иными, по сравнению с цезием-137, факторами, влияющими на его закрепление и миграцию [94].

Установленная по единичным пробам удельная активность радиоизотопа оружейного плутония $^{239,240}\text{Pu}$ в окрестностях г. Горно-Алтайска варьируется в пределах 0,41-1,87 Бк/кг при среднем 0,92 Бк/кг, что заметно выше фона его глобальных выпадений в Сибирском регионе – 0,2-0,3 Бк/кг [96].

Современное поступление ТРН на территорию района за счет глобальных выпадений незначительно и находится на фоновом уровне для Сибирского региона – 1-5 Бк/м²·сутки. Так, по данным Запсибгидромета, в 2011 г. плотность загрязнения почв за счет атмосферных выпадений ^{137}Cs не превышала 1,62 кБк/м² при среднем значении 0,44 кБк/м², ^{226}Ra – 0,7 кБк/м² (среднее 0,5 кБк/м²), а среднесуточная бета-активность на территории РА составила 1,14-1,23 Бк/м² [94].

Представляется, что охарактеризованные выше современные остаточные концентрации техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска не влияют на радиационный фон территории агломерации и не представляют опасности для ее населения.

3.9 Природные и техногенные физические поля

Естественные физические или геофизические поля являются одним из важных факторов воздействия на геоэкологическое состояние (качество) окружающей среды селитебных территорий. Известно, что они отражают вещественный состав геологических образований и особенности его распределения в приповерхностной части земной коры [116].

К критериям качества геологических образований относится также степень их неоднородности (анизотропии), одним из показателей которой является разломная трещиноватость горных пород. Известно, что разломные структуры нередко выражаются аномально повышенными градиентами геофизических полей и сопровождаются неотектоническими подвижками. К ним тяготеют радоносные участки, зоны биологического дискомфорта (геопатогенеза), области энергоперетоков в системе верхние слои литосферы – ближний космос [122].

Ранее проведенными в районе г. Горно-Алтайска геофизическими съемками масштаба 1:25000-1:200000 изучены естественные поля: магнитное (аэро- и, частично, наземными съемками), гравитационное, электрическое, радиационное. Материалы съемок явились основой предварительного анализа их влияния на геоэкологическое состояние (качество) окружающей среды района.

Магнитное поле, создаваемое горным породами на территории агломерации в целом малоконтрастное (амплитуда до 500-600 нТл) и слабоинтенсивное, слабо отрицательное (над карбонатными толщами) и умеренно положительное над толщами базальтоидов. Градиенты поля не превышают 400-450 нТл, его структура линейно-очаговая, генеральная ориентировка субмеридиональная.

Гравитационное поле, отражающее глубинное геологическое строение территории, в целом весьма контрастное. Район г. Горно-Алтайска находится в градиентной зоне поля тяжести интенсивностью до 35 мГал, которая разделяет субмеридиональную линейную положительную аномалию в долине р. Катунь (субдукционный палеошов) и отрицательное поле силы тяжести на востоке района (область герцинской гранитизации, не выходящей на эрозионный срез).

Из других линеаментов остаточного поля силы тяжести в районе проявлена субширотная градиентная зона (неотектонический фас Горного Алтая) и градиентная зона северо-восточного направления, предположительно контролирующая область гранитизации складчатого фундамента. Таким образом, район находится в узле пересечения глубинных разломов этих трех направлений.

Характер естественного электрического поля (ЕЭП), детально изученный в окрестностях с. Майма, свидетельствует об его превалирующих отрицательных значениях и наличии ряда контрастных высокоинтенсивных аномалий (от 0,1 до 1 мВ и более при суточных вариациях до 0,11 мВ). Установлена их приуроченность к приразломным электрогенерационным зонам графитизации и пиритизации на участках развития карбонатных толщ.

По данным [122], район характеризуется высоким уровнем развития природных самосветящихся образований – своеобразной формой проявления электромагнитных процессов в тектонически напряженных участках (узлах) земной коры, к которым относится территория агломерации г. Горно-Алтайска.

Радиационное поле на площади агломерации имеет в целом фоновый для региона характер, но характеризуется повышенным и высоким уровнем радионеперспективности (более детальное описание приведено в предыдущем разделе).

Биофизические поля в пределах агломерации ранее изучены на отдельных профилях, на которых группой операторов был выявлен ряд энергоактивных зон, большинство которых совпали с разломными зонами. Поскольку для района г. Горно-Алтайска средняя плотность тектонических нарушений III-IV порядков составляет более 1 п. км/км², степень негативного влияния потенциальных зон биологического дискомфорта на население агломерации можно предварительно оценить, как слабо (с. Майма) и умеренно (город) повышенную.

В качестве резюме приведенной краткой характеристики комплекса природных физических полей в районе г. Горно-Алтайска необходимо отметить, что в своем сочетанном виде они предположительно оказывают значимое негативное воздействие на жителей отдельных локальных территорий, выявление которых является темой отдельного исследования.

Локально проявленными, но потенциально значимыми видами антропогенного воздействия на окружающую среду являются техногенные физические поля: акустические, вибрационные, электромагнитные и пр. На территории агломерации они изучены весьма слабо, в основном ведется мониторинг акустической обстановки в центре г. Горно-Алтайска и с. Майма.

Имеющиеся данные свидетельствуют о заметно повышенном уровне шума вблизи основных автомагистралей агломерации: федеральной трассы М-52 (Чуйский тракт) в с. Майма и с. Карлушка; пр. Коммунистический, ул. Чорос-Гуркина и ул. Барнаульская в Горно-Алтайске; ул. Советская в с. Кызыл-Озек. Уровень шума на них эпизодически достигает более 100 дБ при допустимом уровне 45-55 дБ, особенно в районе бывших мебельной и ткацкой фабрик и на разъезде в с. Майма (рис. 35). Следует отметить, что на территории агломерации отсутствуют промышленные предприятия и другие производственные объекты с уровнем шума, превышающим гигиенические нормы.

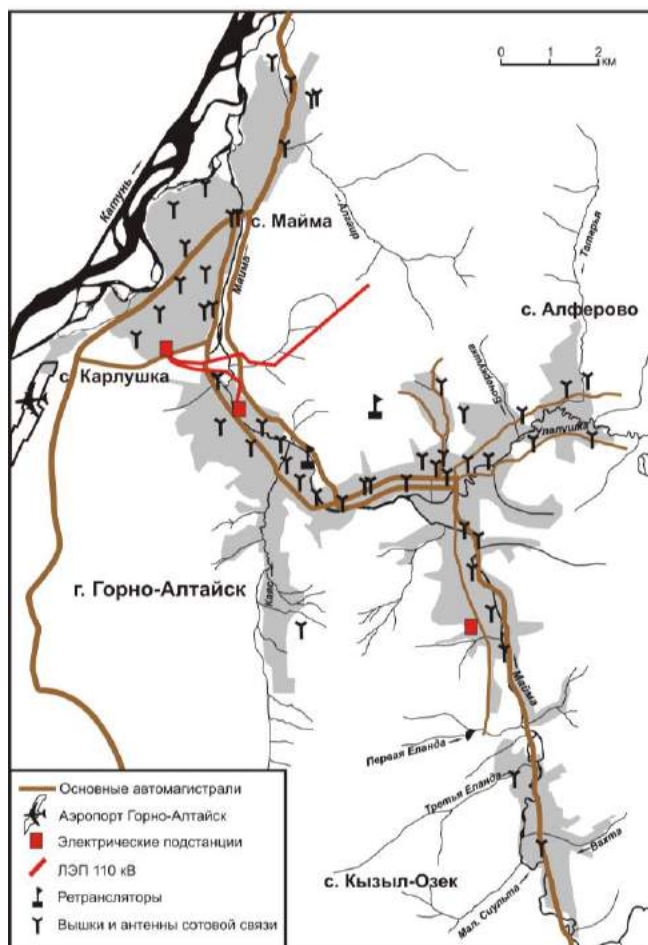


Рисунок 35 – Источники наведенных физических полей в районе Горно-Алтайска

В последние годы в связи с бурным ростом числа автомобилей возрос уровень акустического шума, особенно на вышеотмеченных улицах, на которых в отдельные часы отмечается шумовой дискомфорт для населения. Высокий уровень шума (более 100 дБ) отмечается также на территории с. Карлушка и частично с. Майма во время взлета и посадки магистральных авиалайнеров в аэропорту Горно-Алтайск.

Вибрационное воздействие в районе г. Горно-Алтайска создается в основном движущимися транспортными средствами, строительными машинами, механизмами и проявляется сотрясением земной поверхности и зданий. Известно, что с экологических позиций создаваемые этими источниками виброколебания с частотой до 20 Гц и амплитудой до 0,25 мм, хотя и ощутимы, но не вызывают неприятных последствий для человека. Отметим, что практически не изученный на территории агломерации уровень вибрации не производит деформацию грунтов и не создает оседания земной поверхности.

К источникам вредного электромагнитного излучения (загрязнения) на изученной территории относятся телерадиотрансляторы, радиолокационные установки, вышки сотовой связи, линии электропередач высокого напряжения. Они разделяются на точечные (объектные) и линейные (линии электропередач).

В пределах агломерации находится ряд электрических подстанций и ЛЭП, генерирующих электромагнитные поля низкой частоты, а также большое количество источников электромагнитных полей радиочастотного диапазона (рис. 35), области опасного облучения которыми находятся в пределах прямой видимости их антенных устройств. В связи с тем обстоятельством, что частоты передачи многих из них не известны надзорным органам, в том числе Управлению Роспотребнадзора по РА, уровни электромагнитного фона, создаваемого большинством вышеотмеченных источников, в настоящее время не известны.

В заключение необходимо отметить, что охарактеризованные техногенные физические поля, особенно акустические и электромагнитные, представляют собой значимый фактор воздействия на здоровье населения агломерации и поэтому нуждаются в дальнейшем углубленном изучении.

3.10 Современные опасные геологические процессы

Современные опасные геологические процессы в районе г. Горно-Алтайска представлены как экзогенными, так и эндогенными процессами.

Экзогенные геологические процессы (ЭГП) являются основополагающими ролевыми элементами в оценке экологического состояния территорий, чем выше пораженность ЭГП, тем ниже ее экологический статус (качество) [28]. Освоение территорий с высокой степенью пораженности ЭГП возможно только при проведении мероприятий, нейтрализующих их негативное воздействие.

На территории агломерации г. Горно-Алтайска опасные ЭГП имеют широкое распространение при разной степени интенсивности. Преобладающие их типы представлены процессами эрозионного и гравитационного ряда, среди которых доминируют береговая эрозия, затопление, подтопление, оползневые процессы (табл. 56).

Таблица 56 – Характеристика опасных ЭГП в районе г. Горно-Алтайска

Типы ЭГП	Элементы рельефа, механизм образования	Режимообразующие факторы	Активности ЭГП	Площадь га	Места проявления
ЭГП гравитационного класса (оползневые процессы)					
Оползни древние циркообразные	Сдвиг, оседание блоков, скольжение и течение разжиженных пород	Метеорологические, геологические	Низкая	10-60	Майма, Горно-Алтайск
То же фронтальные	Вязкопластичное течение пород		Очень низкая	10-100	Горно-Алтайск, Кызыл-Озек
Оползни современные покровные	Течение и скольжение разрыхленных и разжиженных пород	Метеорологические, геологические, техногенные	Средняя	0,01-0,1	Агломерация и ее окрестности
То же блоковые	Скольжение, оседание блоков; течение разжиженных пород		Средняя-высокая	0,05-50	Горно-Алтайск
То же оползни-потоки	Течение разжиженных пород	Метеорологические	Низкая	0,01-0,1	Объездная автодорога
ЭГП гравитационного класса (обвально-осыпные процессы)					
Обвалы, камнепады	Крутые склоны, техногенные расчистки	Метеорологические, сейсмические	Очень низкая	0,01-0,1	Горно-Алтайск м/р Поселок
Осыпи	Крутые склоны, техногенные уступы	Метеорологические			Объездная автодорога
Лавины	Крутые склоны		Низкая	0,01-0,2	Объездная автодорога, уроч. Еланда
ЭГП гидрогенного класса (эрозионные процессы)					
Береговая эрозия	Береговые уступы поймы (подмыв берегов)	Метеорологические, гидрологические, геологические	Высокая	длина 50-500 м	Прибрежные зоны рек Катунь, Майма Улалушка, Каяс и др.
Затопление	Пониженные участки поймы (наводнение)			0,1-20	
Подтопление	Пониженные участки поймы (подъем УГВ)		Средняя-высокая	0,01-1	К-Озек, Майма, Горно-Алтайск
Заболачивание	Низкие участки поймы	Гидрологические	Низкая	1-10	Майма, Улала

с. Майма

с. Карлушка

г. Горно-Алтайск

с. Алферово

с. Кызыл-Озек

Катунь

Каяс

Майма

Майма

0 1 2 км

а б

Области максимального затопления (а), подтопления (б) в 2014 г.

а б

Протяженные (а) и локальные (б) участки береговой эрозии

Участки заболачивания

Обвально-осыпные склоны

Оползневые склоны

а б

Древние площадные (а) и локальные (б) оползни

Современные локальные оползни

а б

Оползнеопасные (а) и потенциально оползнеопасные (б) зоны риска

а б

Застроенная территория (а), берегозащитные сооружения (б)

Рисунок 36 – Проявления опасных ЭГП в районе г. Горно-Алтайска

По фондовым материалам, в районе г. Горно-Алтайска известно более сотни оползней и оползнеопасных склонов. Непосредственно в пределах агломерации выявлено около 30 древних и современных оползней, в том числе 10 гигантских древних оползней циркообразного и фронтального типа размером до 1 км в диаметре и длиной до 3-4 км по уступу (табл. 57).

Таблица 57 – Параметры и примеры оползней в районе г. Горно-Алтайска

Показатели	Голоценовые оползни	Современные оползни
Возраст основного деформирующего горизонта	Элювиально-делювиальные отложения четвертичного возраста нерасчлененные (покровный комплекс ed_{I-III}) и субэральные лессовидные отложения краснодубровской свиты ($saQ_{I-II}krd$)	
Площадь оползней	1-60 га	0,01-5 га
Глубина захвата пород	до 50-100 м	до 1-10 м
Объем смещенных пород	до 5 млн. м ³	до 0,5 млн. м ³
Примеры оползней	Майминский оползень	Оползень по ул. Гагарина, 45
Примеры разрушенных строений	Спортшкола (с. Майма)	Усадьбы по ул. Гагарина, 45; ул. Черноплодная, 10 (Горно-Алтайск)

По времени образования все оползни делятся на две категории: 1) древние оползни, формирование которых произошло в позднем голоцене (1-5 тысяч лет назад); 2) современные, образовавшиеся в последние десятилетия.

По механизму смещения оползневые массивы представлены оползнями скольжения и блокового сдвига, значительно реже оползнями течения. Современные оползни образованы в основном комбинацией скольжения, оседания блоков и течения разрыхленных и разжиженных пород [28]. Древние оползни относятся к оползням вязко-пластичного течения без видимого нарушения пород (фронтальные оползни), либо блоковые оползни (циркообразные оползни).

По морфологии доминируют циркообразные оползни, более редки фронтальные и глетчерообразные формы. Большинство оползней приурочено к склонам средней крутизны. Наименьшая крутизна характерна для оползневых склонов, осложненных выходами грунтовых вод. Установлены следующие закономерности развития оползневых процессов на территории агломерации:

- приуроченность оползневых массивов к полям развития отложений краснодубровской свиты и к образованиям покровного склонового комплекса;
- унаследованный от древних оползней характер образования современ-

ных оползней в пространстве, по морфологии и механизмам смещения;

- связь современных оползней и активизации древних оползней с зонами разгрузки грунтовых вод;

- триггерная роль метеогенных факторов (снеготаяние и режим увлажнения) в образовании современных оползней.

В настоящее время большинство древних оползневых структур не активны и не представляют опасности, однако в пределах отдельных из них развиваются деформации, угрожающие инженерно-хозяйственным объектам и жилым строениям, но их масштабы и степень опасности в целом невысокие.

Примером таких локальных оползневых деформаций служит долина руч. Бочеркушка, где в 1998-2011 гг. на территории усадьбы по ул. Гагарина, 45 в г. Горно-Алтайске активно развивался оползень суффозионно-консистентного типа, в результате чего был полностью разрушен жилой дом (рис. 37).



Рисунок 37 – Разрушенный оползнем дом по ул. Гагарина, 45 в г. Горно-Алтайске

При решающей роли метеогенных факторов развития и активизации оползневых процессов важную роль играет и техногенный фактор, проявленный подрезкой склонов при строительстве, нарушением стока грунтовых вод, утечками воды из систем водоснабжения и пр. Считается [28], что спусковым механизмом для развития оползневых деформаций служат:

- резкий подъем уровня грунтовых вод, вызывающий изменение консистенции суглинков и глин вплоть до текучепластичного состояния;

– длительные ливневые осадки, вызывающие обводнение оползневого массива и идентичные изменения консистенции;

– развитие новейших деформаций вследствие сейсмических событий, в т.ч. разрывных нарушений, способствующих отрыву и смещению массивов.

В последние 20 лет наиболее оползнеактивными были 2001, 2006, 2010 и 2017 годы. В эти годы активизировался ряд мелких оползневых структур площадью 100-1000 м² с глубиной захвата пород не более 1-3 м. В 2017 году было зафиксировано образование новых оползней с глубиной захвата 5-10 м и площадью 0,8-3,6 га (рис. 38), что указывает на нарастание оползневой опасности.



Рисунок 38 – Уступ крупного оползня площадью 3,6 га образованного в 2017 г.

Обвалы, осыпи, камнепады на территории агломерации развиты локально на участках высоких скальных выходов коренных пород в местах прижимов автодорог к подошвам крутых склонов. На них наблюдается мелкое пересыпание дорог и редкие небольшие камнепады. Каких-либо опасных ситуаций, связанных с данным типом ЭГП, в последние годы не возникало.

Лавины. Лавиноопасные участки в пределах агломерации приурочены к крутым заснеженным склонам различной экспозиции, имеющим большой перепад высот, лоткообразные формы рельефа и высокий режим увлажнения. Небольшие лавины были зафиксированы в прошлые годы в урочище Еланда, на объездной дороге Майма – Горно-Алтайск. Их мощность составляет от 0,5 до 1,5 м, длина 50-100 м, форма – конусы выноса, реже фронтальные шлейфы.

Наиболее крупные лавины перекрывали дороги в основании склонов.

Гидрогенные процессы представлены комплексом процессов, связанных с деятельностью поверхностных водных объектов. Их активизация зависит от ряда природных факторов, доминирующими являются: литологический состав пород, аллювиальные формы рельефа, гидрометеорологические условия территории. Из гидрогенных процессов наиболее распространены: береговая эрозия; процессы затопления пониженных участков поймы в половодье и дождевые паводки; процессы подтопления, обусловленные подпором грунтовых вод на пике половодья и в дождевые паводки.

Негативное воздействие на инженерно-хозяйственные объекты оказывают в основном процессы береговой эрозии, выражающиеся в глубинной переработке русел и боковой (береговой) эрозии береговых уступов рек Катунь и Майма. Следы эрозии проявлены в виде блоков обрушения, в заливообразной линии берега, свежих трещинах отпора, развитых вдоль береговой линии. Негативное воздействие эрозионных процессов носит, как правило, необратимый характер и состоит в безвозвратной потере прибрежных земель, а нередко и в разрушении инженерно-хозяйственных и жилых объектов.

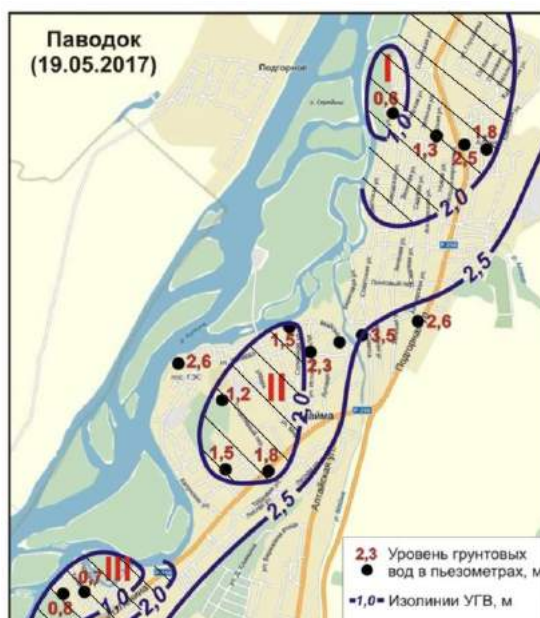
В окрестностях с. Майма размыв берегов р. Катунь на отдельных участках происходит со скоростью до 10-26 м/год. Меньший по масштабам береговой размыв с затоплением пониженных участков поймы характерен для р. Майма и ее притоков Каяс и Улалушка. В последнее время процессы затопления территории агломерации приводили к возникновению чрезвычайных ситуаций локального и федерального уровня в 2001, 2006, 2010, 2012 и 2014 гг.

Процессы затопления проявлены в пики весеннего половодья и реже во время аномальных дождевых паводков. Затоплению подвергаются пониженные участки прибрежной территории агломерации, в том числе старицы, сухие протоки, замкнутые западины. Масштабы затопления напрямую связаны с уровнями подъема воды в основных реках.

С процессами затопления, как правило, тесно сопряжены **процессы подтопления**, развивающиеся за счет гидравлического подпора грунтовых вод в

области их подземной разгрузки. Нередко зоны подтопления объединяются с зонами затопления или проявляются в сложных сочетаниях, обусловленных как характером мезорельефа земной поверхности, так и динамическим режимом грунтовых вод. В границах зон подтопления выделяются: территории сильного подтопления при глубине УГВ менее 0,3 м от поверхности; умеренного подтопления при УГВ 0,3-2 м; слабого затопления – при глубине УГВ 2-3 м.

Так, на территории с. Майма выявлено 3 участка опасного подтопления: на севере села (микрорайоны Алгаир и Алгаир-2, ОПХ "Чуйское"), второй в его центре (ЦРБ, стадион "Дружба"), третий на острове Южный (рис. 39).



В период 2004-2018 гг. в радиусе до 200 км от г. Горно-Алтайска произошло 27 сейсмособытий магнитудой 2-4,3, в том числе в радиусе до 50 км в 11 событий магнитудой до 4,2 (табл. 58). Эпицентры отдельных землетрясений (2004, 2014, 2017 гг.) находились на расстоянии всего 4-12 км от центра г. Горно-Алтайска (рис. 40). Большинство землетрясений ощущалась в пределах агломерации в виде вибрации, гула, раскачивания предметов и пр.

Таблица 58 – Сейсмособытия в районе г. Горно-Алтайска в 2004-2018 гг.

Год	Магнитуда			Удаленность, км			Румб к эпицентру, град.				Регион		Всего событий
	< 3,0	3,1-4,0	> 4,0	0-50	50-100	>100	0-90	90-180	180-270	270-360	РА	АК	
2004	–	2	–	2	–	–	–	–	1	1	1	1	2
2005	–	1	–	–	–	1	1	–	–	–	–	1	1
2006	1	–	–	1	–	–	–	–	1	–	1	–	1
2011	1	–	–	–	1	–	1	–	–	–	1	–	1
2012	2	1	–	1	1	1	1	–	2	–	1	2	3
2013	3	1	–	1	2	1	1	–	3	–	2	2	4
2014	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	4
2015	4	3	–	2	4	1	1	–	6	–	5	2	7
2016	1	1	–	1	1	–	–	1	–	1	1	1	2
2017	–	1	–	1	–	–	1	–	–	–	1	–	1
2018	–	–	1	1	–	–	–	–	1	–	–	1	1
Итого:	13	12	2	11	10	6	7	2	15	3	14	13	27

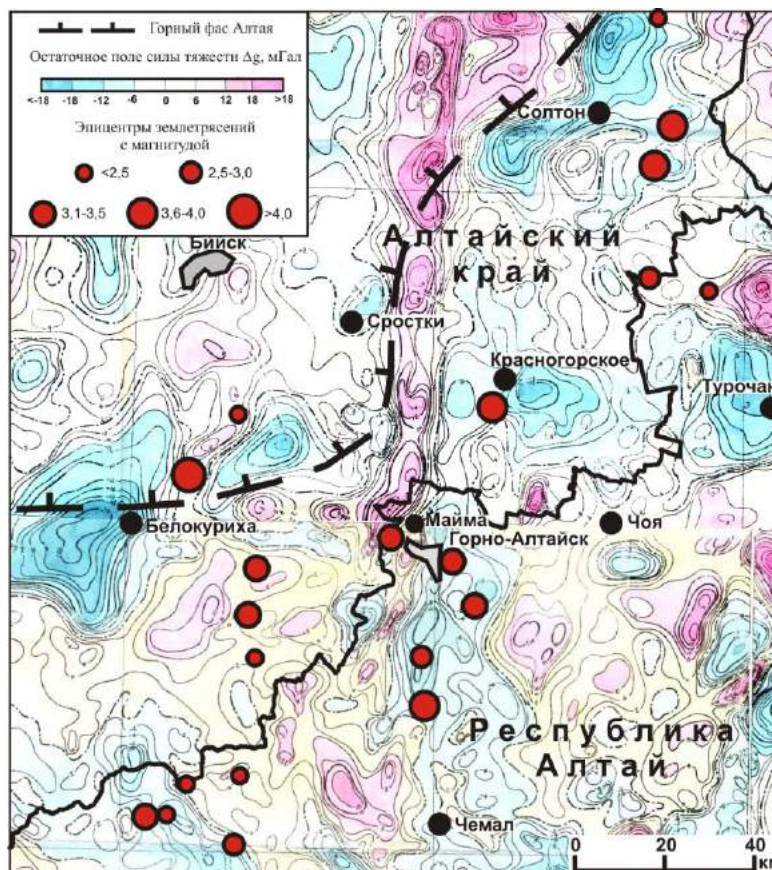


Рисунок 40 – Эпицентры землетрясений на севере Горного Алтая в 2004-2018 гг.

Преобладающее сейсмическое воздействие от землетрясений территория агломерации испытывает с южного, юго-западного (55,5% от общего числа) и северо-восточного (26%) направлений, что согласуется с положением активных сейсмических зон, основные из которых представлены субширотным горным фасом Горного Алтая и субмеридиональными сейсмогенными разломными структурами региона (рис. 40). Если в период 2003-2006 гг. активизация сейсмической активности в районе была связана с афтершоками Чуйского землетрясения 2003 г. ($M=7,5$), то в последние 5-7 лет она обусловлена в основном сейсмособытиями на смежной территории Алтае-Саянского региона (рис. 41).



Рисунок 41 – Сейсмическая активность территории РА в период 2001-2016 гг.

Установлено, что основные последствия крупного Чуйского землетрясения и его афтершокового процесса на территории агломерации проявились, главным образом, в подземной гидросфере в виде заметных нарушений динамического режима и усложнения гидрохимического состава вод, реже проявлениями термальных и радоновых вод. В течение последующих лет происходила постепенная релаксация этих "наведенных" особенностей подземных вод [42].

По имеющимся данным, химический состав вод венд-нижнекембрийских образований чутко реагирует на продолжающиеся сейсмические толчки аномальными изменениями pH, содержания фтора, МЭ, соединений азота и др. [42], что в конечном итоге негативно сказывается на качестве питьевой воды.

Несмотря на повышенную сейсмоактивность района, каких-либо заметных сейсмодислокаций и разрушений хозяйственных объектов во время землетрясений на территории агломерации в 21 веке не отмечалось.

Глава 4 Геоэкологическая обстановка на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Геоэкологическое состояние (качество) окружающей среды формируется при участии природных и антропогенных факторов, первые из которых определяют ее природное качество, а вторые – степень техногенных изменений [2]. Геоэкологическая обстановка на территории урбанизированных территорий, к которым относится агломерация г. Горно-Алтайска, представляет собой интегральное качество основных компонентов окружающей среды – атмосферного воздуха, почв и природных вод, описанных в предыдущей главе.

Кроме них, на степень благоприятности окружающей среды для проживания и хозяйственной деятельности населения влияет радиационная обстановка, природные и техногенные физические поля, опасные экзогенные и эндогенные геологические процессы и др. В частности, на нее влияет степень анизотропии геологических образований, проявленной в виде разломных структур, к которым тяготеют радононосные участки, геопатогенные зоны, аномальные градиенты геофизических полей, зоны неотектонических подвижек и пр.

На рубеже 20-21 веков экологическое состояние основных компонентов окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска оценивалось в целом как условно благоприятное и малоблагоприятное, участками – неблагоприятное в зимний период [106]. Основными экологическими проблемами агломерации в этот период являлись: высокая запыленность и, частично, загазованность воздушной среды в зимний период; средняя и высокая загрязненность почв и поверхностных вод, а также повышенная радоноопасность территории.

В последние десятилетия экологическая обстановка на территории агломерации заметно изменилась. Так, после перевода основных котельных на природный газ улучшилось качество атмосферного воздуха и, как следствие, состояние снежного покрова и, частично, почв и поверхностных вод. Тем не менее, на ряде участков агломерации сохранились очаги прошлого загрязнения почвенного покрова, негативно влияющие на характеризующее ниже геоэкологическое состояние сопряженных с почвами компонентов окружающей среды.

4.1 Геоэкологическое состояние компонентов окружающей среды на территории агломерации

Почвы. Охарактеризованные в разделе 3.2.1 тренды поведения комплекса изученных физико-химических свойств почв и особенности их проявления на территории агломерации позволяют считать выбросы котельных основным фактором негативных изменений ФХС почвенного покрова.

На это указывает приуроченность участков умеренного и сильного изменения ФХС к площадям с повышенной пылевой нагрузкой и их локализация в узлах концентрации угольных котельных и вблизи основных автомагистралей в г. Горно-Алтайске и в центре с. Майма, то есть в наиболее урбанизированных частях агломерации. На ее окраинах проявлены минимальные изменения ФХС почв и пониженные значения запыленности воздушного бассейна (рис. 42).

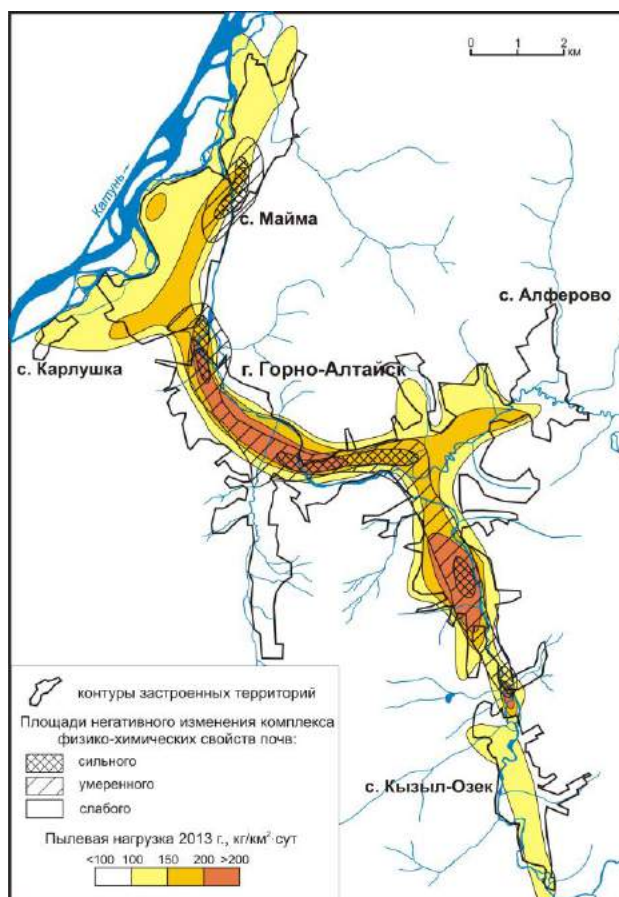


Рисунок 42 – Районирование территории агломерации г. Горно-Алтайска по степени негативных изменений комплекса физико-химических свойств почв

Основными загрязнителями почв агломерации являются тяжелые металлы, содержание которых на отдельных участках и объектах достигает первых

ПДК. К ним относятся в основном ванадий, хром, никель, кобальт, цинк, медь, свинец. Содержание последнего в почвах колеблется в пределах 6-190 мг/кг, при среднем около 20 мг/кг [107]. Изоконцентратой свинца 1 ПДК оконтурен ряд локальных участков в районе нефтебазы, Гардинка, остановок Мебельная, Ткацкий и центра с. Майма, то есть наиболее загруженные дороги, а также территории автотранспортных предприятий и угольных котельных (рис. 43).

Отметим, что в начале 2000-х гг. средняя доля вклада свинца в загрязнение почв оценивалась величиной 23,2% [55], а в настоящее время всего 10,2%, что объясняется прекращением использования этилированных бензинов и снижением выбросов в атмосферу от стационарных источников загрязнения.

Содержание ртути – другого ТМ 1-го класса опасности в почвах агломерации находится на невысоком уровне (менее 0,1 ПДК), но ее распределение полностью повторяет особенности распределения свинца. На основании этого можно предполагать общность источника их поступления в почвы агломерации.

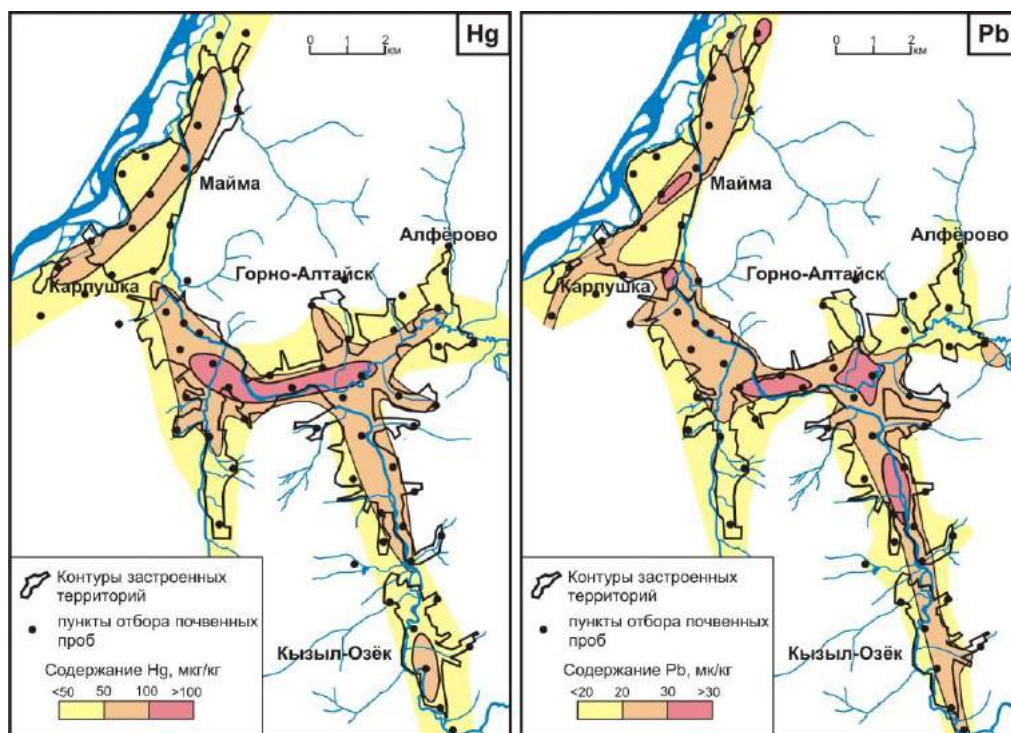


Рисунок 43 – Распределение ртути и свинца в почвах района г. Горно-Алтайска

К числу опасных экотоксикантов антропогенного происхождения относятся хлорорганические пестициды ДДТ и ГХЦГ (ХОП), интенсивно использовавшиеся в 1960-1980-е годы в овощеводстве, садоводстве, хмелеводстве.

Предыдущими работами [55, 56] на территории агломерации было выявлено около десятка локальных участков прошлого загрязнения почв ХОП в местах их хранения и применения, последние из которых представлены в основном бывшими хмельниками, ягодными и овощными плантациями (рис. 44).

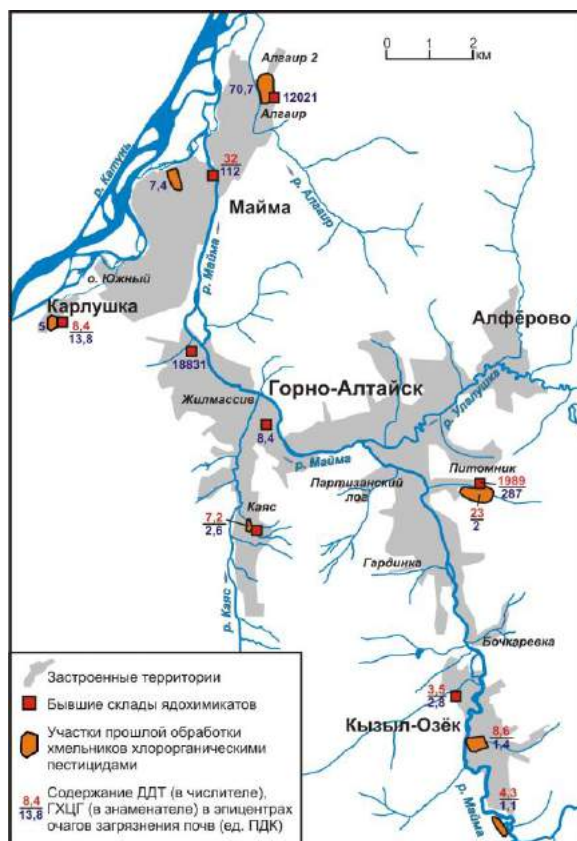


Рисунок 44 – Объекты прошлого хранения и применения ХОП на территории агломерации г. Горно-Алтайска по [52]

В пределах агломерации выявлены локальные участки загрязнения ХОП:

- очаг загрязнения ДДТ почв м/р "Питомник" размером 120×60 м по изоконцентрате 5 ПДК на фоне площадного загрязнения почв 2-5 ПДК (рис. 45);
- бывшая овощная плантация на севере м/р Каяс, на которой остаточные концентрации ДДТ в почвах достигают 7,2 ПДК, ГХЦГ до 2,6 ПДК;
- лагерь отдыха "Космос", ежегодно обрабатываемый от иксодового клеща. Концентрации ДДТ в почве 2,8-3,6 ПДК, ГХЦГ до 1,8 ПДК;
- Алтайская противочумная станция. На месте склада ядохимикатов выявлен очаг загрязнения почв ДДТ размером 50×35 м по изоконцентрате 1 ПДК;
- м/р Алгаир и Алгаир-2, бывшая СЭС, хмельник в центре с. Майма. Ряд локальных участков загрязнения почв с содержанием ДДТ до 74 ПДК;

- лагерь отдыха "Черемушки", бывший склад ядохимикатов и хмельник в с. Кызыл-Озек. Локальные участки загрязнения почв ДДТ (до 85,5 ПДК);
- бывшие склады ядохимикатов и хмельник в с. Карлушка. Локальные очаги загрязнения почв ДДТ размером 200×100 м (8,4 ПДК), ГХЦГ (13,8 ПДК).

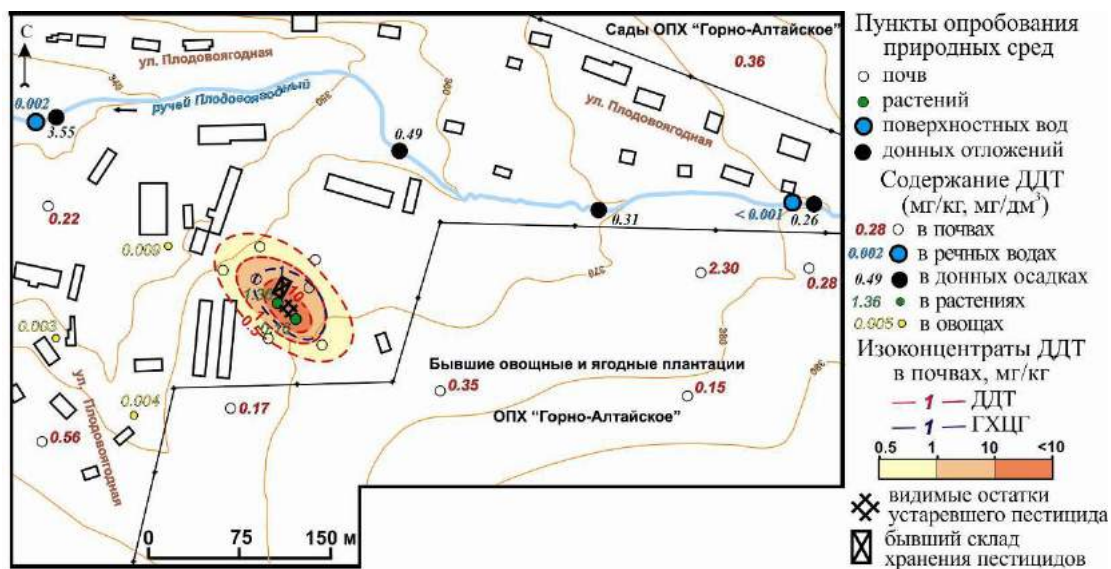


Рисунок 45 – Характер загрязнения ХОП природных сред в м/р "Питомник" [52]

Таким образом, экологическое состояние почвенного покрова на территории агломерации г. Горно-Алтайска находится в целом на условно благоприятном уровне, однако в ряде мест имеются локальные очаги повышенного, реже высокого загрязнения тяжелыми металлами и хлорорганическими пестицидами, привнесенными в основном во время бывшей хозяйственной деятельности.

Поверхностные воды. Основными источниками поступления загрязняющих веществ в водные объекты агломерации являются: выбросы от стационарных и передвижных источников; плоскостной смыв с промплощадок, котельных, полигонов ТБО, животноводческих ферм, домашних подворий; дрены загрязненных ливневых и грунтовых вод; сбросы очистных сооружений.

Особенностью антропогенного загрязнения поверхностных вод агломерации является узкий спектр экотоксикантов в воде, объясняемый отсутствием крупных и средних промышленных предприятий. Установленные загрязнители представлены в основном формами минерального азота, фосфатами, фенолами, нефтепродуктами, взвешенными веществами, ПАВ, железом. Максимумы их проявления, как правило, имеют ясно выраженный сезонный характер [85, 95].

Содержание изученных загрязняющих веществ в воде р. Майма увеличивается от ее истока (условный фон) до устья, где составляет 2 фона по аммонийному азоту, 2,4 фона по нитритам и нитратам, 2,1 фона по хлоридам и ХПК, 1,8 фона по взвешенным веществам, 20 фонов по фосфатам. На графиках (рис. 46) видны два локальных "нарушения" состава воды, одно из них проявлено на "входе" реки в с. Кызыл-Озек, а другое ниже сброса стоков очистных сооружений города. При этом гидрохимический тип воды сохраняется от истока до устья реки, что говорит о невысоком уровне антропогенного влияния хозяйственной деятельности агломерации на экологическое состояние воды р. Майма.

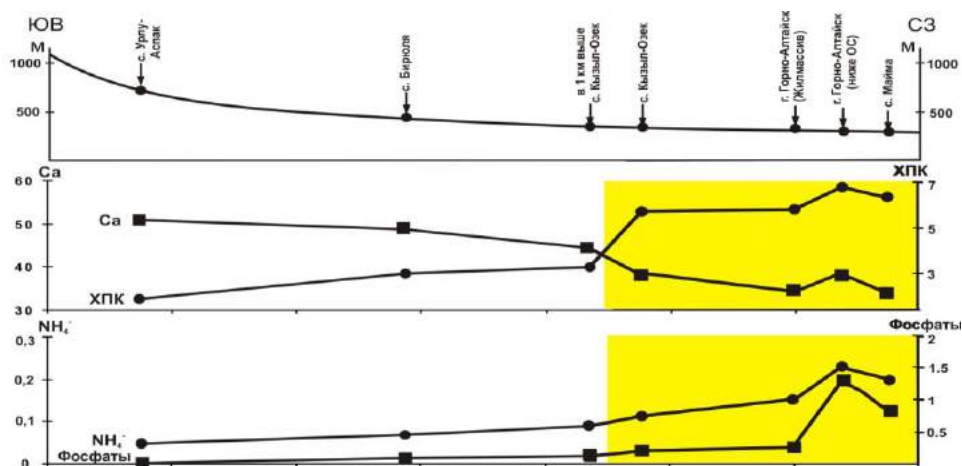


Рисунок 46 – Тренды химического состава воды р. Майма от истока до устья (подкрашена территория агломерации г. Горно-Алтайска)

Сравнение средних концентраций загрязняющих веществ в воде р. Майма показывает, что в черте г. Горно-Алтайска их содержание на 14-215% выше, чем на территории пригородных сел (табл. 59). Это обстоятельство прямо указывает на превалирующий вклад города в загрязнение поверхностных вод

Таблица 59 – Содержание загрязнителей в воде р. Майма в 2015 г., мг/дм³

Населенные пункты	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	PO_4^-	НФ	Fe	Cu	Zn
Горно-Алтайск	0,30	0,041	16,29	15,81	12,83	1,73	0,028	0,50	0,0012	0,0014
Пригородные села	0,20	0,032	5,17	9,54	4,28	1,01	0,016	0,44	<0,001	<0,001
Город/пригороды, %	150	128	315	166	300	171	175	114	> 100	> 100

Примечание: выделены концентрации равные и более 0,5 ПДК для вод рыбохозяйственных

Характер распределения загрязняющих веществ в воде р. Майма свидетельствует об ясно выраженных трендах увеличения их концентраций на территории агломерации и, особенно, в пределах г. Горно-Алтайска и затем неболь-

шого снижения в черте с. Майма (табл. 60). Это указывает на превалирующий вклад города в загрязнение поверхностных вод агломерации, а также на слабое воздействие с. Майма на экологическое состояние реки.

Таблица 60 – Тренды загрязнителей в воде р. Майма в районе г. Горно-Алтайска

Населенные пункты	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	PO_4^{3-}	ХПК
Кызыл-Озек	0,11	0,005	2,5	5,8	2,1	0,19	5,7
Горно-Алтайск (ЮВ часть)	0,15	0,006	3,0	6,0	2,6	0,26	5,8
Горно-Алтайск (СЗ часть)	0,23	0,041	16,3	15,8	12,8	1,73	6,8
Майма	0,20	0,024	4,9	8,1	4,3	0,81	6,3

Примечание: выделены максимальные концентрации загрязняющих веществ

Следует отметить, что в ряду природных вод агломерации (снеготалая – ливневая – поверхностная – грунтовая) закономерно увеличивается среднее содержание многих изученных загрязняющих веществ, кроме нефтепродуктов, фосфатов и взвешенных веществ. Максимальные концентрации в этих природных водах иона аммония, нитритов, реже нитратов и нефтепродуктов превышает ПДК для вод водоемов рыбохозяйственного назначения (табл. 61).

Таблица 61 – Уровень загрязнения природных вод в районе г. Горно-Алтайска

Типы вод	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	PO_4^{3-}	ВВ	НП
Среднее содержание, мг/дм ³								
Снеготалая	0,95	0,08	0,6	1,8	2,3	–	–	–
Ливневая	0,03	0,08	3,4	11,8	5,1	0,43	524,5	1,20
Поверхностная	0,10	0,10	5,7	13,6	5,5	0,20	114,4	0,016
Грунтовая	0,43	0,30	34,7	24,0	18,6	0,29	–	0,03
Максимальные концентрации, ед. ПДК для вод рыбхозводоемов								
Снеготалая	2,4	1,8	0,03	0,02	0,01	–	–	–
Ливневая	0,2	2,4	0,15	0,15	0,04	–	–	44,6
Поверхностная	0,5	2,9	0,36	0,20	0,07	–	–	1,6
Грунтовая	4,0	26,0	3,0	0,55	0,22	–	–	0,6

ВВ – взвешенные вещества; НП – нефтепродукты; прочерк – нет данных или не установлены ПДК

Донные отложения. Геоэкологическое состояние речных отложений соответствует таковому для поверхностных вод. Уровень их загрязнения в целом невысокий. Повышенные концентрации ТМ (до 1-2 ПДК для почв) в ряде пунктов представлены хромом, мышьяком, цинком, а также ХОП (ДДТ). Для ряда ТМ (Hg, Cu, Zn, Pb и др.) уровень загрязнения речных отложений р. Майма в черте города г. Горно-Алтайска на 4-18 % выше, чем в пригородных селах.

Грунтовые воды. Геоэкологическое состояние (качество) грунтовых вод агломерации по величине показателя химического загрязнения оценивается как

средне- и реже высокозагрязненное. Характер загрязнения вод отражает специфику хозяйственной деятельности. Доля антропогенных компонентов, в т.ч. органики, в них достигает 27% [95]. Несомненно, что загрязненные грунтовые воды обуславливают дополнительное загрязнение руслового стока р. Майма.

Установленные в индивидуальных колонках концентрации нитратов в грунтовых водах достигают 2,6 ПДК, аммония до 4 ПДК, нитритов до 2,8 мг/дм³, хлоридов 66,3 мг/дм³, жесткость 11 мг-экв/дм³, минерализации до 1,0 г/дм³. В населенных пунктах агломерации выявлен ряд участков загрязнения вод соединениями азота, фосфатами, а также превышения фона по жесткости, ХПК и минерализации (рис. 47). Все эти очаги загрязнения соединениями минерального азота, особенно нитратами, приурочены к частному сектору агломерации и, по-видимому, связаны с наличием домашнего скота.

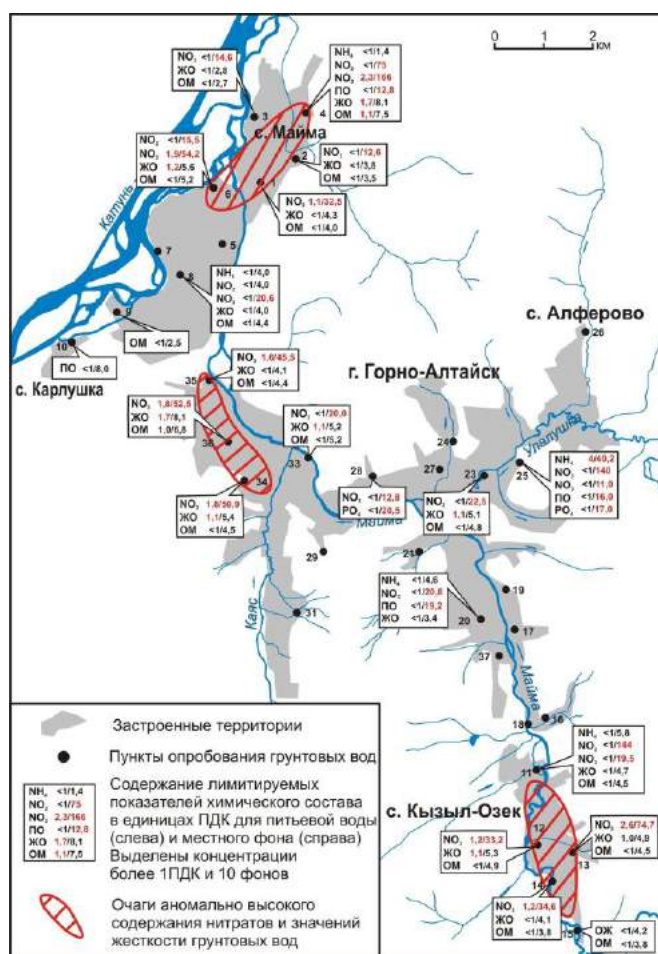


Рисунок 47 – Характер загрязнения грунтовых вод в районе г. Горно-Алтайска

Подземные воды. Трещинные и карстово-трещинные воды в черте агломерации не загрязнены или слабо загрязнены в случае их связи с поверхност-

ными и грунтовыми водами (Майминский водозабор). Часть из них содержит природные повышенные концентрации кальция (до 1,5 ПДК) и магния (до 3 ПДК), что обуславливает повышенную жесткость воды – до 7-10 мг-экв/дм³.

Сточные воды. В разделе 3.6 была показана значимая роль сточных вод ливневой канализации и сбросов очистных сооружений г. Горно-Алтайска в загрязнение воды р. Майма. В стоках ливневой канализации постоянно присутствуют повышенные концентрации ряда загрязняющих веществ антропогенного происхождения, превышающие ПДК – нитритов до 2,4 раз, нефтепродуктов до 44,6 раза, взвешенных веществ и фосфатов до 30 и 7 фонов соответственно

В распределении основных загрязнителей ливневых стоков – нефтепродуктов и взвешенных веществ имеет место определенная закономерность, проявленная в увеличении их концентраций в выпусках ливневки сверху вниз по течению р. Майма. В этом направлении содержание нефтепродуктов увеличивается в 7 раз, а взвешенных веществ в 40 раз (рис. 48).

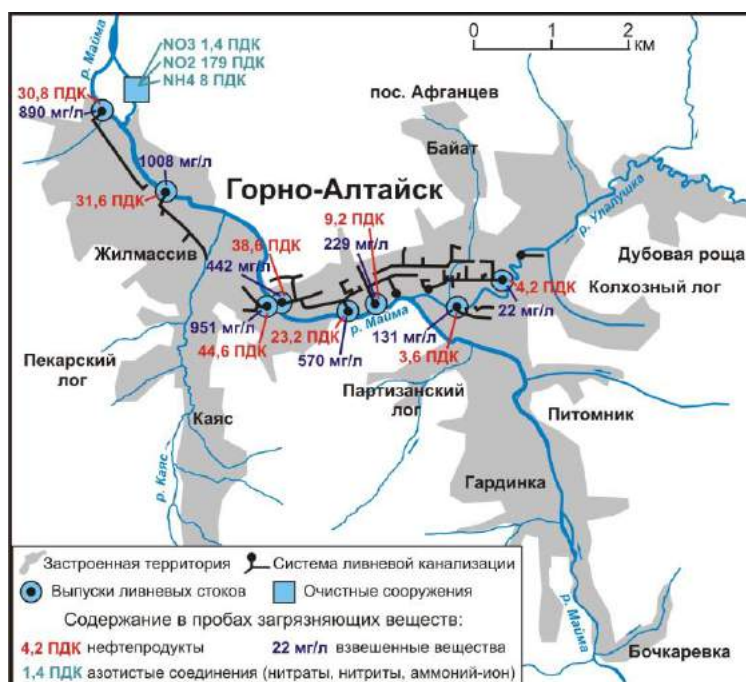


Рисунок 48 – Характер загрязнения сточных и сбросных вод в г. Горно-Алтайске

В сбросных водах очистных сооружений также присутствует ряд загрязнителей, в основном соединений минерального азота, фосфатов и взвешенных веществ, многократно превышающих ПДК для вод водоемов рыбохозяйственного назначения, к которым относится р. Майма. Так, содержание иона аммония в сбросах

достигает 8,5 ПДК, нитритов 321,8 ПДК, нитратов 2,5 ПДК, сульфатов и хлоридов 0,5 ПДК, фосфатов и взвешенных веществ – 45 и 58 фонов соответственно.

Древесные растения. Установленная локализация наибольших негативных изменений показателей состояния березы повислой, а также биогеохимических ореолов и зольности листьев тополя черного в пределах участков с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха и почвенного покрова указывает на единый источник загрязнения всего комплекса природных сред на территории агломерации.

Приведенная характеристика загрязнения и негативных изменений показателей состояния изученных компонентов окружающей среды в районе агломерации г. Горно-Алтайска позволяет сделать следующие выводы:

- в настоящее время геоэкологическое состояние (качество) атмосферного воздуха и подземных вод складчатого фундамента находится на удовлетворительном условно благоприятном для населения уровне;

- геоэкологическое состояние почв, поверхностных вод, донных отложений рек, а также грунтовых вод в основном находится на удовлетворительном и малоудовлетворительном (слабо загрязненном) уровне, а на отдельных участках на неудовлетворительном (средне и высоко загрязненном) уровне;

- жизненное состояние древостоя находится в целом на удовлетворительном уровне, а на отдельных участках – на малоудовлетворительном уровне.

Геоэкологическое состояние компонентов окружающей среды. Результаты оценки геоэкологического состояния изученных компонентов окружающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска позволяют представить его в следующем обобщенном виде (табл. 62), из которого видно, что для большинства компонентов присуща в целом невысокая околофоновая и слабая степень антропогенного загрязнения (изменения).

На основании экспертных данных [65] и собственных представлений, автором оценен максимальный вклад (при высоком уровне загрязнения или негативного изменения) изученных показателей компонентов окружающей среды в геоэкологическую обстановку на территории агломерации. Вклад почвенного

покрова оценен в 25%, радиационной ситуации – 20%, приземной атмосферы – 15%, грунтовых и поверхностных вод – 10%, остальные компоненты в 3-7%.

Таблица 62 – Показатели состояния изученных компонентов окружающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Компоненты, поля, процессы	Показатели состояния компонентов окружающей среды	Степень загрязнения (изменения)*		
		от – до	средняя	вклад**
Приземная атмосфера	Содержание газов, пылевая нагрузка	1-2	1,5	15
Почвенный покров	Уровень значений комплекса ФХС	1-3	2	5
	Уровень загрязнения ТМ	1-3	2	10
	Уровень загрязнения ХОП	1-4	2	10
Поверхностные воды	Уровень загрязнения экотоксикантами	1-2	1,5	10
Донные отложения	Уровень загрязнения ТМ	1-2	1,5	3
Грунтовые воды	Уровень загрязнения экотоксикантами	1-3	2	10
Подземные воды	Уровень загрязнения экотоксикантами	1	1	0
Древесные растения	Биофизические показатели (береза)	1-3	2	5
	Элементный состав, зольность (тополь)	1-3	2	
Радиационная ситуация	Величины ППР, ЭРОА, ТРН	1-4	3	20
Физические поля	Уровень природных, техногенных полей	1-2	1,5	5
Опасные ЭГП	Степень проявления опасных ЭГП	1-3	2,5	7

* – загрязнение (изменения): 1 – околофоновое, 2 – слабое, 3 – среднее, 4 – высокое; ** – экспертная оценка максимального вклада показателей в геоэкологическое состояние окружающей среды, %

Исходя из этих оценок вклада показателей, а также особенностей распределения их фактических значений в пределах агломерации, автором проведено районирование ее территории по величине интегрального показателя благоприятности геоэкологической обстановки, рассчитанного как сумма значений показателей состояния компонентов (в процентах): до 25% – условно благоприятная, 25-50% – малоблагоприятная, 50-75% – неблагоприятная, 75-100% – крайне неблагоприятная. Результаты районирования (рис. 49) свидетельствуют о том, что геоэкологическая обстановка на территории агломерации находится в основном на условно благоприятном уровне и, в небольшой степени, на малоблагоприятном и неблагоприятном уровне, особенно в центре Горно-Алтайска, Маймы, Кызыл-Озека. Среднее значение показателя благоприятности для агломерации – 30%. Доля территории с условно благоприятной обстановкой равна 70% (21 км²), малоблагоприятной – 27% (8 км²), неблагоприятной – 3% (1 км²).

В 1997 г. степень благоприятности геоэкологической обстановки составляла 2,4 балла (из 5 возможных) при вариациях 1,6-3,8 баллов (от условно благоприятного до неблагоприятного состояния) [41]. Для авторского подхода это составляло в среднем 48%. Налицо улучшение обстановки за последние 20 лет.

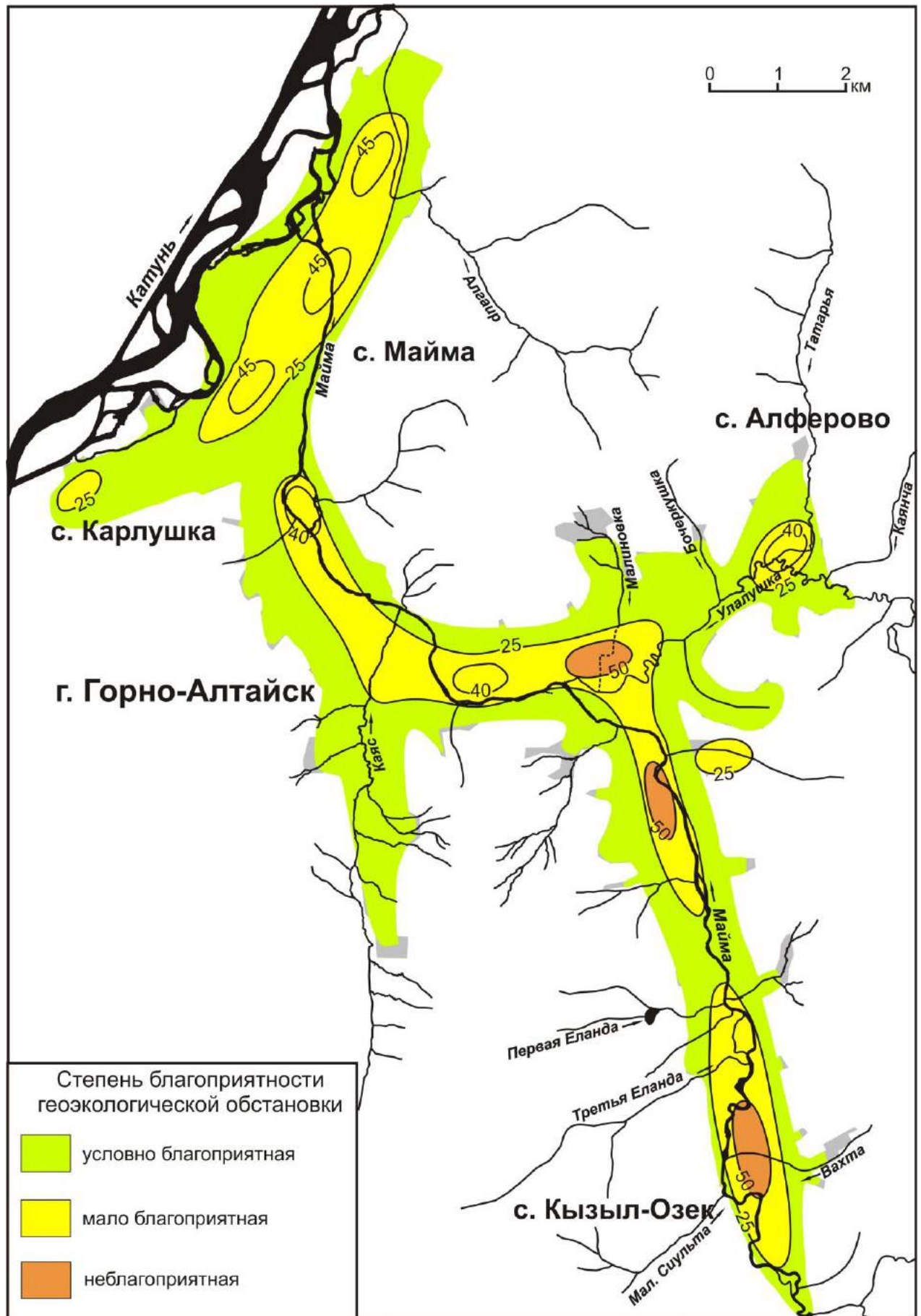


Рисунок 49 – Районирование территории агломерации г. Горно-Алтайска по уровню геоэкологического состояния окружающей среды

4.2 Особенности пространственного распределения показателей геоэкологического состояния компонентов окружающей среды

Изучение особенностей пространственного распределения эколого-геохимических показателей изученных природных сред в районе г. Горно-Алтайска являлось одной из основных задач проведенного исследования. Их изучение проведено в разрезе природных сред для территории агломерации (площадное или латеральное распределение) и по интервалам абсолютных отметок местности (высотное-поясное распределение).

В разделе 3.1.1 было отмечено, что повышенные значения пылевой нагрузки и ряда показателей химического состава снеготалой воды, проявленные в западной и центральной части г. Горно-Алтайска и в центре с. Майма, тяготеют к основным автомагистралям и узлам концентрации угольных котельных.

Такая же картина наблюдается в пространственной локализации аномально повышенных (пониженных) значений изученных физико-химических свойств почв, проявленных в пределах наиболее урбанизированных частей агломерации, особенно вблизи крупных автомагистралей и скоплений котельных.

В распределении педохимических ореолов ассоциации халькофильных элементов (Cu, Pb, Zn, Ag) и пространственно сопряженных с ними отрицательных ореолов группы сидерофильных элементов (Fe, Ti, Mn, Cr, V, Ni, Co) также проявлена приуроченность к центральной части г. Горно-Алтайска (пр. Коммунистический, ул. Чорос-Гуркина и Ленина).

В распределении повышенных (пониженных) значений биофизических параметров березы, для которых на территории агломерации г. Горно-Алтайска имеют место следующие особенности:

- выделяется 2 основных области таких значений в с. Майма и в городе;
- в с. Майма эти области приурочены к Чуйскому тракту, а в городе к пр. Коммунистический, улицам Чорос-Гуркина и Ленина;
- их эпицентры локализованы в с. Майма на отрезке разъезд – с. Карлушка, в г. Горно-Алтайске – от остановки "Тракторная" до м/р "Гардинка".

Основные ассоциации химических элементов в золе листьев тополя образуют на территории агломерации как положительные (Ca, Na, Fe, Ba и др.), так и отрицательные (Zn, As, Sb, Br, Ag, Au и др.) биогеохимические ореолы, пространственно совпадающие между собой и с областями аномальных значений биофизических параметров березы. Они также тяготеют к Чуйскому тракту в центре и на юге с. Майма и к центральным улицам г. Горно-Алтайска (рис. 50).

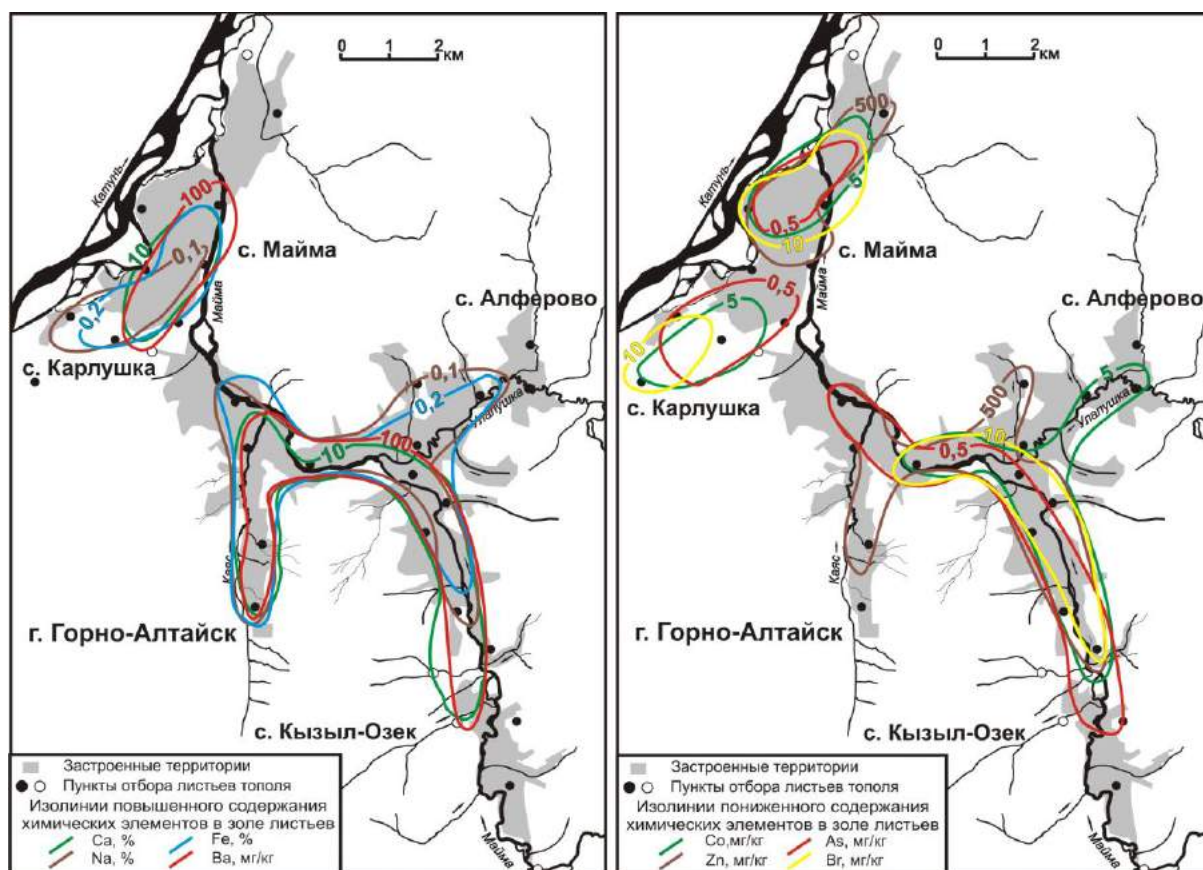


Рисунок 50 – Биогеохимические ореолы МЭ в золе листьев тополя (слева – ореолы повышенных концентраций МЭ, справа – ореолы пониженных концентраций МЭ)

Установлено, что распределение на территории агломерации микроэлементов, аккумулирующихся в лишайнике *Caloplaca* sp., имеет однотипный характер. Предварительно выявлены две области повышенного содержания МЭ в лишайнике. Основная из этих областей охватывает центральную и восточную части г. Горно-Алтайска, а второстепенная – центр с. Майма (район разъезда). Обе они тяготеют к участкам концентрации котельных, работающим (работавшим) на углях Кузнецкого бассейна (рис. 51).

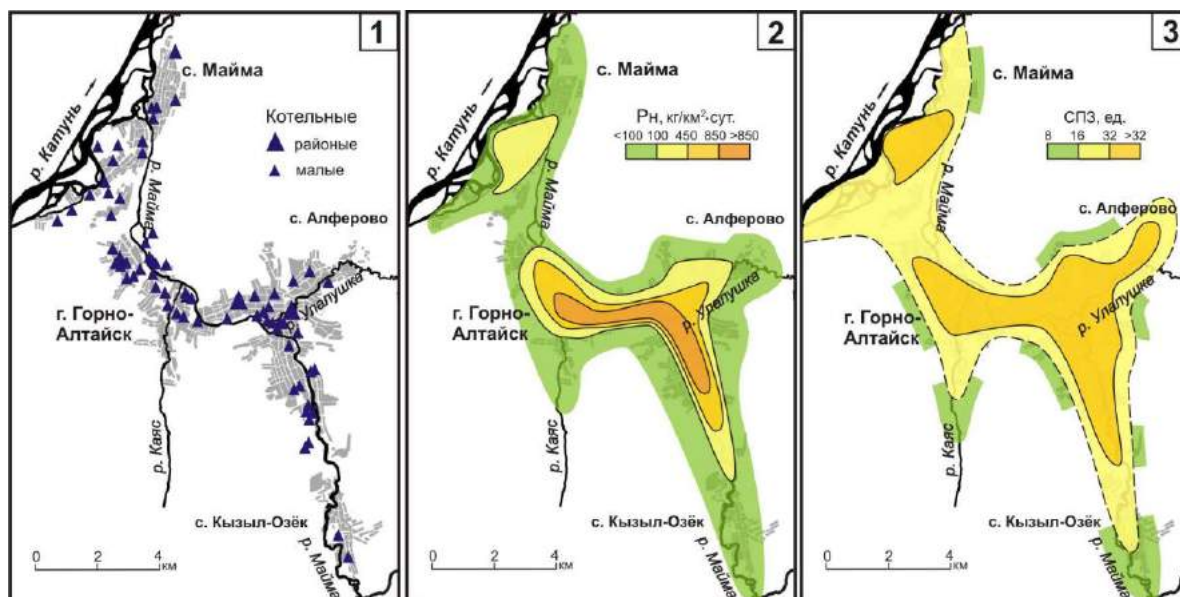


Рисунок 51 – Схема угольных котельных (1) и пылевой нагрузки (2) в пределах агломерации (1997г.), распределение СПЗ для МЭ в лишайнике *Caloplaca* sp. (3)

С учетом вышеизложенного, особенности пространственного (латерального) распределения показателей экологического состояния всех компонентов окружающей среды, изученных на территории агломерации г. Горно-Алтайска, устанавливаются однозначно. В наибольшей степени аномально повышенные и пониженные значения изученных показателей проявлены в центральной части города и, частично, с. Майма. В небольшой степени они характерны для центра с. Кызыл-Озек и практически не проявлены или слабо проявлены для отдельных природных сред на территории пригородных сел Карлушка и Алферово.

Анализ средних значений показателей изученных природных сред для четырех высотных поясов – менее 300 м, 300-350 м (днище долины р. Майма), 350-400 м и более 400 м (борта долины р. Майма) показал наличие отчетливо выраженных разнонаправленных трендов их распределения в этом ряду поясов.

Установлено, что пылевая нагрузка на территории агломерации имеет обратную значимую ($r = 99\%$) связь с абсолютной и относительной (над урезом р. Майма) высотой местности (рис. 52). При этом максимальная нагрузка проявлена на территории с отметками менее 300 м, а на высоте более 400 м она составляет всего 30% от нее значения на высоте менее 300 м (табл. 63). За последние 4 года запыленность воздушного бассейна города сократилась почти вдвое, при этом наибольшее снижение отмечено на верхних гипсометрических "ярусах".

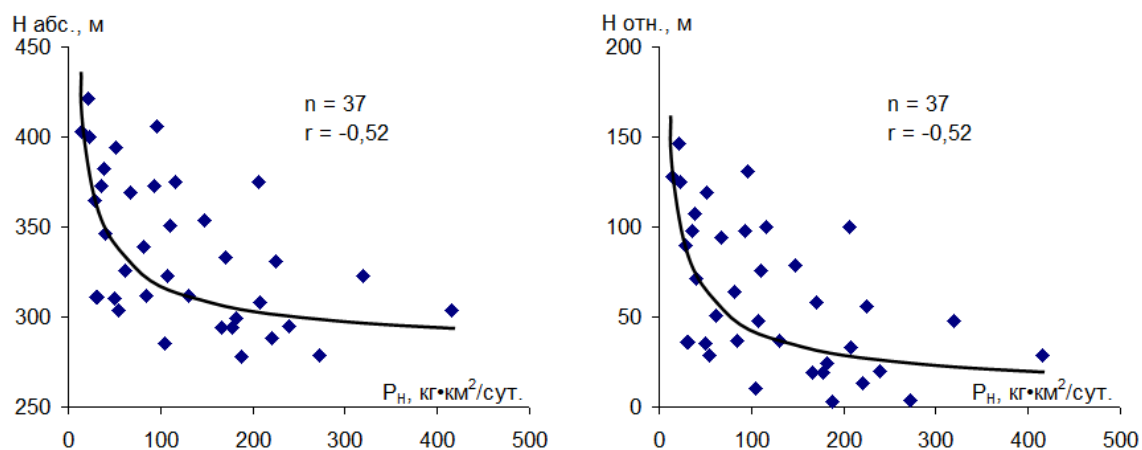


Рисунок 52 – Связь пылевой нагрузки в отопительный период с абсолютной (слева) и относительной (справа) высотой местности в г. Горно-Алтайске

Таблица 63 – Распределение пылевой нагрузки в интервалах гипсометрических отметок на территории г. Горно-Алтайска в 2013-2017 гг.

Пылевая нагрузка (число проб)	Средние значения по интервалам абсолютных высот, кг/км ² ·сут.				Отношение, >400 м/<300 м
	<300 м	300-350 м	350-400 м	>400 м	
2013 г. (n=39)	178	134	83	55	31%
2017 г. (n=19)	98	70	41	25	29%

В почвенном покрове города, являющемся реципиентом всех загрязняющих веществ, проявлены аналогичные закономерности высотно-поясного распределения ФХС, элементного состава и активности ЕРН-ТРН. Так, в распределении тяжелых металлов в почвах проявлены разнонаправленные тренды увеличения с высотой местности содержания элементов группы железа (на 17-34%) и уменьшения на 19-53 % содержания элементов группы серы (рис. 53).

Эта геохимическая особенность может быть объяснена с позиции разубоживания фоновых концентраций сидерофильных ТМ и повышения халькофильных ТМ при воздействии на почвы города пылеаэрозольных выпадений от котельных и транспорта. На это указывают соответственно пониженное и повышенное содержание этих групп ТМ в твердом остатке снеговых проб.

Отличительной чертой ореолов рассеяния сидерофильных ТМ, является их ясно выраженный отрицательный характер по отношению к местному фону почв, обусловленный его разубоживанием пониженными концентрациями элементов в привносимом материале. Его поступление в конечном итоге приводит к уменьшению содержания элементов в верхнем слое почвы [107].

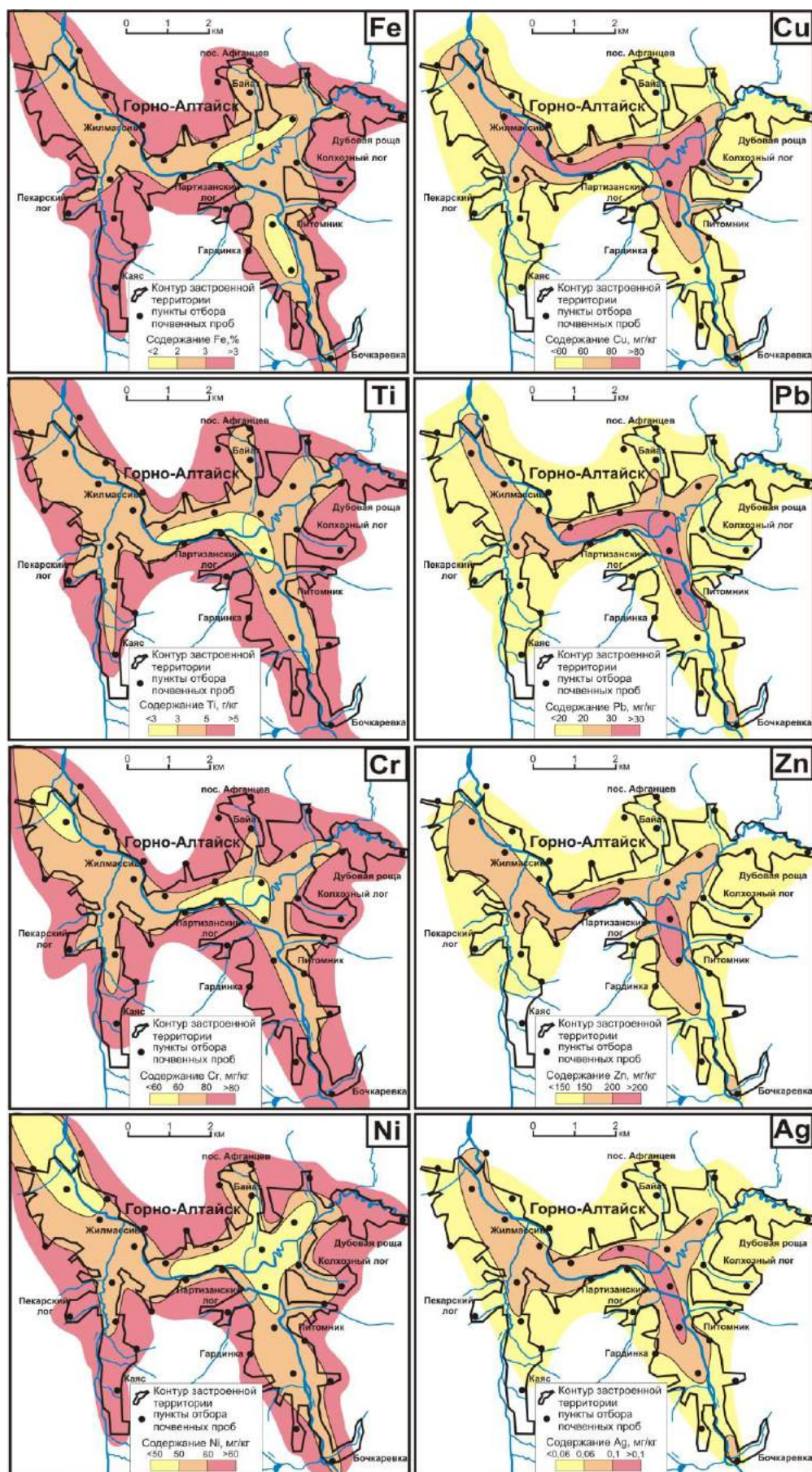


Рисунок 53 – Особенности распределения сидерофильных (левый ряд) и халькофильных (правый ряд) элементов в почвах г. Горно-Алтайска

Содержание естественных радионуклидов увеличивается с высотой местности на 7-31%, а ^{137}Cs , напротив, уменьшается более чем в два раза. Эта же тенденция проявлена и для физико-химических свойств почв, для которых в центре г. Горно-Алтайска проявлены повышенные на 15-50 % значения рН водного и магнитной восприимчивости (табл. 64).

Таблица 64 – Характер распределения показателей состава почв г. Горно-Алтайска

Показатели	Значения по интервалам абсолютных высот (число проб)				Отношение, >400 м/<300 м, ед.
	<300 м (n=11)	300-350 м (n=10)	350-400 м (n=7)	>400 м (n=4)	
Физико-химические свойства					
рН, ед.	7,00	6,95	6,43	5,95	0,85
α, 10 ⁻⁵ СИ	108,6	88,2	67,8	62,4	0,57
Элементный химический состав					
Ca, %	1,37	1,31	0,88	0,80	0,58
Na, %	1,35	1,25	1,07	0,85	0,63
Fe, %	3,00	3,18	3,30	3,43	1,14
Cr, мг/кг	87,1	97,7	108,3	116,7	1,34
V, мг/кг	88,6	94,2	95,6	99,2	1,20
Mn, мг/кг	730,3	733,3	738,5	857,1	1,17
Ni, мг/кг	42,5	42,9	44,6	52,2	1,23
Co, мг/кг	22,9	24,2	27,5	30,0	1,31
Cu, мг/кг	47,8	45,8	44,6	38,6	0,81
Zn, мг/кг	132,3	116,7	95,6	85,7	0,65
Pb, мг/кг	21,2	19,6	17,2	15,7	0,74
Mo, мг/кг	1,33	1,23	1,11	1,00	0,75
Hg, мг/кг	0,091	0,075	0,051	0,043	0,47
Естественные и техногенные радионуклиды					
²²⁶ Ra, мг/кг	2,06	2,11	2,53	2,70	1,31
²³² Th, мг/кг	6,24	6,78	7,13	7,45	1,19
⁴⁰ K, %	1,21	1,25	1,33	1,34	1,07
¹³⁷ Cs, Бк/кг	12,4	8,2	7,0	6,0	0,48

Выделены максимальные (жирным) и минимальные (курсивом) значения показателей

Примером вышеотмеченного тренда уменьшения с высотой местности содержания халькофильных элементов группы серы может служить распределение ртути на территории г. Горно-Алтайска, для которого имеет место значимая линейная обратная связь, проявленная на всех изученных трансектах в разных частях города (рис. 54).

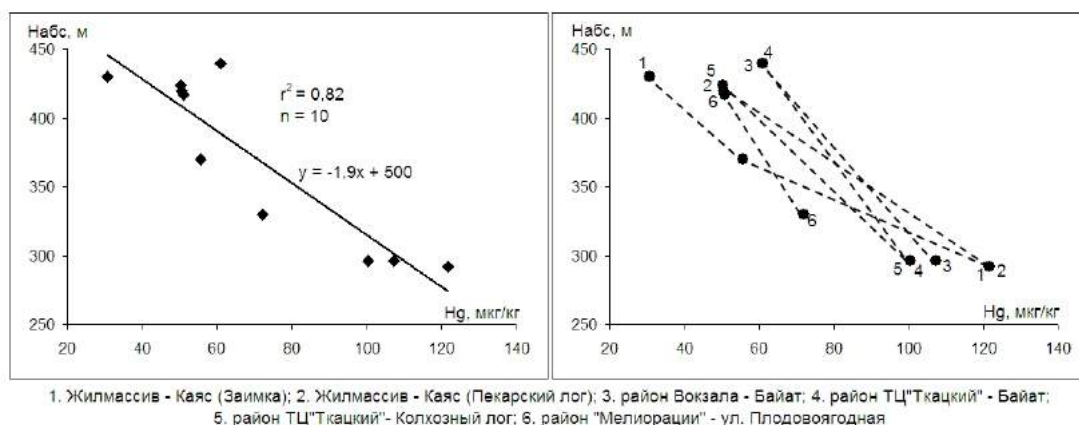


Рисунок 54 – Зависимость содержания ртути в почвах г. Горно-Алтайска от высоты местности

В высотном распределении биофизических показателей и элементного состава древесных растений также отчетливо проявлены закономерности, идентичные установленным для почв. В частности, для березы повислой отмечены тренды увеличения с высотой местности влажности корней и ствола, величины его радиального прироста, величины асимметрии листьев. Противоположная тенденция проявлена для температуры корней и ствола березы. Можно считать, что на высотах более 100-120 м над р. Майма (отметки более 400 м), показатели состояния березы в целом соответствует их фоновому уровню (табл. 65).

Таблица 65 – Показатели состояния березы на территории г. Горно-Алтайска

Показатели	Значения по интервалам высот				Отношение >400 м/<300 м, ед.
	<300 м	300-350 м	350-400 м	>400 м	
Категория жизненного состояния	2,2	1,4	1,3	1,0	0,45
Средняя температура ствола, °С	22,0	21,3	19,2	17,8	0,81
Средняя температура почвы, °С	18,8	18,3	17,8	16,9	0,9
Разность температур ствол-почва, °С	3,2	3,0	1,4	0,9	0,28
Градиент температур ствол/почва, Δ°С/м	1,6	1,5	0,5	0,2	0,13
Средняя влажность ствола, %	16,6	18,6	20,3	27,2	1,64
Средняя влажность корней, %	12,5	13,6	14,6	21,0	1,68
Разность влажности ствола и корней, %	4,1	5,0	5,7	6,2	1,51
Градиент влажности ствол/корни, Δ%/м	2,0	2,5	2,8	3,1	0,75
Радиальный прирост за 15 лет, мм	1,7	1,9	2,0	2,2	1,29
Радиальный прирост за 5 лет, мм	1,6	1,7	1,8	2,0	1,25
Величина асимметрии листа, ед.	0,054	0,051	0,047	0,047	0,87

Выделены жирным шрифтом и курсивом максимальные и минимальные значения соответственно

Для распределения изученных химических элементов в листьях тополя на территории г. Горно-Алтайска проявлены идентичные с экологическими показателями состояния березы закономерности высотно-поясного поведения.

Предварительно установлено, что с увеличением высоты местности, концентрации большинства элементов постепенно увеличиваются и на высотах более 400 м превышают их содержание на высоте менее 300 м в 1,7-4,5 раза, в среднем в 2,5 раза (табл. 66). Для зольности листьев тополя проявлен противоположный тренд её уменьшения с высотой в 1,5 раза, предположительно обусловленный снижением количества неорганической пыли на листьях. Ранее в разделе 3.7.2 было показано, что участки максимальной зольности листьев тополя черного в центре г. Горно-Алтайска и с. Майма совпадают с областями аномальных значений биофизических показателей березы повислой.

Таблица 66 – Характер высотно-поясного распределения зольности и элементного состава в золе листьев тополя на территории г. Горно-Алтайска

Показатели, элементы	Значения по интервалам абсолютных высот (число проб)				Отношение, >400 м/<300 м, ед.
	<300 м (n=6)	300-350 м (n=5)	350-400 м (n=3)	>400 м (n=1)	
Зольность, %	15,2	13,2	12,5	10,2	0,67
то же ед. фона	1,63	1,42	1,34	1,10	0,67
Элементный состав золы листьев					
Ca, %	7,5	9,2	10,2	13,8	1,84
Na, %	0,1	0,12	0,14	0,18	1,80
Fe, %	0,17	0,26	0,47	0,75	4,41
Cr, мг/кг	7,6	12,2	12,8	17,5	2,30
Zn, мг/кг	459	531	589	789	1,72
As, мг/кг	0,65	0,72	0,75	1,57	2,42
Rb, мг/кг	46,4	57,5	130,4	165,8	3,37
Ba, мг/кг	93,6	114,1	205,8	425,7	4,55
Sr, мг/кг	318	501	531	828	2,60
Cs, мг/кг	0,26	0,28	0,62	1,13	4,35
Sc, мг/кг	0,8	0,9	1,82	2,53	3,16
La, мг/кг	3,1	4,1	4,4	5,8	1,87
Ce, мг/кг	3,0	3,9	4,8	10,4	3,37

Выделены жирным шрифтом и курсивом максимальные и минимальные значения соответственно

Сходные тенденции проявлены для вертикального распределения концентраций микроэлементов в лишайнике *Caloplaca* на шифере городских построек. Для большинства из них, кроме натрия, бария, лантана и тория характерно увеличение содержания с высотой местности в среднем на 20% (табл. 67). Возможно, это связано с увеличением биологического поглощения МЭ относительно слабо загрязненными лишайниками на условно "фоновых" высотах.

Таблица 67 – Содержание МЭ в лишайнике *Caloplaca* в г. Горно-Алтайске, мг/кг

МЭ	Содержание на высоте		Отношение >400 м/<300 м, %	МЭ	Содержание на высоте		Отношение >400 м/<300 м, %
	<300 м	>400 м			<300 м	>400 м	
Ca, %	1,3	1,5	115	Rb	23,5	26,5	113
Na, %	0,64	0,43	67	Ba	331	243	73
Fe, %	2,04	2,15	105	Cs	1,10	1,32	120
Cr	87	108	124	Sc	5,92	6,67	113
Co	10,5	13	124	Br	18,4	22,9	124
Zn	163	286	175	La	14	12	86
As	9,3	11,2	120	Ce	31,3	36,7	117
Sb	1,53	1,95	127	Th	3,4	3,2	94

Обобщение охарактеризованных выше данных по "высотным" изменениям изученных показателей состояния и состава всех компонентов окружающей среды на территории г. Горно-Алтайска показало их почти тождественный характер и интенсивность. Так, "генерализованное" среднее значение изменения состава и свойств почв на высоте более 400 м и менее 300 м составило 1,4 ед., для березы – 1,6 ед., для тополя – 2, лишайника *Caloplaca* – 1,2, для пылевой нагрузки – 3,3 раза, а в целом для всех компонентов – 1,5 ед. (табл. 68).

Таблица 68 – Средние значения показателей природных сред в г. Горно-Алтайске

Природные среды, объекты	Показатели состава, свойств	Отношение показателей инт. >400 м/<300 м		
		%	ед.	Среднее, ед.
Снежный покров	Пылевая нагрузка	30	3,3	3,3
Почвы	pH водный	85	1,2	1,5
	Магнитная восприимчивость	57	1,8	1,5
	Породообразующие МЭ	60	1,7	1,4
	Сидерофильные МЭ	123	1,2	
	Халькофильные МЭ	74	1,4	
	ЕРН	119	1,2	1,2
	Среднее по свойствам и составу почв			1,4
Береза повислая	Категория жизненного состояния	45	2,2	2,2
	Средняя температура ствола	81	1,2	1,4
	Средняя влажность ствола (корней)	166	1,7	
	Градиент влажности ствол/корни	75	1,3	
	Радиальный прирост за 5 (15) лет	127	1,3	
	Величина асимметрии листа	87	1,1	1,1
	Среднее по показателям березы повислой			1,6
Тополь черный	Зольность листьев	67	1,5	1,5
	Породообразующие МЭ	182	1,8	2,5
	Сидерофильные МЭ	336	3,4	
	Халькофильные МЭ	207	2,1	
	Лантаноиды	280	2,8	
	Среднее по показателям тополя черного			2,0
Лишайник <i>Caloplaca</i> sp.	Комплекс из 16 микроэлементов	112	1,2	1,2

Основным фактором формирования охарактеризованной высотно-поясной зональности в распределении эколого-геохимических показателей

природных сред служили частые воздушные инверсии зимнего периода в узкой долине р. Майма на территории г. Горно-Алтайска. В связи с ее недостаточной проветриваемостью в зимний период, уноса и рассеивания выбросов более сотни угольных котельных города (до их перевода на природный газ) практически не происходит, что способствует проявлению смогоподобных образований и, как следствие, накоплению содержащих загрязнители пылеаэрозольных выпадений в снежном, почвенном и растительном покрове [97].

Полученные данные позволяют сделать вывод о сопряженном характере изменений показателей состояния почвенного и растительного покрова на территории г. Горно-Алтайска, а также о более заметной реакции древесных видов на антропогенное воздействие, в том числе на загрязнение территории города.

Наблюдения последних лет показали, что в зимнее время верхняя граница смогоподобных образований в городе находится на высоте 100-120 м над уровнем р. Майма, то есть достигает отметки 400 м, выше которой изученные показатели природных сред находятся в основном на уровне местного фона.

Таким образом, особенностью выявленных трендов высотно-поясного распределения показателей состава и свойств изученных компонентов окружающей среды на территории г. Горно-Алтайска является ясно выраженный и тесно увязанный между собой характер антропогенной трансформации исходного эколого-геохимического фона, обусловленный многолетним поступлением в воздушный бассейн города пылеаэрозольных выбросов угольных котельных.

4.3 Тенденции изменения качества окружающей среды

Отсутствие долгосрочных мониторинговых наблюдений за состоянием окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска не позволяет в полной мере оценить тенденции изменения качества окружающей среды на изученной территории. Так, практически отсутствуют геоэкологическая информация советского периода, а данные постсоветского этапа представлены в основном для выбросов в атмосферный воздух и химического состава поверхностных вод.

Известно, что в районе г. Горно-Алтайска основной экологический негатив советского периода был проявлен в повышенной и высокой запыленности и, частично, загазованности приземной атмосферы [97].

Во время социально-экономического кризиса 1990-х годов заметно снизилось потребление угля и прекратилось использование бурого угля, что способствовало частичному снижению выбросов загрязняющих веществ в воздушный бассейн агломерации. Тем не менее, доля проб атмосферного воздуха с небольшим превышением ПДК (до 2-3 ед.) по газообразным ингредиентам оставалась на уровне 10-20% вплоть до 2008 г. – начала перевода котельных на природный газ. В дальнейшем их число уменьшилось до первых процентов, а в 2013-2016 гг. нестандартные пробы воздуха в городе не выявлялись (рис. 55).

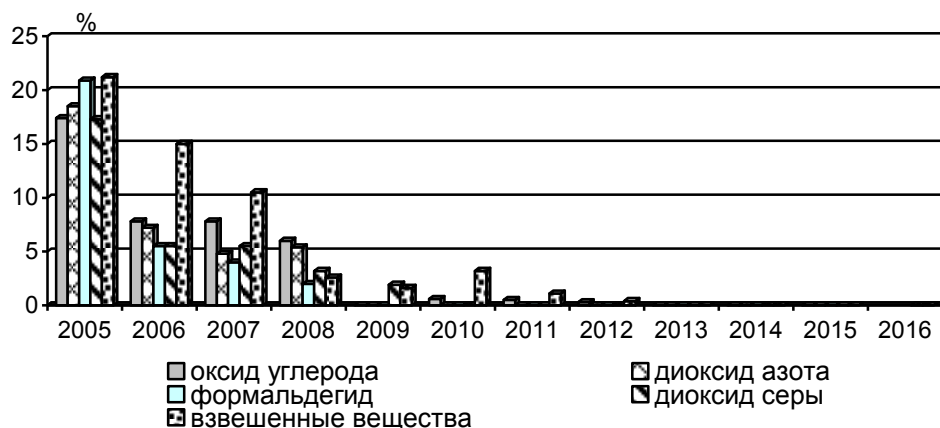


Рисунок 55 – Доля нестандартных проб атмосферного воздуха на территории г. Горно-Алтайска в 2005-2016 гг. по [97]

В этот же период на территории г. Горно-Алтайска была проявлена устойчивая тенденция снижения объемов выбросов парниковых газов в основном за счет их уменьшения при производстве тепловой энергии (рис. 56).

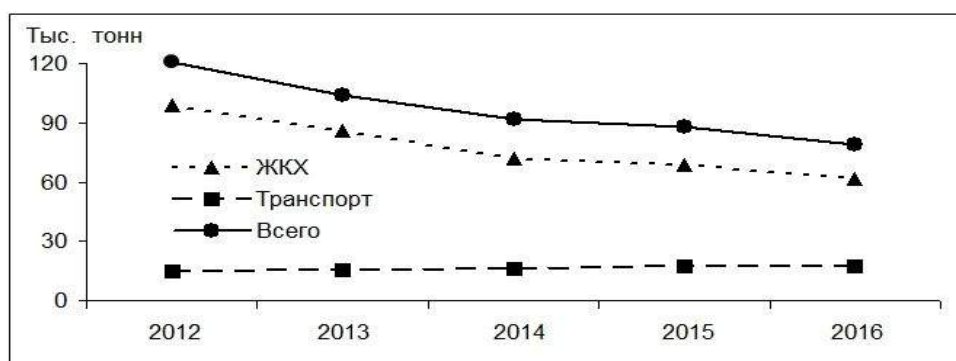


Рисунок 56 – Выбросы парниковых газов в г. Горно-Алтайске в 2012-2016 гг.

Эта позитивная тенденция обусловлена в основном снижением и диверсификацией потребляемых топливно-энергетических ресурсов в ЖКХ (рис. 57).

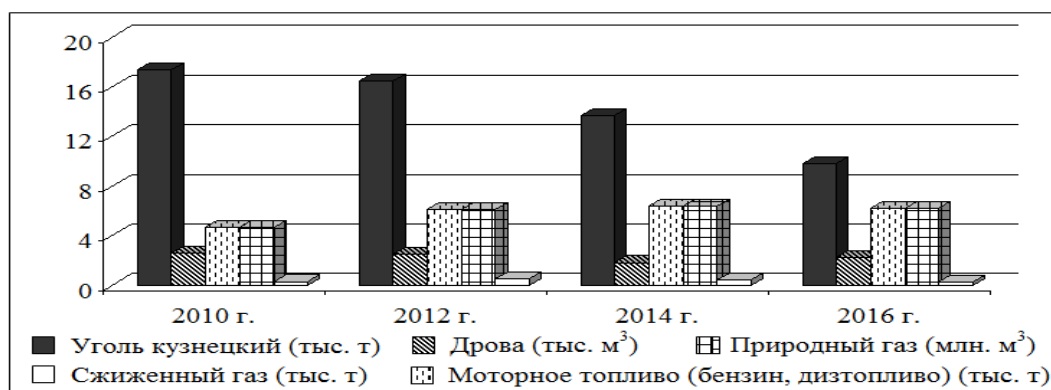


Рисунок 57 – Потребление топливных ресурсов в Горно-Алтайске в 2010-2016 гг

Необходимо отметить, что перевод котельных на природный газ положительно сказался не только на снижении выбросов парниковых газов, но и на запыленности воздушного бассейна города в отопительный период. В частности, уровень средней пылевой нагрузки уменьшился с высокого ($530 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{сут.}$) в начале 1990-х годов до фоновых значений в 2015-2017 гг. ($46-74 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{сут.}$). Таким образом, за счет газификации г. Горно-Алтайска пылевая нагрузка на его территории за последние годы уменьшилась на порядок (табл. 69).

Таблица 69 – Динамика средней пылевой нагрузки ($\text{кг} \cdot \text{км}^2 / \text{сут.}$) на территории г. Горно-Алтайска в 1992-2017 гг. по [97]

Годы	< 100 (фоновый)	100-250 (низкий)	250-450 (средний)	450-800 (высокий)
1992				530
1997				450
2004			400	
2013		129		
2015		74		
2017	46			

Подкрашены годы работы котельных города на угле (серым), на природном газе (голубым)

Динамика средней пылевой нагрузки за последние 20 лет в разрезе населенных пунктов агломерации выглядит следующим образом. Наибольшее ее снижение (более 10 раз) отмечено для г. Горно-Алтайска и с. Майма (в 4 раза), а для агломерации в целом в 7 раз. Примечательно, что и уровень фоновой запыленности на ее территории за этот период уменьшился в 3 раза (табл. 70).

Таблица 70 – Параметры пылевой нагрузки на территории населенных пунктов агломерации в отопительные сезоны 1996-2017 гг. (кг·км²/сут.) по [97]

Годы	Горно-Алтайск		Майма		Кызыл-Озек		Агломерация в целом		
	max	$\bar{x}$	max	$\bar{x}$	max	$\bar{x}$	max	$\bar{x}$	фон
1996	823	490	307	135	–	–	823	300	30
2004	616	400	287	120	–	–	416	167	25
2013	328	129	164	110	136	104	328	124	15
2017	120	46	55	35	63	43	120	42	10

Примечание: прочерк означает отсутствие данных

Наглядно тенденция снижения пылевой нагрузки видна при сравнении ореолов запыленности в "догазовый" (до 2008 г.) и "газовый" периоды. На фоне ее постепенного уменьшения положение участков повышенной запыленности не меняется, что указывает на котельные как основной источник пыли (рис. 58).

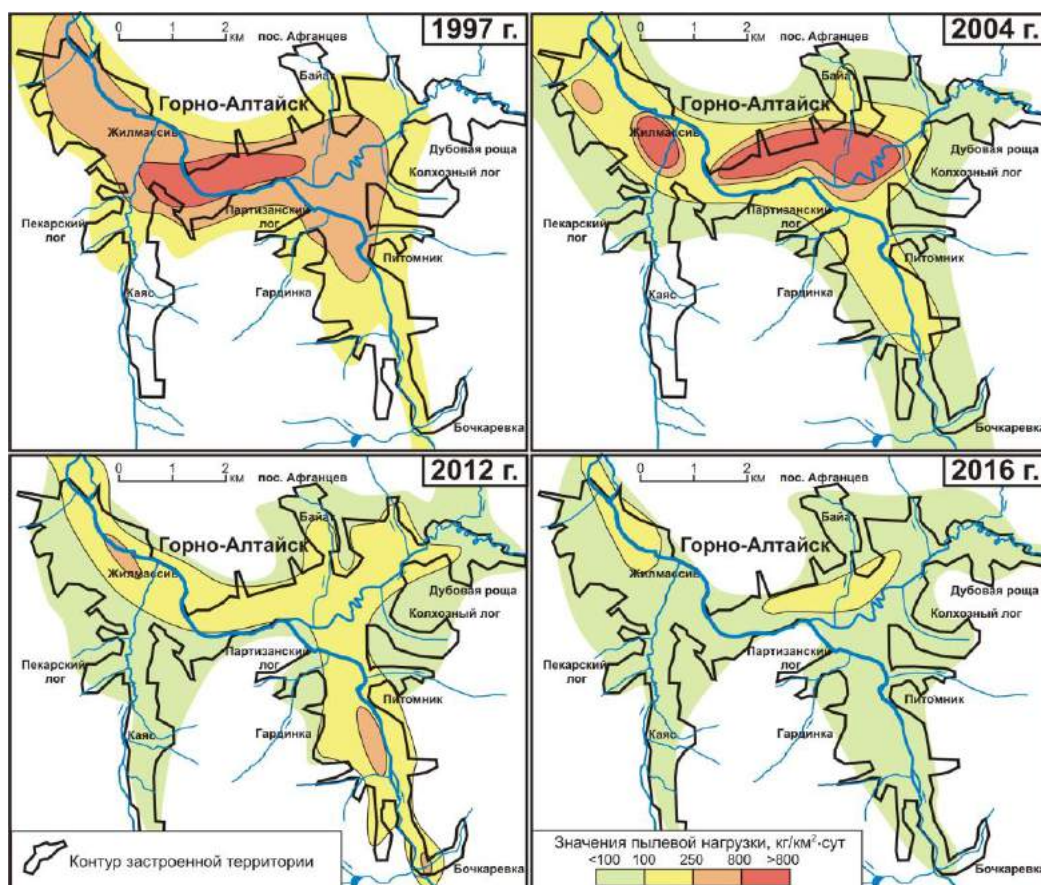


Рисунок 58 – Пылевая нагрузка на территории г. Горно-Алтайска в 1997-2016 гг.

Необходимо отметить, что в последние годы общие выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников (в основном от автотранспорта) на территории агломерации составляют около 15 тысяч тонн в год и имеют тенденцию к росту, несмотря на наличие отчетливо выраженного тренда снижения выбросов от котельных (рис. 59).

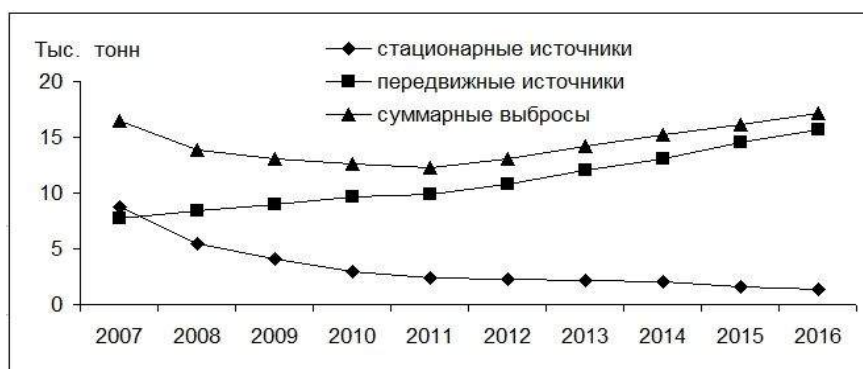


Рисунок 59 – Объемы выбросов загрязняющих веществ в г. Горно-Алтайске

По имеющимся данным [121], в 1990-х гг. уровень загрязнения воды рек Майма и Улалушка на территории агломерации был в целом повышенным и высоким. Концентрации загрязняющих веществ в воде значительно превышали ПДК и ОБУВ для рыбохозяйственных водоемов, особенно соединений азота (аммоний-ион, нитриты, нитраты), нефтепродуктов, фенолов, ПАВ, жирных кислот, химического и биологического потребления кислорода.

По данным государственного мониторинга поверхностных водных объектов, проводимого Алтайским ЦГМС, экологическое состояние воды основного водотока агломерации р. Майма в 2000-х гг. соответствовало преимущественно категории 3"Б" (очень загрязненные воды). Величина удельного комбинаторного индекса загрязнения воды (УКИЗВ) варьировалась от 2,98 до 4,42 при среднем значении 3,3. Основные загрязнители были представлены нефтепродуктами, фенолами, железом, нитрит-ионом, второстепенные – аммонийным азотом, химическим и биологическим потреблением кислорода (табл. 71).

Таблица 71 – Качество воды р. Майма в 2006-2016 гг. (по данным КЛМС Бийск)

Показатели		2006 г.	2008 г.	2010 г.	2012 г.	2014 г.	2016 г.
Величина УКИЗВ, ед.		3,05	2,98	4,42	3,96	3,33	2,74
Класс экологического состояния		3"Б"	3"Б"	4"А"	3"Б"	3"Б"	3"Б"
Загрязняющие вещества	основные	нитрит-ион, нефтепродукты, железо валовое, фенолы					
	второстепенные	–	БПК	ХПК	NH ₄ ⁺ , ХПК, БПК	ХПК	ХПК, NH ₄ ⁺

Имеющиеся данные позволяют считать, что в последнее время наметилась тенденция улучшения экологического состояния (качества) воды р. Майма. На это указывает восстановление природного гидрохимического типа речной воды, заметное снижение уровня ее загрязнения химическими экотоксикантами, постепенное уменьшение значений УКИЗВ (на 40% за последние 6 лет).

4.4 Оценка влияния геоэкологической обстановки на здоровье населения агломерации

Известно, что комплекс природных и антропогенных условий селитебных территорий напрямую влияет на уровень их благоприятности (качество среды обитания) для проживания человека и соответственно на состояние его здоровья. По разным оценкам, на факторы окружающей среды приходится 15-25% воздействия на здоровье человека, при этом вклад атмосферного воздуха в уровень заболеваемости органов дыхания оценивается в 20% [88, 152].

По мнению отечественных и зарубежных экспертов ВОЗ, здоровье человека и его заболеваемость определяются следующими группами факторов: 1) медико-генетическими (20% от общего вклада); 2) образом жизни и качеством питания, т.е. социально-экономическими условиями (50%); 3) качеством окружающей среды (20%); 4) уровнем развития здравоохранения (10%) [40, 118].

Несмотря на относительно небольшой вклад геоэкологического состояния окружающей среды, его изменения составляют до половины и более (30-80%) от вклада в состояние здоровья (заболеваемость) человека [126], то есть негативные антропогенные изменения качества окружающей среды представляют реальную опасность для здоровья населения.

Изменения, нарушения и загрязнение компонентов окружающей среды, а также истощение используемых при жизнедеятельности природных ресурсов приводит к деградации и разрушению естественной экосистемы человека. Наиболее концентрированно эти негативные процессы проявляются в пределах мегаполисов и более мелких урбанизированных территорий, к которым относится промышленно-селитебная агломерация г. Горно-Алтайска.

К природным геоэкологическим факторам, оказывающим негативное воздействие на состояние здоровья жителей агломерации, следует отнести, в первую очередь, высокую радоноопасность на значительной части её территории, а также зачастую неоптимальную минерализацию используемых питьевых вод и их дефицит по йоду и фтору. К числу антропогенных факторов, негативно влияющих на здоровье населения, относится локально проявленное повышен-

ное содержание ряда тяжелых металлов и пестицидов в возделываемых почвах и техногенная загрязненность части природных, особенно грунтовых вод, используемых в питьевых целях.

Для выявления трендов изменения здоровья жителей агломерации были проанализированы данные медстатистики РА по общей заболеваемости взрослого населения г. Горно-Алтайска и пригородных сел Майминского района. К сожалению, данные по позднесоветскому периоду (1980-е гг.) не сохранились, поэтому ретроспективный анализ проведен для пятилетних этапов раннероссийского (1991-1995 гг.) и современного периодов (2011-2015 гг.).

Для анализа были выбраны следующие основные классы болезней и виды заболеваний, которые могут быть вызваны неблагоприятным качеством компонентов окружающей среды: болезни органов дыхания (астма, хронический бронхит и др.), обусловленные загрязнением приземной атмосферы; болезни органов пищеварения (гастриты, язвы и пр.), вызванные некачественной питьевой водой; злокачественные новообразования, обусловленные аномально высоким уровнем содержания радона в воздухе (рак дыхательных путей и легких).

Анализ показал, что в начале 1990-х годов на территории агломерации наблюдался заметный спад общей заболеваемости взрослого населения болезнями органов дыхания (до 20%), обусловленный снижением выбросов загрязняющих веществ в воздушный бассейн за счет уменьшения потребления угля и отказа от использования низкокачественных углей, в том числе бурых углей.

В дальнейшем эта позитивная тенденция продолжалась на фоне перевода большинства котельных на природный газ, но ее темпы уменьшились и в настоящее время стабилизировались и даже имеют слабо выраженную тенденцию роста, что вызвано, главным образом, ростом автотранспорта (рис. 60).

Для болезней органов пищеварения в начале 1990-х гг. наблюдалась противоположная тенденция роста заболеваемости болезнями этого класса, проявленная на фоне стабильно удовлетворительного качества питьевой воды, используемой жителями агломерации.

По мнению автора, эта ситуация была обусловлена начавшимся снижением качества употребляемых населением основных продуктов. Это подтверждается значительно более низким уровнем заболеваемости населения пригородных сел (почти в 2 раза), в питании которых традиционно значительная доля приходится на продукты личных подсобных хозяйств.

В дальнейшем эта негативная тенденция нарастала, но в настоящее время заметно пошла на убыль, при этом показатели заболеваемости органов пищеварения жителей города и пригородных сел практически сравнялись, что обусловлено преобладающим использованием теми и другими продуктов питания, предлагаемых сетевыми компаниями – монополистами. Несмотря на невысокое качество продуктов, население стало более адекватным в их количественно-качественном потреблении, что и обусловило наличие тренда последних лет.

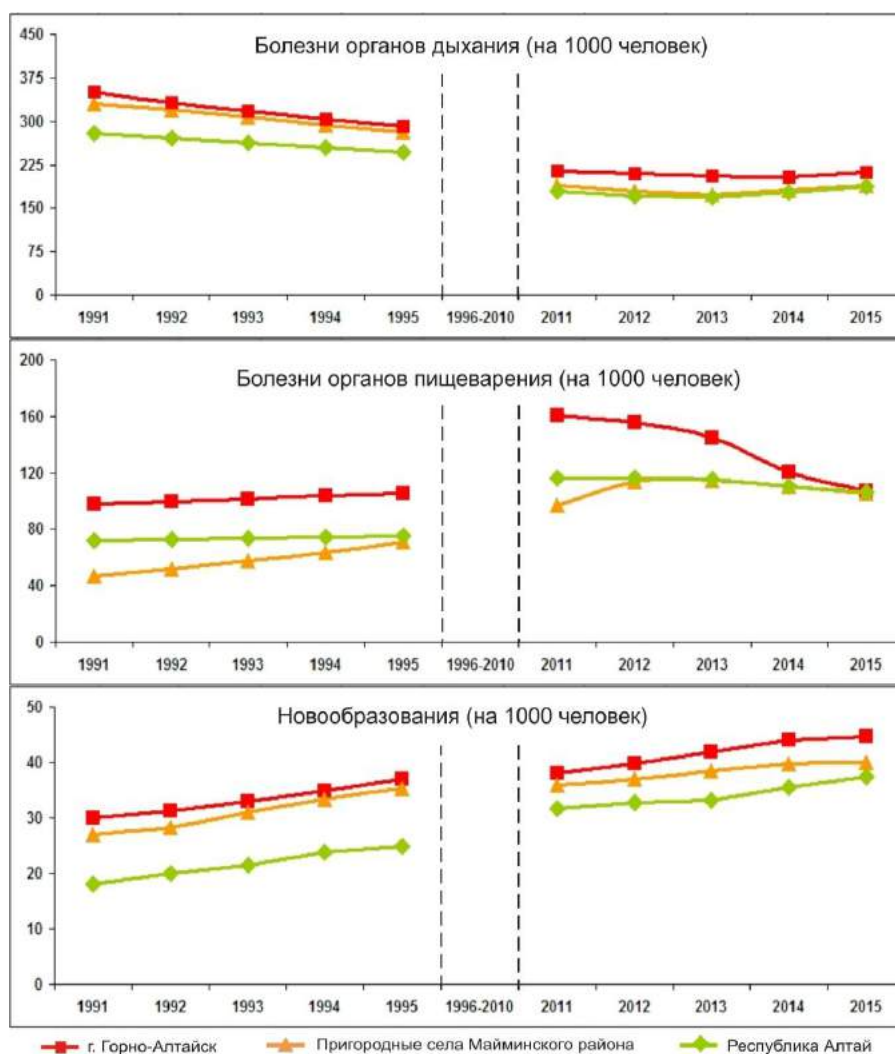


Рисунок 60 – Общая заболеваемость взрослого населения агломерации г. Горно-Алтайска и Республики Алтай в периоды 1991-1995 и 2011-2015 гг.

Ситуация со злокачественными новообразованиями как на территории агломерации, так и в регионе, достаточно однозначная. В течение всего анализируемого периода наблюдается постоянный рост онкозаболеваемости в среднем на 1-2% в год. Эта тенденция отражает общий тренд этого класса болезней в стране и в мире, обусловленных рядом медицинских и социально-гигиенических факторов, в том числе увеличением охвата населения обследованиями и совершенствованием диагностики многих новообразований на ранних стадиях.

Необходимо отметить, что по имеющимся данным установить зависимость частоты онкозаболеваемости жителей агломерации с уровнем радоноопасности в разрезе ее населенных пунктов или микрорайонов не представляется возможным.

В качестве общей черты охарактеризованных выше трендов необходимо отметить, что максимальные показатели заболеваемости для изученных классов проявлены для населения г. Горно-Алтайска и, в меньшей степени для жителей пригородных сел. Как правило, они заметно выше региональных показателей, что дает основание считать, что уровень благоприятности для проживания населения относительно урбанизированной агломерации республиканского центра в целом ниже, чем на остальной территории региона.

Естественно, что основной причиной сложившейся ситуации является более низкое геоэкологическое состояние (качество) компонентов окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска, которое ухудшилось в результате многолетней антропогенной деятельности на территории агломерации.

Проведение количественного (корреляционного) анализа тесноты связей между показателями экологического состояния изученных компонентов окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска и данными по заболеваемости населения агломерации не представляется возможным по ряду причин, основные из которых: 1) отсутствие ретроспективных данных по экологической ситуации; 2) недостаточная информативность существующих интегральных показателей экологического состояния (качества) как отдельных природных сред, так и экологической обстановки в целом.

В заключение краткой оценки влияния геоэкологической обстановки на состояние здоровья населения агломерации следует отметить следующее.

В настоящее время в районе г. Горно-Алтайска нет промышленных и иных производств, которые могли бы нанести существенный вред здоровью людей. Природно-климатические условия в целом благоприятны для проживания населения. Негативное воздействие техногенных факторов и их экологические последствия, в том числе локально проявленное слабоинтенсивное загрязнение отдельных природных сред, минимально.

Выполненная качественная оценка уровня благоприятности окружающей среды для проживания в пределах изученной агломерации позволяет считать, что наиболее благоприятное её состояние (качество) проявлено на территории пригородного села Алферова, а наименее благоприятное (неблагоприятное) в локальных зонах опасно повышенного загрязнения основных природных сред на территории г. Горно-Алтайска (табл. 72).

Таблица 72 – Уровни благоприятности окружающей среды для проживания на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Факторы и интенсивность воздействия			Экологическое состояние компонентов окружающей среды	Примеры населенных пунктов в пределах агломерации
Антропогенные		Природные условия		
Воздействие	Качество ОПС	Комфортность		
Отсутствует	Неопасное	Прекомфортные	Благоприятное	Алферово
Слабый	Малоопасное	Среднекомфортные	Условно благоприятное	Кызыл-Озек, Карлушка
Средний	Умеренно опасное	Малокомфортные	Малоблагоприятное	Горно-Алтайск, Майма*
Сильный	Опасное	Некомфортные	Неблагоприятное	Зоны Горно-Алтайска**

Примечание: * – центральные части; ** – локальные зоны аномально высокого загрязнения ОПС

Приведенная выше характеристика геоэкологического состояния окружающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска позволяет считать ее благоприятной и, частично, условно благоприятной для жизнедеятельности населения, отвечающей уровню экологической нормы и риска соответственно [28, 32, 54, 60, 72, 123, 151]. Территории и объекты с неблагоприятным и весьма неблагоприятным экологическим состоянием окружающей среды (уровни экологического кризиса и бедствия) в пределах агломерации отсутствуют.

4.5 Предложения по оценке геоэкологического состояния компонентов окружающей среды

Одна из целей проведенного исследования заключалась в уточнении методических подходов к оценке геоэкологического состояния изученных компонентов окружающей среды, в том числе в варианте экспресс-определения.

Результаты проведенного исследования позволили предложить ряд интегральных показателей геоэкологического состояния почв, поверхностных вод и древесных растений на территории агломерации г. Горно-Алтайска, рассчитанных по их физическим свойствам, химическому составу, биофизическим и морфометрическим параметрам [109]. В основе расчета этих интегральных показателей лежит использование нормированных относительно местного фона значений коэффициентов соответствия параметров состояния природных сред, определенных как с применением экспресс-анализаторов (каппаметра, влагомера, оксиметра и др.), так и по данным лабораторных определений и анализов.

Для предложенных интегральных мультипликативных показателей были установлены статистически значимые прямые или обратные к ним связи с состоянием (качеством) природных сред, что свидетельствует о возможности их применения для целей диагностики геоэкологической обстановки на территории агломерации г. Горно-Алтайска. Так, в основе предложенного интегрального показателя качества почв агломерации лежат установленные тренды поведения их физико-химических свойств при антропогенном воздействии. Взаимосвязанный комплексный характер изменений ФХС подтверждается их тесными связями, усиливающимися при нарастании антропогенных нагрузок (рис. 61).

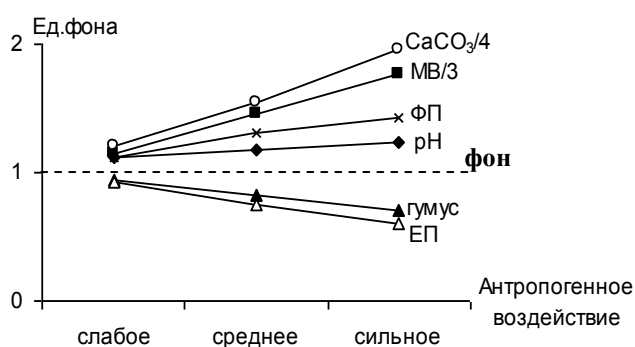


Рисунок 61 – Зависимость показателей ФХС почв г. Горно-Алтайска от уровня антропогенного воздействия

Интегральный показатель может быть рассчитан как для изученного комплекса ФХС, так и для их отдельных его групп, например, водно-физических свойств (плотности, твердости, пористости, влажности и пр.). Расширенный вариант предложенного безразмерного показателя – индекса состояния почв (*ИСП*) имеет следующий вид:

$$ИСП = \frac{pH/фон \times \Phi П/фон \times МВ/Зфон \times CaCO_3/4фон}{гумус/фон \times ЕП/фон}$$

Числитель этого индекса состояния почв образует произведение ФХС, "нарастающих" при усилении антропогенного воздействия, нормированных на их местный фон (значений магнитной восприимчивости и карбонатности – на 3 и 4 фона соответственно для выравнивания их более высокого удельного вклада), а знаменатель – произведение значений, нормированных на фон "уменьшающихся" показателей ФХС [92].

Для предварительного изучения состояния почв можно использовать более бюджетный вариант оценки их качества по индексу *ИСП₁*, основная часть составляющих которого определяется в полевых условиях с использованием экспресс-методов (рН-метр, каппаметр, тест-комплект "щелочность", набор сит).

$$ИСП_1 = pH/фон \times \Phi П/фон \times МВ/Зфон \times CaCO_3/4фон$$

Результаты районирования территории агломерации г. Горно-Алтайска с использованием предложенных индексов *ИСП* и *ИСП₁* показали их почти тождественный характер (рис. 61), что свидетельствует о применимости как расширенного, так и сокращенного варианта интегрального показателя экологического состояния (качества) антропогенно измененных почв.

Предварительно намечены следующие классы состояния почв агломерации по величине *ИСП*: слабо измененные (*ИСП* менее 2), умеренно (2-5), высоко (5-10) и очень сильно измененные почвы (*ИСП* более 10). Граничные значения этих классов состояния почв по индексу *ИСП₁* в два раза меньше. Согласно полученным данным, почвы агломерации относятся в основном к слабоизмененным. Площадь локально проявленных очагов средне и высоко урбанизированных почв в центре г. Горно-Алтайска составляет не более 15-20% (рис. 62).

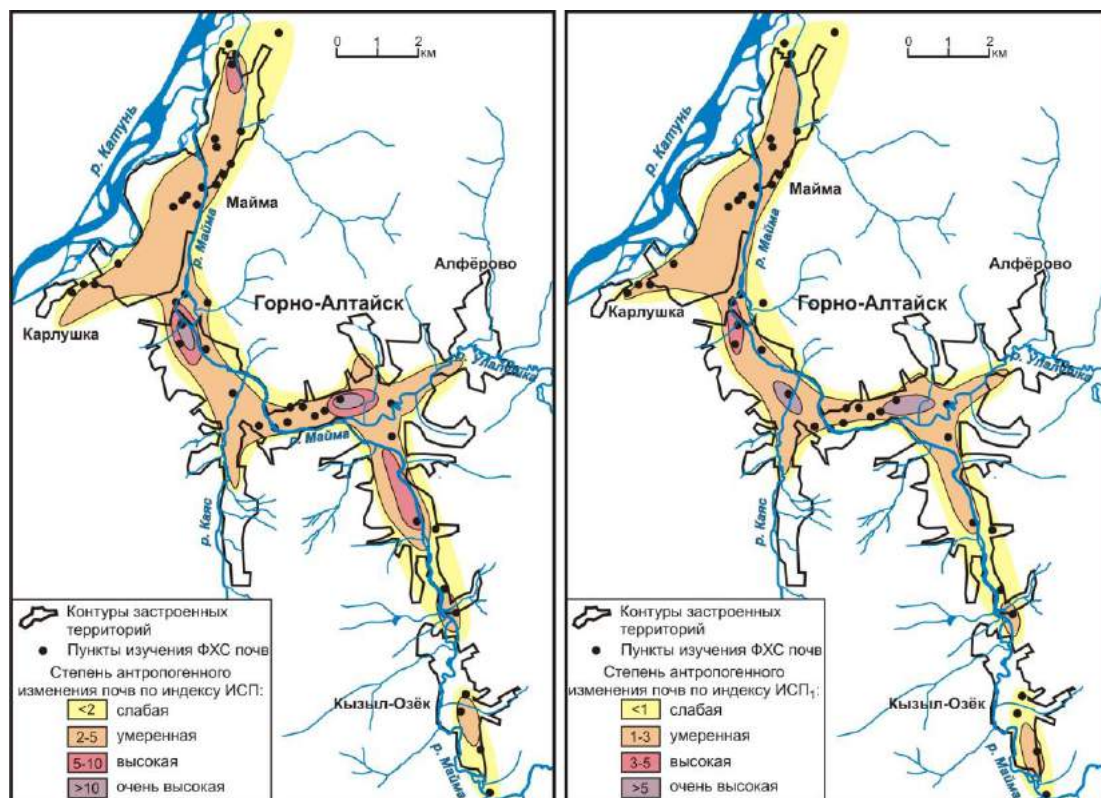


Рисунок 62 – Степень антропогенного изменения почв агломерации г. Горно-Алтайска по индексам их состояния ИСП (слева) и ИСП₁ (справа)

Для более полной и объективной оценки геоэкологического состояния (качества) поверхностных вод агломерации предложен с участием автора индекс кислородного режима (ИКР), дополняющий известные интегральные показатели качества поверхностных вод (ИЗВ, ПХЗ, УКИЗВ). Он представляет собой интегральный показатель, учитывающий основные параметры кислородного режима воды (содержание растворенного O_2 , ХПК, БПК₅), нормированные на их ПДК (ОБУВ) для вод водоемов рыбохозяйственного назначения [77]. Индекс ИКР представляет собой безразмерный параметр, рассчитываемый по формуле:

$$\text{ИКР} = \frac{C_{O_2 / \text{ПДК}}}{C_{\text{ХПК} / \text{ОБУВ}} \times C_{\text{БПК}_5 / \text{ПДК}}},$$

где C – значения показателей кислородного режима воды на изученных постах.

Предварительно намечены следующие 4 класса качества поверхностных вод агломерации для рыбохозяйственных целей: очень высокий (ИКР более 20), высокий (10-20), средний (3-10); низкий (ИКР менее 3). Так, вода р. Катунь в районе агломерации относится к высокому классу качества, вода р. Майма к среднему классу, а вода ее притоков в основном к низкому классу (рис. 63).

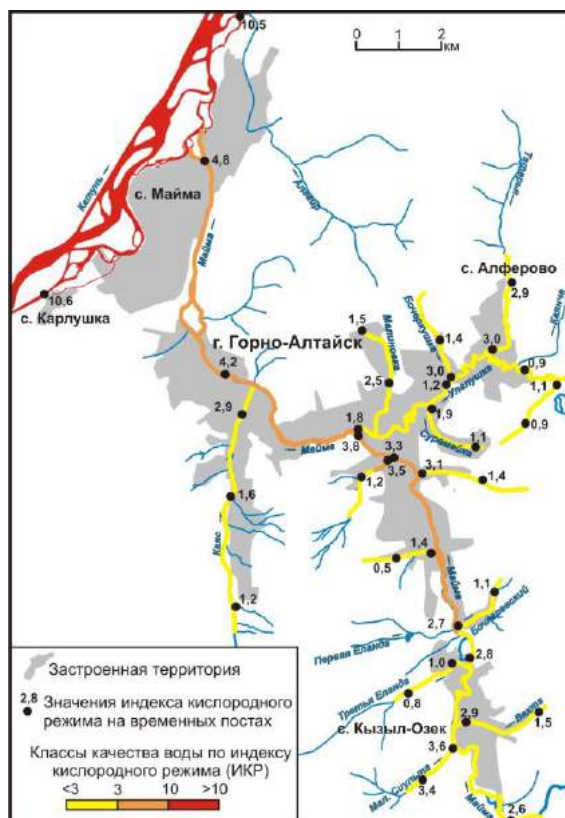


Рисунок 63 – Качество воды рек агломерации по индексу кислородного режима

Сопоставлением расчетных значений ИКР поверхностных вод в районе г. Горно-Алтайска с используемым Росгидрометом интегральным показателем степени загрязненности воды [45] установлено, что высокий класс качества по ИКР соответствует в основном слабо загрязненным водам (классы 2, 3а по УКИЗВ), средний класс – очень загрязненным водам (класс 3б), а низкий класс – грязным водам классов 4А, 4Б (табл. 73).

Таблица 73 – Показатели качества поверхностных вод района в 2012-2015 гг. []

Показатели качества (число компонентов)	2-й порядок (р. Катунь)*		3-й порядок (р. Майма)		4-й порядок (р. Улалушка)	
	значения	класс	значения	класс	значения	класс
ИКР (3)	10,5–10,6	высокий	2,6–4,8	средний	0,9–1,8	низкий
УКИЗВ (11)**	1,86–2,96	2–3А	3,33–3,96	3Б	5,36–6,37	4А–4Б

* – пост в с. Сротки; ** – данные Росгидромета [].

В практических целях это позволяет использовать более бюджетный показатель ИКР для предварительной индикации экологического состояния вод водных объектов агломерации по номограмме, отражающей обобщенную связь ИКР и УКИЗВ (рис. 64). Показано [84], что основой этой связи является наличие ряда частных связей параметров кислородного режима и общего химического состава поверхностных вод района.

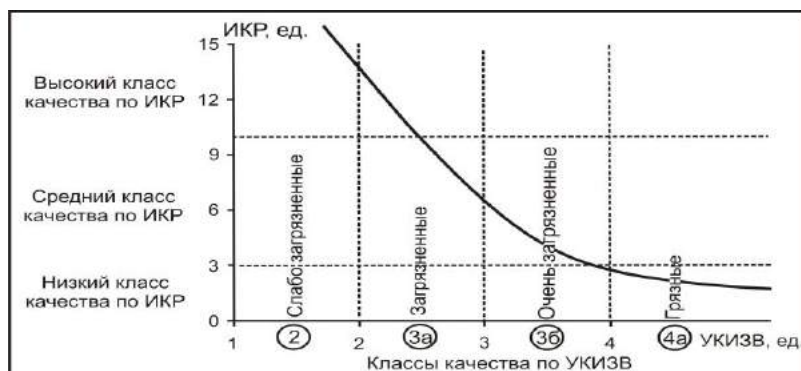


Рисунок 64 – Номограмма для приближенного определения качества воды

Экологическое состояние изученных древесных растений предложено оценивать по величине интегральных показателей древостоя – ИПД и ИПД₁ (для березы), которые количественно выражают степень их "нарушенности" и представляет собой мультипликативные безразмерные параметры вида:

$$\text{ИПД} = \frac{\text{зольность} \times \text{жизненное состояние} \times \text{градиент температуры}}{\text{градиент влажности} \times \text{радиальный прирост}}$$

$$\text{ИПД}_1 = \frac{\text{жизненное состояние} \times \text{градиент температуры}}{\text{градиент влажности} \times \text{радиальный прирост}}$$

По величине этих показателей установлено, что в пределах агломерации наиболее "нарушенным" является древостой в с. Карлушка, что предположительно обусловлено близостью аэропорта и Чуйского тракта. Негативное состояние древостоя по ИПД и ИПД₁ уменьшается в ряду с. Карлушка – с. Майма – г. Горно-Алтайск – с. Кызыл-Озёк – с. Алферово (табл. 74). Эта последовательность согласуется с уровнем геоэкологического состояния компонентов окружающей среды на территории этих населенных пунктов агломерации и предположительно обусловлена воздействием автотранспортных средств.

Таблица 74 – Показатели состояния древесных видов на территории агломерации

Показатели состояния древесных видов	Горно-Алтайск		Майма		Кызыл-Озек		Алферово		Карлушка	
	тах	сред.	тах	сред.	тах	сред.	тах	сред.	тах	сред.
Тополь черный										
Зольность листьев, %	19,3	13,4	18,1	14,1	13,5	11,0	12,8	11,2	16,3	14,6
Береза повислая										
Жизненное состояние, кат.	2,5	1,6	4,0	1,9	2,0	1,4	1,5	1,3	3,5	3,0
Радиальный прирост, мм/год	2,0	1,7	1,9	1,8	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6
Градиент температур, °С/м	4,7	1,3	2,7	1,6	0,8	0,5	0,9	0,6	1,7	1,5
Градиент влажности, %/м	4,6	3,2	3,7	2,6	5,5	4,0	4,3	4,2	4,2	3,1
Интегральный показатель состояния древостоя (ИПД)	24,7	8,2	24,4	9,1	4,4	1,7	2,3	1,3	19,0	14,9
Интегральный показатель состояния древостоя (ИПД ₁)	1,8	0,6	1,8	0,8	0,3	0,1	0,2	0,1	1,2	1,0

Примечание: жирным шрифтом (курсивом) выделены наибольшие (наименьшие) значения показателей

4.6 Рекомендации по ведению мониторинга окружающей среды

Основной целью предлагаемых рекомендаций по ведению мониторинга окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска является получение объективной информации об ее геоэкологическом состоянии и источниках негативного воздействия, в том числе загрязнения, а также своевременного принятия адекватных ситуации мер по его устранению.

В задачи экологического мониторинга в пределах агломерации входит:

- наблюдение за опасными природными и техногенными процессами, выявление причин и тенденций их развития;
- оценка степени и последствий их воздействия на компоненты окружающей среды, разработка рекомендаций по его снижению (предотвращению);
- оперативное информирование уполномоченных служб о состоянии и прогнозе изменения природных сред для принятия управленческих решений, адекватных сложившейся ситуации.

Комплекс предложенных рекомендаций является основой программы локального геоэкологического мониторинга на изученной территории. Его суть заключается в системных наблюдениях за окружающей средой, экосистемами, источниками и процессами антропогенных воздействий. Основной задачей наиболее часто реализуемых на практике программ геоэкологического мониторинга является проведение с определенным пространственно-временным разрешением наблюдений за содержанием специфических экотоксикантов в природных средах и их соответствия эколого-гигиеническим нормативам.

В общем виде программа геоэкологического мониторинга подразумевает выбор наблюдаемых природных сред, определение местоположения и количества пунктов наблюдений, спектра контролируемых загрязняющих веществ и показателей, уточнение регламента и методики проведения работ и пр.

Программа геоэкологического мониторинга реализуется, как правило, в несколько этапов. На подготовительном этапе выбираются и закладываются на местности наблюдательная сеть временных площадок (пунктов) для оценки состояния компонентов природной среды, на которых в дальнейшем в соответ-

ствии с разработанным регламентом отбираются пробы природных сред и проводятся необходимые полевые измерения показателей их состояния. На основе анализа результатов измерений и лабораторных исследований проб оценивается состояние контролируемых природных сред, дается прогноз развития геоэкологической обстановки и рекомендации по ее оздоровлению (стабилизации).

Исходя из этих организационных подходов, даны следующие рекомендации по ведению геоэкологического мониторинга в районе г. Горно-Алтайска.

Контролируемые среды. С учетом экологического состояния (качества) окружающей среды на территории агломерации, в рамках мониторинга предлагается контролировать наиболее чувствительные реципиенты природного и антропогенного воздействия – атмосферный воздух, снежный покров, поверхностные и грунтовые воды, а также загрязняющие их сточные и сбросные воды.

Наблюдения за состоянием почв, донных отложений, древесных растений нецелесообразны в основном по причине длительности изменений их свойств и состава, а за подземными питьевыми водами из-за отсутствия их загрязнения и действенного контроля со стороны уполномоченных организаций. Рекомендуется организация наблюдений за объектами опасных ЭГП – оползнями и береговым размывом. Мониторинг источников антропогенного воздействия представляется не актуальным ввиду отсутствия значимых источников воздействия.

Наблюдательная сеть мониторинга. Исходя из природных условий района и экологического состояния компонентов окружающей среды, предлагается задействовать следующую наблюдательную сеть, состоящую из закрепленных на местности 24 временных постов и площадок, половина из которых находится на территории г. Горно-Алтайска, а треть в с. Майма (табл. 75, рис. 65).

Таблица 75 – Распределение пунктов мониторинга на территории агломерации

Населенные пункты	Атмосферный воздух, снег	Поверхностные воды	Грунтовые воды	Ливневые стоки	Сбросные воды	ЭГП	Всего
Горно-Алтайск	3	3	1	2	1	2	12
Майма	2	1	2	1	–	2	8
Кызыл-Озек	–	1	1	–	–	1	3
Карлушка	1	–	–	–	–	–	1

Контролируемые показатели. В атмосферном воздухе предлагается определять взвешенные вещества и 5 газообразных загрязнителей (CO, NO₂,

SO₂, сумма УГВ, формальдегид), по снегу – запыленность. В водных пробах предлагается определять общий состав, тяжелые металлы, взвешенные вещества, нефтепродукты, фенолы, фосфаты, соединения азота, ХПК и БПК.

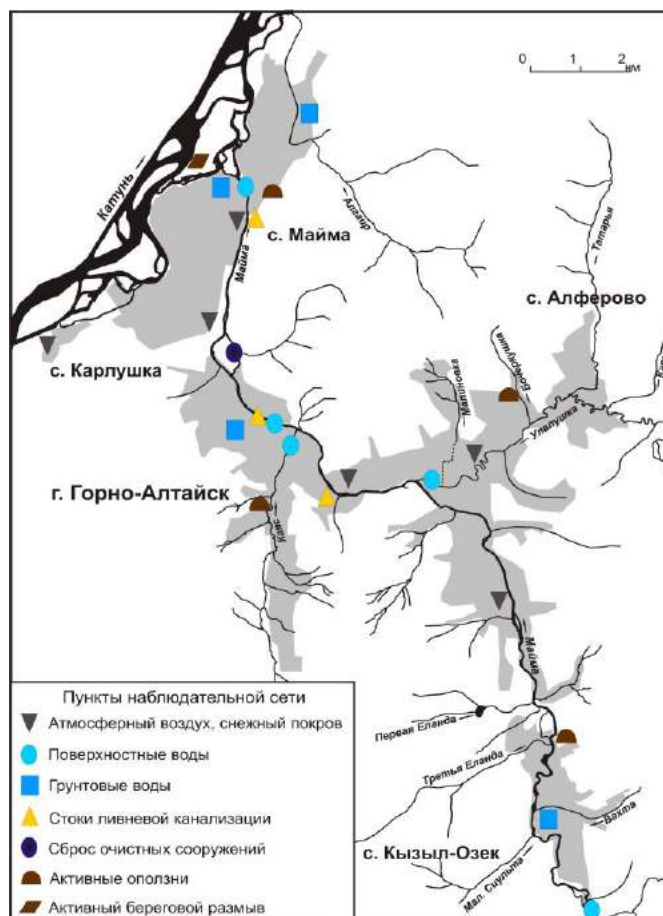


Рисунок 65 – Схема наблюдательной сети экологического мониторинга

Регламент отбора проб. Предлагается следующая периодичность опробования (измерений) природных сред: атмосферный воздух – 1 раз в месяц; природные, сточные воды – 1 раз в квартал; снежный покров, ЭГП – 1 раз в год.

Рекомендации организационно-методического характера. Опробование и пробоподготовка должны проводиться в соответствии с действующими ГОСТ и утвержденными методиками при геоэкологических исследованиях. При проведении аналитических работ должны применяться методики, аттестованные и допущенные к использованию для целей государственного экологического контроля, включенные в Государственный реестр методик экологического контроля. Аналитические исследования проб должны выполняться в лабораториях, аккредитованных в установленном порядке на эти виды анализов.

Заключение

Единственной относительно урбанизированной территорией Республики Алтай является промышленно-селитебная агломерация г. Горно-Алтайска, в которой проживает более 90 тысяч человек. Геоэкологическое состояние (качество) окружающей среды для жизнедеятельности населения в ее пределах ранее оценивалось от условно-благоприятного до неблагоприятного.

Проведенное автором комплексное изучение характера и последствий антропогенного воздействия на окружающую среду агломерации было обусловлено необходимостью достоверной оценки ее современного геоэкологического состояния, особенно в отсутствии работ подобного плана на этой территории.

Результаты проведенного исследования позволили на основе представительного материала: 1) достоверно изучить характеристики и особенности распределения показателей геоэкологического состояния комплекса компонентов окружающей среды в районе агломерации г. Горно-Алтайска; 2) оценить эколого-гигиеническую обстановку на этой территории и выявить тренды ее изменения; 3) предложить новые подходы к оценке геоэкологического состояния (качества) поверхностных вод и почвенно-растительного покрова агломерации

К основным результатам, отражающим научную и практическую значимость проведенного исследования, кроме изложенных в главах 3 и 4, следует отнести следующие выводы:

- в компонентах окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска проявлен небольшой спектр и преимущественно низкие концентрации загрязняющих веществ, характерных для хозяйственной деятельности на этой территории;

- существует две группы физико-химических свойств и ассоциаций химических элементов почв агломерации с разнонаправленными, но тесно увязанными между собой трендами поведения при антропогенезе, обусловленные многолетним поступлением в воздушный бассейн пылеаэрозольных выбросов котельных и автотранспорта.

– степень антропогенной трансформации речных вод на территории агломерации в целом низкая (для грунтовых вод повышенная), но при этом сохраняется их природный гидрохимический тип;

– установленные в поверхностных водах слабо повышенные концентрации экотоксикантов имеют как природное, так и антропогенное происхождение, обусловленное хозяйственной деятельностью предприятий и населения агломерации;

— содержание большинства компонентов солевого состава и микроэлементов в поверхностных водах агломерации, а также величина их отношения (устье/исток) увеличивается от крупных рек к их мелким притокам. Кислородный режим речной воды также закономерно изменяется от истока к устью водотоков и его качество ухудшается от крупных рек к малым рекам;

– показатели экологического состояния депонирующих загрязнение природных сред на территории агломерации являются индикаторами специфики и интенсивности прошлой и текущей антропогенной деятельности. Наиболее чувствительными биоиндикаторами этой деятельности служат биофизические показатели березы повислой, зольность листьев и элементный состав листьев тополя черного, лишайника *Caloplaca* sp. на шифере;

– в распределении изученных показателей состояния и состава почв, древесных растений и лишайника *Caloplaca* sp. на шифере в г. Горно-Алтайске отчетливо проявлен высотно-поясный зональный характер, обусловленный разным уровнем загрязнения этих сред во время температурных инверсий воздуха в холодные периоды года. Тренды их высотно-поясного поведения совпадают с распределением пылевой нагрузки на территории города;

– радиоэкологическая обстановка в пределах агломерации в целом спокойная, но на преобладающей ее территории опасна по радону, особенно в пределах с. Кызыл-Озек и, в меньшей степени, г. Горно-Алтайска;

– максимум антропогенной нагрузки и, как следствие, наибольшие негативные изменения и загрязнение изученных компонентов окружающей среды проявлены в центральных частях г. Горно-Алтайска и, частично, с. Майма;

– участки аномально повышенных значений показателей геоэкологического состояния (качества) природных сред приурочены, главным образом, к узлам концентрации угольных котельных и к основным транспортным осям агломерации в городе Горно-Алтайске (пр. Коммунистический, ул. Ленина, ул. Чорос-Гуркина), в селах Майма и Карлушка (федеральная трасса М-52 "Чуйский тракт"), в с. Кызыл-Озёк (трасса Горно-Алтайск-Артыбаш);

– предложенные интегральные показатели состояния почв, древесных растений и кислородного режима поверхностных вод применимы в качестве дополнительных индикаторов геоэкологического качества этих природных сред;

В заключение следует отметить, что приведенные в настоящей работе данные отражают сегодняшнее состояние изученности геоэкологической обстановки в районе г. Горно-Алтайска. Это исследование целесообразно расширить в плане углубленного изучения качества атмосферного воздуха, в т.ч. его приземного аэрозоля. В дополнительном изучении нуждается радиологическая обстановка на территории агломерации, особенно в аспекте ее радоноопасности, а также практически не изученные техногенные физические поля, главным образом, акустическое и электромагнитное.

Список литературы

1. Аванесян, Р.А. Особенности залегания снежного покрова в бассейне р. Майма и его роль в формировании стока / Р.А. Аванесян, Е.А. Черепанова / Геоэкология Алтае-Саянской горной страны. – Горно-Алтайск, 2005. – Вып. 2. – С. 121-124.
2. Алексеенко, В.А. Геохимия окружающей среды: учеб. пособие для вузов / В.А. Алексеенко, С.А. Бузмаков, М.С. Панин. / ПГНИУ. – Пермь, 2013. – 359 с.
3. Арбузов, С.И. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна / С.И. Арбузов, В.В. Ершов, А.А. Поцелуев, Л.П. Рихванов. – Кемерово, 2000. – 248 с.
4. Атлас Алтайского края. В 2 Т. – Барнаул, ГУГК, 1978. – Т.1. – 222 с.
5. Бакуменко, Л.П. Интегральная оценка качества и степени экологической устойчивости окружающей среды региона (на примере Республики Марий Эл) / Л.П. Бакуменко, П.А. Коротков // Прикладная эконометрика. – 2008. – № 1 (9). – С. 73-92.
6. Баргалы, Р. Биогеохимия наземных растений / Пер. с англ. И.Н. Михайловой / Под ред. Н. С. Касимова. – М.: ГЕОС, 2005. – 457 с.
7. Безуглая, Э.Ю. Воздух городов и его изменения / Э.Ю. Безуглая, И.В. Смирнова. – СПб.: Астерион, 2008. – 254 с.
8. Битюкова, В.Р. Принципы и методы комплексной оценки экологического состояния городской среды / В.Р. Битюкова // Проблемы урбанизации на рубеже веков. – Смоленск: Ойкумена, 2002 – С. 189-198.
9. Битюкова, В.Р. Экологический портрет российских городов / В.Р. Битюкова, Н.С. Касимов, Д.В. Власов // Экология и промышленность России. – 2011. – № 4. – С. 6-18.
10. Бобылев, С.Н. Индикаторы устойчивого развития: экономика, общество, природа / С.Н. Бобылев, Н.В. Зубаревич, С.В. Соловьева, Ю.С. Власов. – М., 2008. – 358 с.

11. Болуспаева, Л.С. Тяжелые металлы в почвах города Усть-Каменогорска Республики Казахстан / Л.С. Болуспаева, М.С. Панин // Сибирский экологический журнал. – Новосибирск. – 2012. – № 6. – С. 803-810.
12. Больбух, Т.В. Распределение и природно-антропогенная трансформация химического состава поверхностных вод в бассейне р. Катунь: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Больбух Татьяна Владимировна. – Калуга, 2005. – 21 с.
13. Большунова, Т.С. Элементный состав лишайников как индикатор загрязнения атмосферы / Т.С. Большунова, Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская // Экология и промышленность России. – 2014. – № 11. – С. 26-31.
14. Бузмаков, С.А. Проблемы и примеры экспериментального изучения антропогенной трансформации природной сред и экосистем / С.А. Бузмаков // Антропогенная трансформация природной среды. – 2015. – № 1. – С. 13-24.
15. Бязров, Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Л.Г. Бязров. – М.: Научный мир, 2002. – 336 с.
16. Васильев, А.В. Разработка и реализация методик отдельного и комбинированного мониторинга физических загрязнений урбанизированных территорий / А.В. Васильев, В.В. Заболотских // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15. – № 3(7). – С. 2354-236.
17. Вернадский, В.И. Проблемы биогеохимии / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1980. – 320 с.
18. Воробьева, Т.А. Окружающая среда – здоровье человека: эколого-географические исследования / Т.А. Воробьева, Д.О. Душкова // Рациональное природопользование: теория, практика, образование. – М.: Геогр. ф.-т МГУ, 2012. – С. 107-118.
19. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода. Т. 1. Система вода-порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / Под ред. С.Л. Шварцева. – Новосибирск, 2005. – 244 с.

20. Глазовская, М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям / А.М. Глазовская. – М.: Изд-во Моск. ун-та. – 1997. – 102 с.
21. Голубева, Е.И. Методология диагностики состояния окружающей среды при антропогенном воздействии / Е.И. Голубева // Рациональное природопользование: теория, практика, образование. – М.: Геогр. ф.-т МГУ, 2012. – С. 133-139.
22. Гончаров, А.В. Типы кислородного режима рек бассейна Оби / А.В. Гончаров, М.Б. Заславская, В.А. Исаев, Е.Е. Лобченко, И.П. Ничипорова // География и природные ресурсы. – 2013. – № 3. – С. 69-76.
23. Горшков, М.В. Экологический мониторинг / М.В. Горшков. – Владивосток: Изд-во ТГУЭ, 2010 – 313с.
24. Государственный доклад "О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия и защиты прав потребителей в Республике Алтай в 2014 году". – Горно-Алтайск, 2015. – 210 с.
25. Гуртяк, А.А. Оценка состояния среды городской территории с использованием березы повислой в качестве биоиндикатора / А.А. Гуртяк, В.В. Углев // Известия ТПУ. – 2010. – Т. 317. – № 1 – С. 200-204.
26. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии / В.В. Добровольский. – М.: Издательский центр "Академия", 2003. – 400 с.
27. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Алтай в 2016 г. / Под ред. Ю.В. Робертуса. – Горно-Алтайск, 2017. – 125 с.
28. Достовалова, М.С. Оползневые процессы в пределах агломерации Майма–Горно-Алтайск–Кызыл-Озек как факторы риска при градостроительстве и освоении земель / М.С. Достовалова // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2017. – № 1-2. – С. 41-51.
29. Дубровская, С.А. Экологическое зонирование территории города Оренбурга / С.А. Дубровская // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Оренбург: Институт степи УрО РАН, 2014. – Т. 16, № 5. – С. 22-25.

30. Жорняк, Л.В. Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.36 / Жорняк Лина Владимировна. – Томск, 2009. – 22 с.
31. Захаров, В.М. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов, А.В. Валецкий. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
32. Зеркаль, О.В. Экологический риск: методы изучения и оценки / О.В. Зеркаль, С.Н. Рыбаков // Оценка и управление природными рисками: мат. общерос. конф. "Риск – 2000". – М.: Анкил, 2000. – С. 225-228.
33. Зырин, Н.Г. О принципах и методах нормирования тяжелых металлов в почвах и в системе почва-растение / Н.Г. Зырин, А.И. Обухов // Бюлл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – 1983. – С. 7-10.
34. Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов / В.В. Иванов. Кн.1. – М.: Недра, 1994. – 304 с.
35. Ивашкина, И.В. Урбозокодиагностика: методология и принципы исследования городских территорий / И.В. Ивашкина, Б.И. Кочуров // Экология урбанизированных территорий. – 2010. – № 1. – С. 6-13.
36. Каргаполов, Н.В. Геохимические исследования в городских экосистемах / Н.В. Каргаполов // Социально-экологические технологии. – 2016. – № 3. – С. 31-37.
37. Касимов, Н.С. Базовые концепции и принципы геохимии ландшафтов // Геохимия ландшафтов и география почв / Под ред. Н.С. Касимова и М.И. Герасимовой. – Смоленск: Ойкумена, 2002. – 456 с.
38. Касимов, Н.С. Экогеохимия ландшафтов / Н.С. Касимов. – М.: ИП Филимонов М. В., 2013. – 208 с.
39. Касимов, Н.С. Экологическое состояние городов России / Н.С. Касимов, В.Р. Битюкова, Д.В. Власов // Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской. – М.: АПР, 2012. – С. 157-185.
40. Кац, В.Е. К проблеме влияния экологических факторов на состояние здоровья населения Республики Алтай / В.Е. Кац, Ю.А. Фалалеев // Республика Алтай

(Алтай – золотые горы): модели и механизмы устойчивого развития. Матер. II межд. симпоз. – Горно-Алтайск, 2001. – С. 308-311.

41. Кац, В.Е. Комплексный подход к оценке экологического состояния территорий (на примере Республики Алтай) / В.Е. Кац // Материалы Международной конференции: Экология и рациональное природопользование на рубеже XX века. Итоги и перспективы. – Томск, 2000. – С. 160-162.

42. Кац, В.Е. Радон как индикатор сейсмической активизации в подземных водах Республики Алтай в афтершоковый период Алтайского землетрясения / В.Е. Кац, С.С. Драчев // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2007. – № 2. – С. 64-67.

43. Ковалевская, О.М. Трансформация почвенного покрова городских ландшафтов / О.М. Ковалевская // Структура и морфогенез почвенного покрова в условиях антропогенного воздействия: Мат. Междунар. научно-практ. конф. – Минск: Изд. центр БГУ, 2013. – С. 19-21.

44. Ковалевский, А.Л. Биогеохимия растений / А.Л. Ковалевский. – Новосибирск: Наука, СО, 1991. – 278 с.

45. Ковальский, В.В. Геохимическая экология / Ковальский, В.В. – М.: Наука, 1974. – 299 с.

46. Копылов, И.С. Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий / И.С. Копылов // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5214>

47. Костовская, С.К. Критерии и показатели оценки комфортности проживания населения // С.К. Костовская, Б.И. Кочуров, В.О. Стулышапку // Экологические системы и приборы. – 2006. – № 10. – С. 14-20.

48. Кочеева, Н.А. Состояние подземных вод бассейна р. Майма в Республике Алтай. / Н.А. Кочеева, В.В. Ролдугин, Т.М. Майманова и др. // Труды II Всерос. науч. конф. "Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии". – Барнаул: 2014. – Том 2. – С. 164-169.

49. Кочуров, Б.И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории / Б.И. Кочуров. – Смоленск: СГУ, 1999. – 154 с.
50. Кошелева, Н.Е. Антропогенная трансформация физико-химических свойств городских почв и ее влияние на накопление свинца / Н.Е. Кошелева, Е.М. Никифорова // II Междунар. научная конф. "Современные проблемы загрязнения почв". – М.: ф-т почвоведения МГУ, 2007. – С. 123–127.
51. Кузнецова, В.Ф. Эпифитные лишайники как индикаторы загрязнения атмосферного воздуха газообразными поллютантами, тяжелыми металлами и радионуклидами: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Кузнецова Валентина Федоровна. – Нижний Новгород: 2004. – 24 с.
52. Куликова-Хлебникова, Е.Н. Хлорорганические пестициды в природных средах на территории Республики Алтай: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Куликова-Хлебникова Елена Николаевна. – Барнаул: 2013. – 138 с.
53. Курбатова, А.С. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий / А.С. Курбатова // Почвоведение. 2006. № 5. – С. 603–615.
54. Куролап, С.А. Оценка риска для здоровья населения при техногенном загрязнении городской среды / С.А. Куролап. – Воронеж: ВГУ, 2006. – 220 с.
55. Любимов, Р.В. Свинцовое загрязнение и изменения физико-химических свойств почв населенных пунктов Республики Алтай: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.36 / Любимов Роман Владимирович. – Томск, 2005. – 22 с.
56. Любимов, Р.В. Характер антропогенных изменений физико-химических свойств почв населенных пунктов Республики Алтай / Р.В. Любимов, Ю.В. Робертус // Геоэкология Алтае-Саянской горной страны. – 2005. – Вып. 2. – С. 102-107.
57. Малхазова, С.М. Окружающая среда и здоровье человека / С.М. Малхазова, Е.Г. Королева. – М.: Геогр. ф-т МГУ, 2011. – 180 с.
58. Мальгин, М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае / М.А. Мальгин. – Новосибирск: Наука СО РАН, 1978. – 272 с.

59. Малышева, Н.В. Лишайники городов европейской России: автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.05, 03.00.24 / Малышева Наталья Владимировна. – СПб., 2005. – 38 с.
60. Медведева, С.А. Экологический риск. Общие понятия, методы оценки / С.А. Медведева // XXI век. Техносферная безопасность. – 2016. – № 1 (1). – С. 67-81.
61. Методические основы комплексной геоэкологической оценки территорий / В.Г. Заиканов, Т.Б. Минакова. – М.: Наука, 2008. – 81 с.
62. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод / Под ред. А.В. Караушева. – Л. – 1987. – 120 с.
63. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами / Ю.Е. Сает, Л.Н. Алексинская, Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 73 с.
64. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами / Б.А. Ревич, Ю.Е. Сает, Р.С. Смирнова, Е.П. Сорокина. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 112 с.
65. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды / Ю.Е. Сает, И.Л. Башаркевич, Б.А. Ревич. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 66 с.
66. Методические рекомендации по геохимической оценке состояния поверхностных вод / Ю.Е. Сает, Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 1985. – 48 с.
67. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Б.А. Ревич, Ю.Е. Сает, Р.С. Смирнова. – М.: ИМГРЭ, 1990. – 16 с.
68. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. – М.: Минздрав СССР, 1987. – 25 с.
69. Методы исследования качества воды водоемов / Под ред. Шицковой А.П. – М: Медицина, 1990. – 400 с.
70. Мешков, Н.А. Экологические и медико-биологические последствия ядерных испытаний на территорию и население Республики Алтай / Н.А. Мешков,

Е.Г. Жилиев, Е.А. Вальцева, Л.Л. Галин / Под ред. А.Ф. Цыба и И.М. Чижа. – М.: Воентехиздат, 1999. – 144 с.

71. Миков, О.А. Магнитная восприимчивость почв населенных пунктов с различными источниками техногенного загрязнения / О.А. Миков // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях (сборник материалов НТС). – Томск: 1996. – С. 129-131.

72. Мячина, О.В. Комплексная оценка состояния окружающей среды и риска для здоровья населения промышленного города / О.В. Мячина, О.В. Клепиков // Вестник ВГУ. – Воронеж. – 2017. – № 1. – С. 100-107.

73. Нечаева, Е.Г. Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири / Е.Г. Нечаева, Н.Д. Давыдова, А.И. Щетников. – Новосибирск: Наука, 2004. – 184 с.

74. Обухов, А.И. Биогеохимия тяжелых металлов в городской среде / А.И. Обухов, О.М. Лепнева // Почвоведение. – 1989. – № 5. – С. 65–73.

75. Павлова, К.С. Методические подходы к оценке экологического состояния природных комплексов рекреационных территорий / К.С. Павлова, Ю.В. Робертус // Проблемы региональной экологии. – 2014. – № 5. – С. 54-59.

76. Павлова, К.С. Оценка геоэкологических последствий неорганизованного массового отдыха на территории Катунского рекреационного района (Республика Алтай): автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Павлова Ксения Сергеевна. – Барнаул, 2015. – 19 с.

77. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М.: Высшая Школа, 1966. – 392 с.

78. Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. – М.: Мединор, 1995. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4293833/4293833060.pdf>.

79. Петрищев, В.П. Методика комплексной оценки экологического состояния городских территорий / В.П. Петрищев, С.А. Дубровская // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2013, – Т. 15. – № 3. – С. 234-238.

80. Почвы Горно-Алтайской автономной области / ред. Р.В. Ковалев. – Новосибирск: Изд-во "Наука". – 1973. – 352 с.
81. Природные комплексы Майминского района Республики Алтай / Коллективная монография. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2006. – 186 с.
82. Пронин, А.П. Эколого-геохимическая оценка загрязнения территории приземной атмосферы по данным изучения снегового покрова / А.П. Пронин, В.Н. Башорин, А.П. Зачернюк // Геоэкологические исследования и охрана недр. – М.: – 1994. – № 3. – С. 20-25.
83. Пузанов, А.В. Гидролого-гидрохимические аспекты поверхностного стока в бассейне реки Майма (Горный Алтай) / А.В. Пузанов, Ю.В. Робертус, Р.В. Любимов, А.В. Кивацкая // Проблемы региональной экологии. – 2015. – № 1. – С. 49-55.
84. Пузанов, А.В. Кислородный режим руслового стока в бассейне Верхней Оби (на примере реки Майма) / А.В. Пузанов, Ю.В. Робертус, А.В. Кивацкая, В.А. Ситникова // Водные ресурсы. – 2018 – № 3.
85. Пузанов, А.В. Химический состав вод почвенно-поверхностного стока низкорослой зоны Горного Алтая (на примере бассейна р. Маймы) / А.В. Пузанов, Т.А. Рождественская, О.А. Ельчиной и др // Труды II Всерос. науч. конф. "Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии". – Барнаул: 2014. – Т. 2. – С. 157-163.
86. Ревич, Б.А. Основы оценки воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье человека. Пособие по региональной экологической политике / Б.А. Ревич, С.Л. Авалиани, Г.И. Тихонова. – М.: Акрополь, 2004. – 268 с.
87. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Под редакцией Н.С. Касимова. – М.: ИП Филимонов М. В., 2014. – 560 с.
88. Рихванов, Л.П. Геохимия почв и здоровье детей Томска / Л.П. Рихванов, С.Г. Нарзулаев, Е.Г. Язиков и др. – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 141 с.
89. Рихванов, Л.П. Некоторые особенности радиоактивного загрязнения территории Горного Алтая / Л.П. Рихванов, Ю.В. Робертус // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человек: Матер. II Межд. конф. "Ра-

диоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека". – Томск: "Тандем-Арт", 2004. – С. 769-771.

90. Рихванов, Л.П. Элементный состав листвы тополя как биогеохимический индикатор промышленной специализации урбосистем / Л.П. Рихванов, Д.В. Юсупов, Н.В. Барановская, А.Р. Ялалтдинова // Экология и промышленность России. – 2015. – №6. – С. 58-63.

91. Робертус, Ю.В. К вопросу формирования антропогенных отрицательных геохимических аномалий / Ю.В. Робертус // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии: Матер. IX Межд. биогеохимической школы. – Барнаул, 2015. – Т. 1. – С. 197-200.

92. Робертус, Ю.В. Возможные подходы к оценке состояния почв урбанизированных территорий / Ю.В. Робертус, Р.В. Любимов, А.В. Кивацкая, В.А. Ситникова // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2017. – № 1-2. – С. 63-65.

93. Робертус, Ю.В. Микроэлементы поверхностных вод в районе Горно-Алтайска / Ю.В. Робертус, А.В. Кивацкая, В.А. Ситникова // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2016. – № 1-2. – С. 100-103.

94. Робертус, Ю.В. Особенности высотного распределения радионуклидов и тяжелых металлов в почвах г. Горно-Алтайска / Ю.В. Робертус, В.А. Ситникова // Матер. V Межд. конф. "Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека". – Томск: Изд-во AST, 2016. – С. 568-571.

95. Робертус, Ю.В. Особенности макро- и микрохимического состава руслового стока Верхней Оби в районе г. Горно-Алтайска / Ю.В. Робертус, В.А. Ситникова, А.В. Кивацкая // Вода: химия и экология. – 2018. – № 1-3. – С. 32-40.

96. Робертус, Ю.В. Радиоэкологическая обстановка на территории Республики Алтай / Ю.В. Робертус // Матер. IV Межд. конф. "Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека". – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 456-460.

97. Робертус, Ю.В. Состояние воздушного бассейна в районе г. Горно-Алтайска / Ю.В. Робертус, Р.В. Любимов, А.В. Кивацкая, Г.А. Шевченко // Матер. науч.-

практ. конф. "Проблемы и перспективы социально-экономического развития города. – Горно-Алтайск, 2013. – С. 112-115.

98. Робертус, Ю.В. Уровни присутствия микроэлементов в воде Телецкого озера и его притоков / Ю.В. Робертус, Г.А. Шевченко, А.В. Кивацкая // Бюлл. "Природные ресурсы Горного Алтая. – 2009. – № 1. – С. 87-90.

99. Робертус, Ю.В. Химический состав природных вод на территории агломерации Горно-Алтайска / Ю.В. Робертус, А.В. Кивацкая, В.А. Ситникова // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2015. – № 1-2. – С. 93-97.

100. Робертус, Ю.В. Элементный состав лишайника на шифере как биоиндикатор загрязнения атмосферы агломерации г. Горно-Алтайска / Ю.В. Робертус, Л.П. Рихванов, В.А. Ситникова, К.С. Савенко // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 4. – С. 70-78.

101. Савичев, О.Г. Эколого-геохимическое состояние поверхностных вод в бассейне р. Катунь (Горный Алтай) / О.Г. Савичев, В.В. Паромов, Ю.Г. Копылова, А.А. Хващевская, Н.В. Гусева // Вестник ТГУ. – 2013. – № 366. – С. 157-161.

102. Саэт, Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М: Недра, 1990. – 336 с.

103. Саэт, Ю.Е. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды / Ю.Е. Саэт, И.Л. Башаркевич, Б.А. Ревич. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 102 с.

104. Сафранкова, Е.А. Комплексная лишеноиндикация общего состояния атмосферы урбоэкосистем: дисс. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Сафранкова Екатерина Алексеевна. – Брянск, 2014. – 204 с.

105. Сенотрусова, С. Загрязнение атмосферы и состояние здоровья населения промышленных городов / С. Сенотрусова. – СПб.: Астерион, 2004. – 246 с.

106. Ситникова, В.А. Обзор антропогенного загрязнения природных сред на территории агломерации г. Горно-Алтайска / В.А. Ситникова // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2014. – № 1-2. – С. 73-77.

107. Ситникова, В.А. Особенности загрязнения тяжелыми металлами почв г. Горно-Алтайска / В.А. Ситникова // Мат. Межд науч.-практ. конфер. "Экологи-

ческие аспекты природопользования в Алтае-Саянском регионе". – Белокуриха, 2014. – С. 118-121.

108. Ситникова, В.А. Особенности химического состава снеготалой воды на территории города Горно-Алтайска / В.А. Ситникова // Материалы 15-й межвуз. молод. науч. конф. "Школа экологической геологии и рационального недропользования". – С.-Пб, 2015. – С. 243–245.

109. Ситникова, В.А. Древесные виды как биоиндикатор экологической обстановки (на примере агломерации города Горно-Алтайска) / В.А. Ситникова // Природные ресурсы Горного Алтая. – 2017. – № 1-2. – С. 66-72.

110. Ситникова, В.А. Тренды высотно-поясного распределения эколого-геохимических показателей природных сред на территории г. Горно-Алтайска / В.А. Ситникова // Вопросы естествознания. – 2018. – №3 (17). – С. 126-131.

111. Соткина, С.А. Эколого-геохимическая ситуация как компонент оценки комфортности окружающей среды / С.А. Соткина, О.А. Никитина // Научно-методический электронный журнал "Концепт". – 2016. – № 1. – С. 71-75.

112. Сухова, М.Г. Эколого-климатический потенциал ландшафтов Алтае-Саянской горной страны для жизнедеятельности населения и рекреационного природопользования: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.36 / Сухова Мария Геннадьевна. – Томск, 2009. – 41 с.

113. Сухова, М.Г. Климаты ландшафтов Горного Алтая и их оценка для жизнедеятельности человека / М.Г. Сухова, В.И. Русанов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 150 с.

114. Ташекова, А.Ж. Использование листьев растений как биогеохимических индикаторов состояния городской среды / А.Ж. Ташекова, А.С. Торопов // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 5. – С. 114-124.

115. Тригуб, В.В. Результаты исследования содержания свинца в экосистемах Горного Алтая / В.В. Тригуб, С.В. Долговых. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2009. – 152 с.

116. Трофимов, В.Т. Теория и методология экологической геологии / В.Т. Трофимов и др. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 368 с.

117. Уфимцева, М. Д. Экофитоиндикация урбанизированных геосистем / М.Д. Уфимцева, Н.В. Терехина, С.А. Банарь // Вестник СПбУ. – 2008. – Сер. 7, Вып. 4. – С. 121–129.
118. Хомич, В.С. Городская среда. Геоэкологические аспекты / В.С. Хомич, С.В. Какаренко, Т.И. Кухарик [Электронный ресурс] / Минск: Беларус. навука, 2013. – 301 с. – Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789850815064.html>.
119. Черногаева, Г.М. Формирование химического состава речных вод в условиях антропогенной деятельности: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 11.00.07 / Черногаева Галина Михайловна. – М., 1993. – 42 с.
120. Черных, Д.В. Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край). Карта. М – 1:500000 / Д.В. Черных, Г.С. Самойлова // ФГУП Новосибирская картографическая фабрика, 2011.
121. Шевченко, Г.А. Геоэкологическое состояние акватории и прибрежной зоны Телецкого озера (Горный Алтай): дис. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.36 / Шевченко Геннадий Александрович. – Томск, 2010. – 149 с.
122. Шитов, А.В. Природные самосветящиеся образования как экогеологический фактор на территории Горного Алтая: автореф. дис. канд. геол.-минер. наук: 04.00.24 / Шитов Александр Викторович. – Томск, 1999. – 24 с.
123. Шмаль, А.Г. Факторы экологической опасности и экологические риски / А.Г. Шмаль. – Издательство МП "ИКЦ БНТВ", 2010. – 191 с.
124. Экогеохимия Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды / Под ред. Г.В. Полякова. – Новосибирск: СО РАН, 1996. – 248 с.
125. Экологическая геохимия городских агломераций / Э.К. Буренков, И.Л. Борисенко и др. – М.: Геоинформмарк, 1991. – 79 с.
126. Эпидемиология злокачественных новообразований в Республике Алтай / Л.Ф. Писарева, И.Н. Одинцова, А.В. Хряпенов, Н.В. Чердынцева, Е.Л. Чойнзонов – Томск: Изд-во Том. ун-та, – 2017. – 190 с.
127. Юсупов, Д.В. Геохимические особенности элементного состава листьев тополя урбанизированных территорий / Д.Ю. Юсупов, Л.П. Рихванов, Н.В. Ба-

- рановская, А.Р. Ялалтдинова // Известия ТПУ. Институт георесурсов. – Томск: 2016. – Т. 327. – № 6. – С. 25-36.
128. Ялалтдинова, А.Р. Элементный состав растительности как индикатор техногенного воздействия на территории г. Усть-Каменогорска: дис. ... канд. геол.-минер. наук: 25.00.36 / Ялалтдинова Альбина Рашидовна. – Томск, ТрУа, 2015. – 172 с.
129. Appelo, C.A.J. Geochemistry, Groundwater and pollution / C.A.J.Appelo, D.Postma // Netherlands: A.A. Balkema Publishers. – Leiden. – 2005. – 649 p.
130. Aryal, R. Urban stormwater quality and treatment / R. Aryal, S. Vigneswaran, J. Kandasamy, R. Naidu // Korean J. Chemical Engineering. – 2010. – Vol. 27. – № 5. – pp. 1343-1359.
131. Csuroa, C. Environmental sampling and analysis for metals / C.Csuroa, M.Csuros. – RC Press, 2002. – 408 p.
132. Dergacheva, M.I. Humus of soils of the Altai Mountains / M.I. Dergacheva, E.I. Kovaleva, N.N. Ryabova // Eurasian Soil Science. – 2007. – Vol. 40. – pp 1264-1269.
133. Friedlander, S.K. Smoke, dust, and haze / S.K. Friedlander // Fundamentals of aerosol dynamics. Oxford: Oxford University Press, 2000. – 897 p.
134. Gustavsson, N. Visualization of geochemical data on maps at the Geological Survey of Finland / N. Gustavsson, E. Lampio, T. Tarvainen // Journal of Geochemical Exploration. – 1997. – Vol. 59. – pp. 97-207.
135. Helmreich, B. Runoff pollutants of a highly trafficked urban road – Correlation analysis and seasonal influences / B. Helmreich, R. Hilliges, A. Schriewer, H. Horn // Chemosphere. – 2010. – Vol. 80. – pp. 991-997.
136. Johnsen, C.C. Mapping the chemical environment of urban area Chichester / C.C. Johnsen, A. Demetriadis, J. Locutra, R.T. Ottessen. – John Wiley & Sons, 2011. – 616 p.
137. Kabata-Pendias, A. Trace elements in soils and plants / A. Kabata-Pendias. – CRC Press, Taylor & Francis Group. – 2011. – 505 p.

138. Lamprea, K. Pollutant concentrations and fluxes in both stormwater and wastewater at the outlet of two urban watersheds in Nantes (France) / K. Lamprea, V. Ruban // *Urban Water Journal*. – 2011. – Vol. 8. – № 4. – pp. 219-231.
139. Lehdorff, E. Biomonitoring of air quality in the Cologne Conurbation using pine needles as a passive sampler / E. Lehdorff, L. Schwark // *Atmospheric Environment*. – 2010. – Vol. 44. – pp. 2822-2829.
140. Limbeck, A. Particulate emissions from on-road vehicles / A. Limbeck, C. Puls, F. Zereini, C.L.S. Wiseman // *Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts*. – Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, – 2011. – pp. 63-79.
141. Linde, M. Trace Metals in Urban Soils / M. Linde // *Stockholm as a Case Study*. Doctoral thesis. – Tryck: SLU Service/Repro, Uppsala, 2005. – 50 p.
142. Maher, B.A. Paleorainfall reconstruction from pedogenic magnetic susceptibility variations in the Chinese loesses and paleosols / B.A. Maher, R. Thompson // *Quarter. Res.* – 1995. – Vol. 44. – pp. 383-391.
143. Markert, B. Chemical evolution & The biological system of the Elements / B. Markert, S. Franzle, S. Wunschmann – Heidelberg: Springer. – 2015. – 282 p.
144. Markert, B. (Ed.) Plants as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment. – Weinheim: VCH, 1993. – 644 p.
145. Perk, M. van der. Soil and water contamination from molecular to catchments scale / M. van der Perk. – Leiden: Taylor and Francis Balkema, 2006. – 450 p.
146. Reimann, C. Data analysis for urban geochemical data / Mapping the chemical environment of urban areas / C. Reimann, M. Birke, P.C Filzmoser, C. Johnson, A. Demetriades, J. Locutura, R. T. Ottesen. – John Wiley & Sons, 2011. – pp. 99-115.
147. Rose, S. Environmental geochemistry of trace metal pollution in urban watersheds / S. Rose, J.A. Shea, D. Sarkar, R. Datta, R. Hannigan // *Developments in Environmental Science*. – Elsevier. – 2007. – Vol. 5. – pp. 99-131.
148. Rucandio, M. I. Biomonitoring of chemical elements in an urban environment using arboreal and bush plant species / M. I. Rucandio, M. D. Petit-Domínguez, C. Fidalgo-Hijano, R. García-Giménez // *Environmental science and pollution research*. – 2010. – Vol. 18. – № 1. – pp. 51-63.

149. Schlesinger, W.H. An Analysis of Global change / W.H. Schlesinger, E.S. Bernhardt. – Academic Press, 2013. – 634 p.
150. Serbula, S.M. Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil / S.M. Serbula, D.Dj. Miljkovic, R.M. Kovacevic, A.A. Ilic // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2012. – Vol. 76. – pp. 209–214.
151. Tixier, G. Ecological risk assessment of urban stormwater ponds: Literature review and proposal of a new conceptual approach providing ecological quality goals and the associated bioassessment tools / G. Tixier, M. Lafont, L. Grapentine, Q. Rochfort, J. Marsalek // *Ecological Indicators*. – 2011. – Vol. 11. – pp. 1497-1506.
152. World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. – Geneva: World Health Organization; 2018. – <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272596/9789241565585-eng.pdf?ua=1>