

На правах рукописи

Ситникова Валентина Александровна

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

25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Горно-Алтайский государственный университет»

Научный руководитель:

кандидат геолого-минералогических наук,
Робертус Юрий Владимирович

Официальные оппоненты:

Белан Лариса Николаевна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ООО Научно-исследовательский институт безопасности жизнедеятельности (ООО НИИ БЖД, Республика Башкортостан, г. Уфа), директор

Таловская Анна Валерьевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (НИ ТПУ, г. Томск), доцент отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (ФГАОУ ВО НИ ТГУ, г. Томск)

Защита состоится 13 декабря 2018 г. 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 на базе ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: г. Томск, пр. Ленина, 2 (строение 5), 20 корпус ТПУ, ауд. 504.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/914/worklist>

Автореферат разослан "___" _____ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
к.г.-м.н.

Л.В. Жорняк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 (Ситникова, 2018).

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 неблагоприятное, 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 (Рихванов, Робертус, 2004; Робертус, 2012).

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 (Робертус, 2016).

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-пооясная 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 современных 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 конференции молодых ученых "Современные проблемы геохимии – 2018" (Иркутск, 2018).

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.

Во **введении** обоснована актуальность проведенного исследования, сформулированы его цели и задачи, защищаемые положения, изложена научная новизна и практическое значение полученных результатов.

В **первой главе** диссертации приведен обзор существующих методических подходов к оценке геоэкологического состояния окружающей среды урбанизированных территорий, охарактеризована геоэкологическая изученность района г. Горно-Алтайска, приведены сведения о видах, объемах и методиках полевых, лабораторных работ и методах обработки полученных результатов.

Во **второй главе** дана характеристика природных условий района г. Горно-Алтайска и приведены сведения об основных источниках и видах антропогенного воздействия на окружающую среду агломерации.

В **третьей главе** содержатся данные о геоэкологическом состоянии (качестве) изученных компонентов окружающей среды, сведения о физических полях, радиоэкологической обстановке, опасных геологических процессах.

В **четвертой главе** охарактеризована геоэкологическая ситуация на изученной территории, раскрыты особенности распределения и тенденции изменения состояния компонентов окружающей среды, предложены новые подходы к оценке геоэкологического состояния природных сред.

В заключении сформулированы основные выводы проведенного исследования.

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.

Благодарности. 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 научным сотрудникам к.г.-м.н. А.В. Кивацкой и к.г.н. Савенко К.С. за всестороннюю помощь при проведении исследования.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Положение 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.*

До начала перевода котельных агломерации на природный газ (до 2008 г.) доля нестандартных проб атмосферного воздуха по газообразным загрязнителям (до 2-3 ПДК) варьировалась на уровне 10-20%. В дальнейшем их доля уменьшилась до первых процентов, а в 2013-2016 гг. нестандартные пробы воздуха в г. Горно-Алтайске не выявлялись (рис. 1).

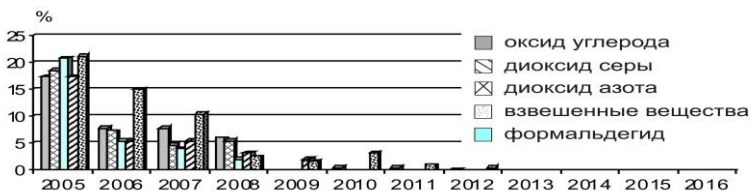


Рисунок 1 – Доля нестандартных проб атмосферного воздуха на территории г. Горно-Алтайска в 2005-2016 гг. (Робертус и др., 2013)

Перевод котельных на природный газ способствовал снижению выбросов твердых частиц (пыль, сажа, недожог) в воздушный бассейн агломерации в отопительный период. В частности, средняя пылевая нагрузка в Горно-Алтайске уменьшилась на порядок – с высокого уровня ($530 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{сут.}$) в начале 1990-х годов до фоновых значений в 2015-2017 гг. (табл. 1). В последние годы пылевая нагрузка на территории агломерации в зимний период находилась на фоновом (до $100 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{сут.}$) и частично низком ($100\text{-}250 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{сут.}$) уровне. При этом большого различия в уровне запыленности г. Горно-Алтайска и пригородных сел не отмечалось. Характерно, что и уровень фоновой запыленности уменьшился в 3 раза.

Таблица 1 – Динамика средней пылевой нагрузки ($\text{кг/км}^2 \cdot \text{сут.}$) на территории г. Горно-Алтайска в 1992-2017 гг. (Робертус и др., 2013)

Годы	< 100 (фон)	100-250 (низкая)	250-450 (средняя)	450-800 (высокая)
1992				530
1997				450
2004			400	
2013		129		
2015	74			
2017	46			

Выделены годы работы котельных на угле (серым), на газе (голубым)

Наибольший уровень изменения химического состава снеготалой воды проявлен в узлах концентрации угольных котельных и вблизи основных транспортных магистралей. Эти изменения имеют тесные связи между собой и с пылевой нагрузкой, что указывает на общий источник поступления загрязнителей в снежный покров (Ситникова, 2015).

Среднее содержание в снеготалой воде большинства микроэлементов (МЭ), кроме алюминия и титана, выше местного фона в среднем в 2 раза, а содержание отдельных МЭ (Mn, Cu, Zn) в 1,5-6,6 раза превышает ПДК для вод водоемов рыбохозяйственного назначения. Предварительно установлено, что области повышенных концентраций МЭ в снеговой пыли и снеготалой воде на территории агломерации совпадают между собой.

По результатам оценки состояния приземной атмосферы по элементному составу эпифитного лишайника *Caloplaca* sp. на шифере сделан вывод об его аналогии с углями Кузнецкого бассейна, используемых котельными агломерации (рис. 2). Выяснено, что 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. Установлено, что области повышенных концентраций МЭ в лишайнике совпадают с прошлыми очагами высокой пылевой нагрузки (Робертус и др., 2018).

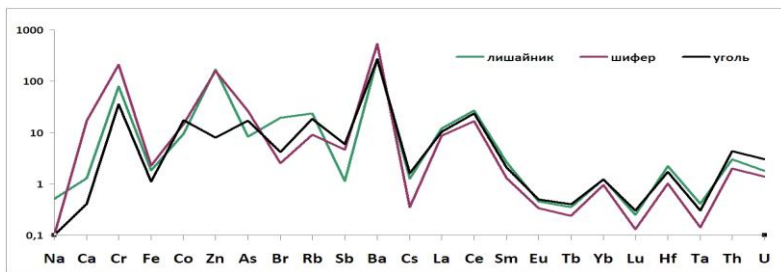


Рисунок 2 – Средние концентрации МЭ (мг/кг) в лишайнике *Saloplaca* sp., шифере-субстрате и в "кузнечком" угле (Арбузов и др., 2000)

Антропогенные изменения почв на территории агломерации г. Горно-Алтайска носят комплексный характер и сопровождаются заметной трансформацией их физико-химических свойств (ФХС) (Любимов, 2005). Автором подтверждено наличие двух тенденций изменения ФХС почв при нарастании антропогенного воздействия, одна из которых проявлена в увеличении значений рН водного, карбонатности, магнитной восприимчивости (рис. 3), содержания физического песка, а другая – в уменьшении содержания гумуса в почвах и их емкости их поглощения.

Средние значения физико-химических свойств почв агломерации выше их местного фона: рН на 1-2 ед., содержание физического песка в 1,2 раза, карбонатность и магнитная восприимчивость в 3,3-4,1 раза. Напротив, содержание гумуса в почвах и их емкость поглощения ниже в среднем на 5-15%. Интенсивность изменения ФХС почв нарастает вблизи основных источников воздействия: автодороги – котельные – предприятия.

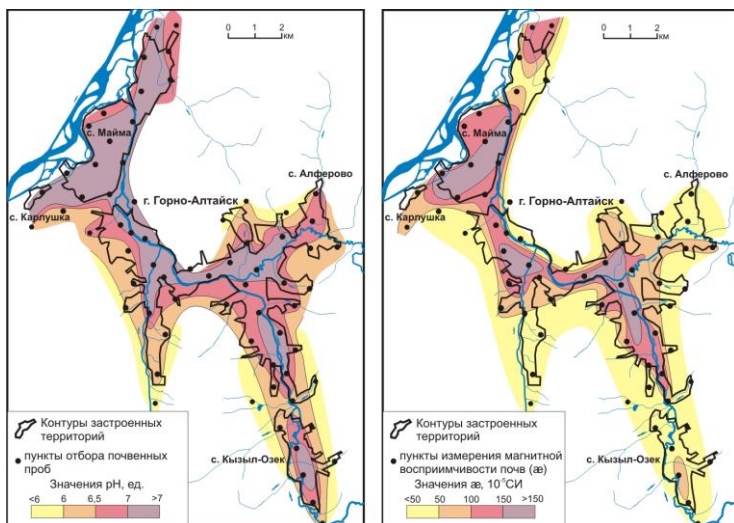


Рисунок 3 – Распределение pH водного (слева) и магнитной восприимчивости (справа) почв в районе г. Горно-Алтайска

Полученные данные позволили выделить в пределах агломерации следующие классы состояния ФХС почв по степени антропогенного воздействия: фоновое, слабое, среднее, сильное. Средняя доля "фоновых" почв составляет 8,3%, сильно измененных 11%. Преобладают слабые и средние изменения ФХС почв – 44,4% и 36,3% соответственно.

В почвах агломерации проявлено слабо повышенное содержание большинства изученных химических элементов, в том числе тяжелых металлов (ТМ), коэффициент концентрации которых варьируется в пределах 1,2-2,6 единиц местного фона и их кларков для почв, а коэффициент загрязнения не превышает единицы, кроме цинка.

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. 2).

Таблица 2 – Среднее содержание ТМ в почвах населенных пунктов (мг/кг)

Элементы	Кларк почв	Местный фон	Горно-Алтайск	Майма	Кызыл-Озёк	Агломерация в целом
Хром	200	95	103	114	100	105
Ванадий	100	80	95	101	83	95
Марганец	850	650	756	750	771	756
Никель	40	40	45	58	40	48
Кобальт	10	10	16	17	17	17
Медь	20	30	45	46	36	44
Цинк	50	60	112	102	107	104
Свинец	10	10	19	19	18	19
Ртуть	0,06	0,04	0,066	0,052	0,044	0,060

В элементном составе почв установлены две ассоциации ТМ, первая из них представлена в основном сидерофильными элементами группы железа, а вторая – халькофильными элементами группы серы. Наличие этих групп ТМ обусловлено разными источниками их поступления в почвы, поэтому их распределение в пределах агломерации различается.

Геохимические различия этих групп ТМ проявлены и в их корреляционных связях. Элементы обеих групп имеют значимые положительные связи между собой и отрицательные связи с элементами другой группы. Элементы второй группы имеют положительные связи с "зимней" пылевой нагрузкой, а элементы первой группы – слабые отрицательные связи.

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

Поверхностные воды на изученной территории относятся 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.

Выявлено наличие прямой связи между уровнем содержания изученных показателей макрокомпонентного (солевого) состава поверхностных вод и порядком водотоков на территории агломерации. Установлено, что с нарастанием порядка рек (от 2-го к 4-му) содержание химических компонентов в воде увеличивается, при этом их наибольшие концентрации характерны для ручьев – притоков р. Майма (табл. 3).

Таблица 3 – Состав поверхностных вод в районе г. Горно-Алтайска (мг/дм³)

Реки (порядок)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+K	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	OM	ХПК	ЖО
Катунь (2)	8,32	21,5	4,2	8,0	0,02	87	11,8	1,9	137	1,36	1,42
Майма (3)	8,45	61,1	6,1	13,3	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	254	13,8	5,7	370	3,09	3,99

Другой чертой состава речных вод является увеличение содержания большинства изученных макрокомпонентов от их истока к устью, особенно для воды рек 4-5-го порядка, основная часть которых полностью находится в пределах агломерации (Робертус и др., 2015).

Среднее содержание большинства МЭ в речной воде в целом выше регионального фона и возрастает от крупных рек к малым рекам. Наибольшие превышения фона характерны для ассоциации литофильных и сидерофильных элементов, что указывает на геологические образования района как основной поставщик МЭ в речные воды, особенно МЭ рыхлых пород в воды малых рек и ручьев 4-5-го порядка.

Содержание в речной воде большинства МЭ также увеличивается от крупных рек к малым. Установлено, что чем меньше длина водотока, тем больше разница в содержании МЭ в его истоке и устье. Эта особенность проявлена и для макрохимического состава вод. Так, наибольшее увеличение содержания в устье рек характерно для нитратов (до 6,5 раз), хлоридов (до 38 раз) (рис. 4).

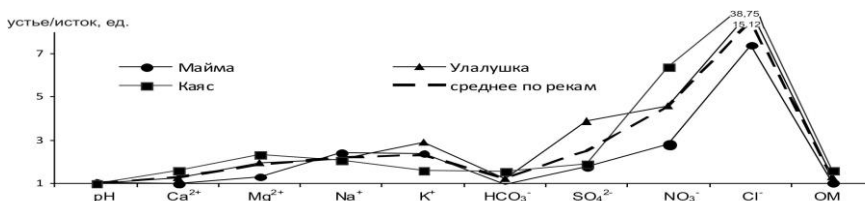


Рисунок 4 – Величина отношения показателей химического состава воды в истоке и устье рек на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Выяснено, что содержание в речной воде растворенного кислорода летом составляет 7,4-9,2 мгО₂/л (среднее 8,3 мгО₂/л), зимой от 11,1-14 мгО₂/л (среднее 12,3). Средняя степень насыщения кислородом воды летом составляет 80%, зимой 90%. Установлено, что в районе г. Горно-Алтайска проявлены следующие тренды его поведения 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 (рис. 5).

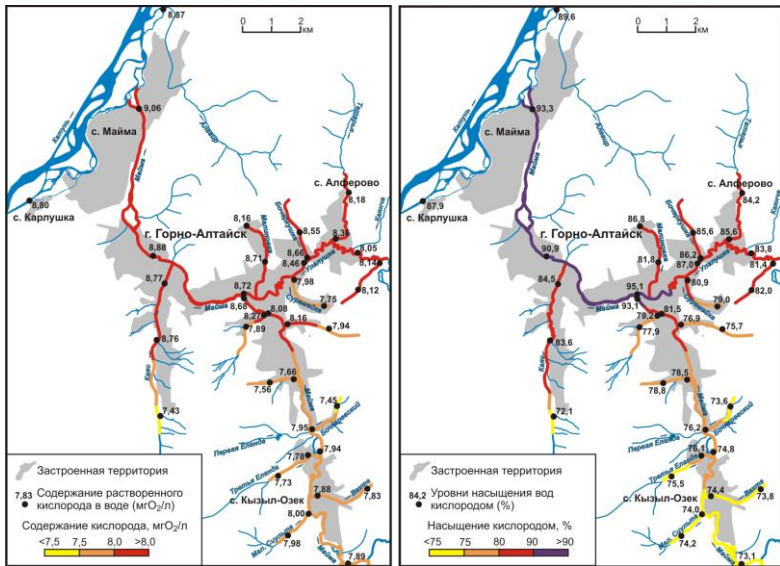


Рисунок 5 – Уровни содержания (слева) и насыщения кислородом (справа) речных вод в районе г. Горно-Алтайска в летнюю межень 2016 г.

Значения других показателей кислородного режима речных вод – перманганатной окисляемости, ХПК, БПК, напротив, увеличиваются от крупных рек к мелким водотокам и уменьшаются от истока к устью изученных рек. Эти показатели имеют между собой тесные корреляционные связи на уровне 95-99%, причем ХПК и БПК между собой имеют прямые связи, а с растворенным кислородом обратные связи.

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях водотоков агломерации находится на фоновом и слабо повышенном уровне. Повышенные концентрации ТМ в отдельных пунктах представлены в основном хромом (до 2 ПДК), мышьяком (до 1,5 ПДК), цинком (1,1 ПДК). 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. 4).

Таблица 4 – Среднее содержание ТМ в донных осадках рек (мг/кг)

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

Предварительно установлено, что 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, что указывает на более значимое воздействие городской территории на водные объекты.

Анализ имеющихся данных не выявил больших различий химического состава подземных вод на территории населенных пунктов агломерации. В то же время грунтовые воды верхнечетвертичных-современных отложений выделяются повышенным содержанием сульфатов, хлоридов, нитратов, нитритов, общей жесткостью и минерализацией (рис. 6), значения которых уменьшаются в ряду г. Горно-Алтайск - с. Майма - с. Кызыл-Озек, что объясняется снижением антропогенной нагрузки в этих пунктах.

Подземные воды в палеозойских толщах в целом не загрязнены или слабо загрязнены в случае их связи с поверхностными и грунтовыми водами, как это имеет место на Майминском водозаборе. Их "негативной" природной гидрохимической особенностью является повышенное содержание железа и марганца, а также высокие значения жесткости.

К числу основных источников поступления загрязняющих веществ в реки агломерации относятся стоки ливневой канализации и сбросные воды очистных сооружений г. Горно-Алтайска. Первые из них содержат загрязнители, поступающие с территории агломерации при плоскостном смыве дождевыми и снеготальными водами, вторые оказывают воздействие в результате сброса не нормативно очищенных сточных вод в р. Майма.

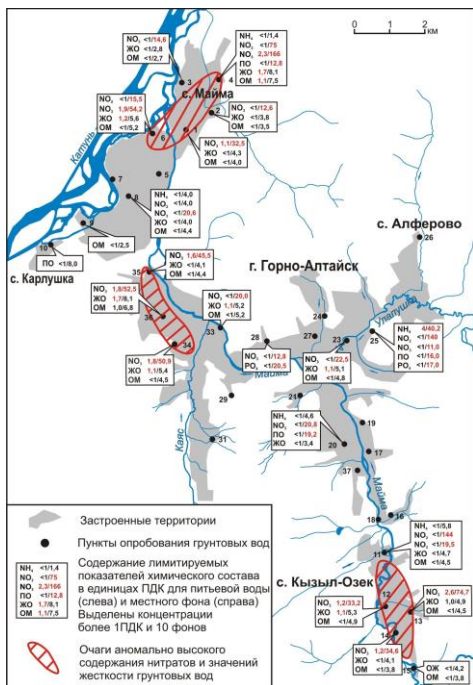


Рисунок 6 – Характер загрязнения грунтовых вод района

Особый интерес представляет трансформация химического состава
дождевых осадков, поступающих в реки в виде стоков ливневой

канализации. В них на фоне подщелачивания многократно (до 15-20 раз) увеличивается содержание всех катионов и анионов (кроме иона аммония), а также значения минерализации, жесткости, ХПК (Ситникова, 2017). Значения большинства из них приближаются к их уровню для воды р. Майма.

Комплексная оценка геоэкологического состояния компонентов окружающей среды включала изучение растительного покрова по доминирующим на территории агломерации древесным породам – березе повислой (*Betula pendula*) и тополю черному (*Pinus nigra* L.). В частности, для березы 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 в пределах агломерации отвечает в среднем 2-й категории ослабленного состояния (из 6 возможных). Наибольшие значения показателя – 3-4 категория состояния (усыхающие деревья) отмечены в селах Майма и Карлушка, что обусловлено близостью федеральной трассы Р-256 и аэропорта Горно-Алтайск.

Из биофизических показателей максимальные отклонения от фона присущи градиенту разности температур ствола и корней дерева. Обратно связанный с ним градиент влажности в с. Майма в среднем ниже фона в 1,7 раза. Радиальный прирост деревьев за последние 5 лет в Майме и Горно-Алтайске в среднем на 10% ниже, чем на фоновых участках (табл. 5).

Таблица 5 – Биофизические показатели состояния березы повислой на территории агломерации г. Горно-Алтайска (в скобках в единицах фона)

Биофизические показатели	Г-Алтайск	Майма	Кызыл-Озек	Агломерация
Жизненное состояние, катег.	1,6 (1,4)	1,9 (1,7)	1,5 (1,3)	1,7 (1,5)
Градиент температур, $\Delta^{\circ}\text{C}/\text{м}$	1,3 (2,6)	1,6 (3,2)	0,5 (1,0)	1,3 (2,6)
Градиент влажности, $\Delta\%/м$	3,2 (0,8)	2,6 (0,6)	4,0 (1,0)	3,1 (0,8)
Прирост за 5 лет, мм	1,7 (0,9)	1,7 (0,9)	1,8 (1,0)	1,7 (0,9)

Величина флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы для агломерации равна 0,047, что соответствует 3-му классу отклонения от нормы (Захаров, 2000). На фоновых участках этот показатель отвечает 1-2 классам. Среднее величина отклонения от фоновых значений биофизических показателей березы в пределах агломерации нарастает в ряду населенных пунктов: Кызыл-Озек – Горно-Алтайск – Майма (рис. 7).

Средние концентрации большинства изученных МЭ в золе листьев тополя черного отличаются от местного фона до 2,5-3,3 раз и на 1-2 порядка ниже их кларка для биосферы (Иванов, 1994). В элементном составе золы установлено две группы МЭ, для первой из них присуще преобладание среднего содержания над фоном (Fe, Cr, Rb, Cs, La, Ce, Yb, Br, Th и др.), а для второй ниже фона (As, Sb, Zn, Co, Ag, Au и др.). Первая группа представлена ассоциацией МЭ, содержащихся в основном в выбросах угольных котельных, вторая – в выбросах автомобильного транспорта.

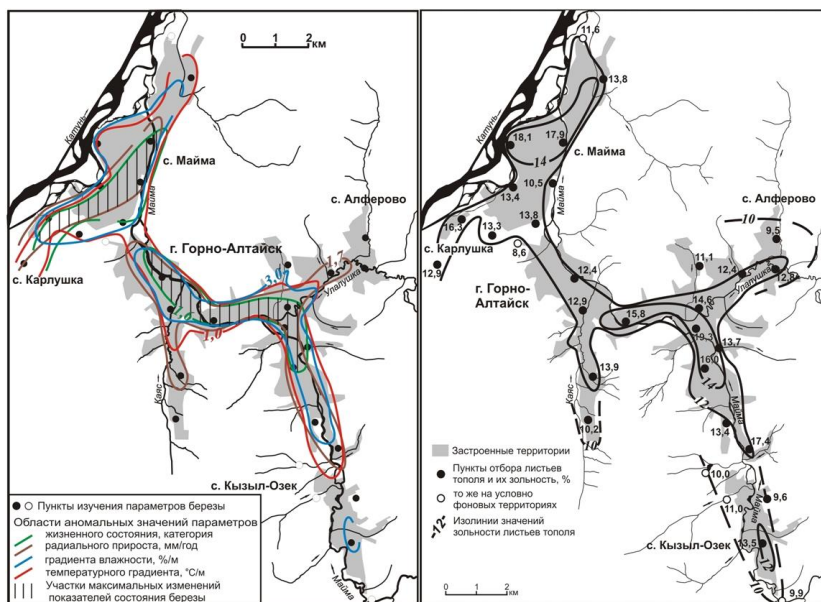


Рисунок 7 – Показатели состояния березы на территории агломерации

Эти группы МЭ образуют как положительные (Ca, Na, Fe, Ba и др.), так и отрицательные (Zn, Co, As, Sb, Br, Ag, Au и др.) биогеохимические ореолы, совпадающие между собой и с областями повышенных значений биофизических параметров березы. Они, как и участки максимальной зольности листьев тополя (более 14%), также тяготеют к трассе Р-256 в с. Майма и к основным автомагистралям Горно-Алтайска (Ситникова, 2016).

Содержание и параметры распределения ЕРН в почвах агломерации находятся в целом на уровне фона. Мощность создаваемой ЕРН экспозиционной дозы гамма-излучения составляет 8-15 мкР/час. Между собой ЕРН в почвах имеют положительные значимые связи, обусловленные совместным нахождением в почвообразующих породах. Напротив, их связи с привнесенными техногенными ^{137}Cs и ^{90}Sr отрицательные и незначимые.

Значительная часть агломерации является опасной по радону. Значения ППР на ее территории варьируются от 54 до 4975 мБк/м²·с при среднем 415 мБк/м²·с. Наиболее высокие значения ППР отмечены в с. Кызыл-Озек, а минимальные на территории сел Майма и Алферово (рис. 8). Установлено, что 68% площади агломерации относится к III классу защиты от радона (>200 мБк/м²·с), а в с. Кызыл-Озек – 100% площади.

Современные остаточные концентрации техногенных радионуклидов в компонентах окружающей среды не влияют на радиационный фон агломерации и не представляют опасности для ее населения. Так, удельная активность ^{137}Cs в почвах в целом невысока – от 2 до 47 Бк/кг при среднем 8 Бк/кг, а в речных отложениях в три раза ниже.

Средняя плотность загрязнения ^{137}Cs – 24 мКи/км², что в целом ниже фона его прошлых глобальных выпадений в регионе – 40-60 мКи/км² (Мешков и др., 1999).

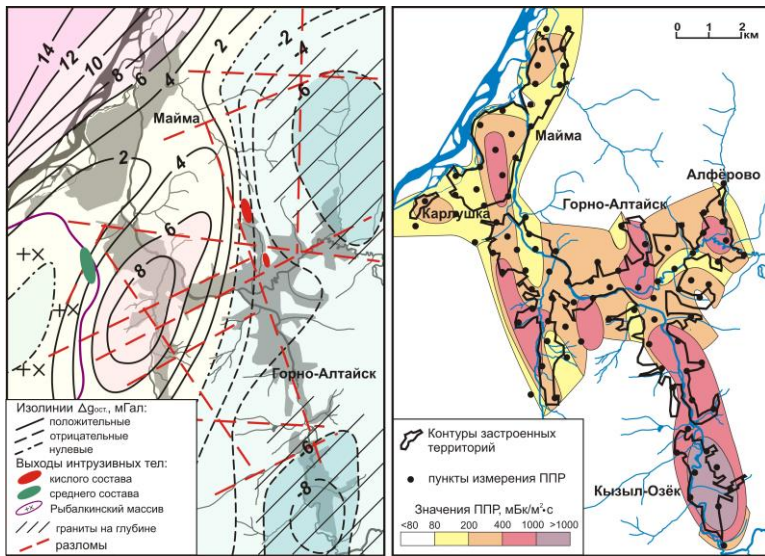


Рисунок 8 – Глубинное геологическое строение района г. Горно-Алтайска (слева); плотность потока радона с поверхности почвы (справа)

Положение 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.*

Изучение особенностей распределения свойств и элементного состава компонентов окружающей среды проведено в целом для территории г. Горно-Алтайска (площадное или латеральное распределение) и по интервалам абсолютных отметок местности (высотно-поясное распределение).

Установлена пространственная локализация повышенной пылевой нагрузки, загрязнителей снеготалой воды, повышенных (пониженных) значений изученных ФХС и содержания химических элементов в почвах, биогеохимических ореолов ТМ в листьях тополя и в лишайнике *Caloplaca* в пределах наиболее урбанизированных частей г. Горно-Алтайска, особенно вблизи крупных автомагистралей и скоплений угольных котельных.

Примером вышеотмеченной локализации является распределение педохимических ореолов рассеяния ассоциации халькофильных элементов

(Cu, Pb, Zn, Ag) и пространственно сопряженных с ними отрицательных ореолов группы сидерофильных элементов (Fe, Ti, Mn, Cr, V, Ni, Co), приуроченных к центральной части г. Горно-Алтайска (пр. Коммунистический, ул. Чорос-Гуркина и Ленина) (рис. 9).

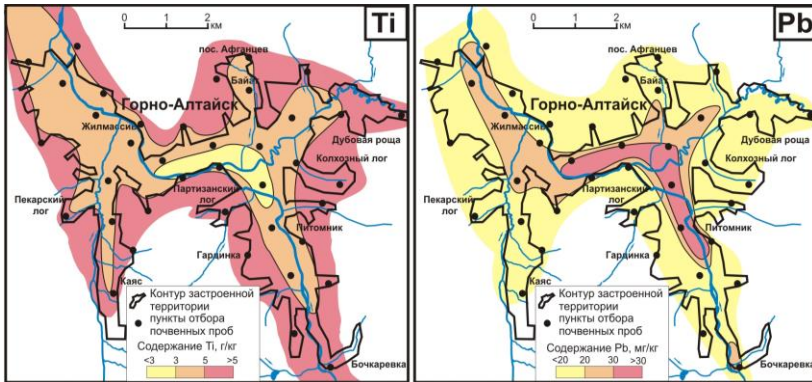


Рисунок 9 – Особенности распределения сидерофильных (левый ряд) и халькофильных (правый ряд) элементов в почвах г. Горно-Алтайска

Анализ средних значений показателей изученных компонентов окружающей среды для четырех высотных поясов – менее 300 м, 300-350 м (днище 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 (Робертус, Ситникова, 2016).

Установлено, что пылевая нагрузка на территории агломерации имеет обратную значимую связь с высотой местности. Максимальная нагрузка проявлена на территории с отметками менее 300 м, а на высоте более 400 м она составляет 30% от нее значения на высоте ниже 300 м.

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. 10).

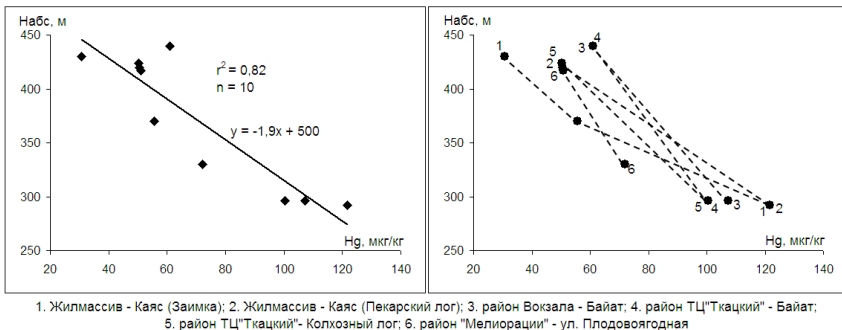


Рисунок 10 – Распределение ртути в почвах г. Горно-Алтайска

Содержание естественных радионуклидов увеличивается с высотой местности на 7-31%, а ^{137}Cs наоборот снижается 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. 6).

Таблица 6 – Характер распределения показателей почв г. Горно-Алтайска

Показатели	Значения по интервалам абсолютных высот				Отношение, >400 м/<300 м, ед.
	< 300 м	300-350 м	350-400 м	> 400 м	
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

В высотном распределении биофизических показателей и элементного состава древесных растений проявлены закономерности, идентичные установленным для почв. Так, для березы повислой отмечены тренды увеличения с высотой местности влажности корней и ствола, величины радиального прироста ствола и асимметрии листьев. Противоположная тенденция проявлена для температуры корней и ствола (табл. 7).

Для химических элементов в золе листьев тополя характерны эти же закономерности высотно-поясного распределения. С увеличением высоты местности их концентрации увеличиваются в среднем в 2,5 раза. Для зольности листьев проявлен противоположный тренд, предположительно обусловленный снижением количества неорганической пыли на листьях.

Таблица 7 – Показатели древостоя на территории г. Горно-Алтайска

Показатели	Значения по интервалам высот				> 400 м /
	<300 м	300-350 м	350-400 м	>400 м	<300 м, ед.
Показатели состояния березы повислой					
Жизненное состояние, кат.	2,2	1,4	1,3	1,0	0,45
Температура ствола, °С	22,0	21,3	19,2	17,8	0,81
Влажность ствола, %	16,6	18,6	20,3	27,2	1,64
Влажность корней, %	12,5	13,6	14,6	21,0	1,68
Радиальный прирост 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
Показатели состояния тополя черного					
Зольность листьев, %	15,2	13,2	12,5	10,2	0,67
Кальций, %	7,5	9,2	10,2	13,8	1,84
Железо, %	0,17	0,26	0,47	0,75	4,41
Хром, мг/кг	7,6	12,2	12,8	17,5	2,30
Цинк, мг/кг	459	531	589	789	1,72
Барий, мг/кг	93,6	114,1	205,8	425,7	4,55

Выделены жирным шрифтом (курсивом) максимальные (минимальные) значения

Полученные данные позволяют считать, что на высоте более 100-120 м над р. Майма (отметки >400 м), показатели состояния древесных растений на территории города в целом соответствует фоновому уровню.

Эти же тенденции проявлены для высотно-поясного распределения содержания микроэлементов в лишайнике *Caloplaca* на шифере городских построек. В нем для всех МЭ, кроме Na, Ba, La и Th, характерно увеличение содержания МЭ с высотой местности в среднем на 20%.

Анализ данных по "высотным" изменениям изученных показателей состояния и состава всех компонентов окружающей среды на территории г. Горно-Алтайска показал 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 ед., лишайника *Caloplaca* – 1,2 ед., для пылевой нагрузки – 3,3 ед., а в целом для всех компонентов – 1,5 ед.

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.

Особенностью выявленных трендов высотно-поясного распределения изученных показателей состава и свойств компонентов окружающей среды на территории города является ясно выраженный и тесно увязанный между собой характер антропогенной трансформации их исходного эколого-геохимического фона, обусловленной многолетним поступлением в воздушный бассейн города пылеаэрозольных выбросов угольных котельных вследствие частых воздушных инверсий.

В связи с недостаточной проветриваемостью в зимний период узкой долины р. Майма, уноса и рассеивания выбросов более сотни угольных котельных города (до их перевода на природный газ) практически не

происходило, что способствовало проявлению смогоподобных образований и, как следствие, накоплению содержащих загрязнители пылеаэрозольных выпадений в снежном, почвенном и растительном покрове (Доклад, 2010) В этой связи необходимо отметить, что наблюдениями последних лет установлено, что в зимнее время верхняя граница смогоподобных образований в городе находится на высоте 100-120 м над урезом р. Майма, то есть достигает отметки 400 м, выше которой изученные показатели природных сред находятся на уровне фона.

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

Особенности загрязнения и негативных изменений показателей геоэкологического состояния изученных компонентов окружающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска свидетельствуют: 1) об удовлетворительном состоянии (качестве) атмосферного воздуха и подземных вод; 2) об удовлетворительном и малоудовлетворительном, а на отдельных участках неудовлетворительном состоянии почв, речных вод, донных отложений рек, грунтовых вод и древесных растений.

Результаты оценки геоэкологического состояния компонентов окружающей среды в пределах агломерации г. Горно-Алтайска позволяют представить его в следующем обобщенном виде (табл. 8), из которого видно, что для большинства компонентов присуща в целом невысокая околофоновая и слабая степень антропогенного загрязнения (изменения).

Таблица 8 – Показатели геоэкологического состояния компонентов окружающей среды на территории агломерации г. Горно-Алтайска

Компоненты, поля, процессы	Показатели состояния компонентов окружающей среды	Уровень**		Вклад*
		от-до	$\bar{X}$	
Приземная атмосфера	Содержание газов, пылевая нагрузка	1-2	1,5	15
Почвенный покров	Степень значений комплекса ФХС	1-3	2	5
	Степень загрязнения ТМ	1-3	2	10
	Степень загрязнения ХОП	1-4	2	10
Поверхностные воды	Степень загрязнения экотоксикантами	1-2	1,5	10
Донные отложения	Степень загрязнения ТМ	1-2	1,5	3
Грунтовые воды	Степень загрязнения экотоксикантами	1-3	2	10
Подземные воды	Степень загрязнения экотоксикантами	1	1	0
Древесные растения	Биофизические показатели и состав	1-3	2	5
Радиационный фон	Величины ППР, ЭРОА, ТРН	1-4	3	20
Физические поля	Степень физических полей	1-2	1,5	5
Опасные ЭГП	Степень проявления опасных ЭГП	1-3	2,5	7

* – экспертная оценка максимального вклада показателей, %; ** – уровень загрязнения (изменения): 1 – околофоновый, 2 – слабый, 3 – средний, 4 – высокий

На основании имеющихся фондовых данных 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%.

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. 11) 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 центральных частях г. Горно-Алтайска, сел Маймы и Кызыл-Озек.

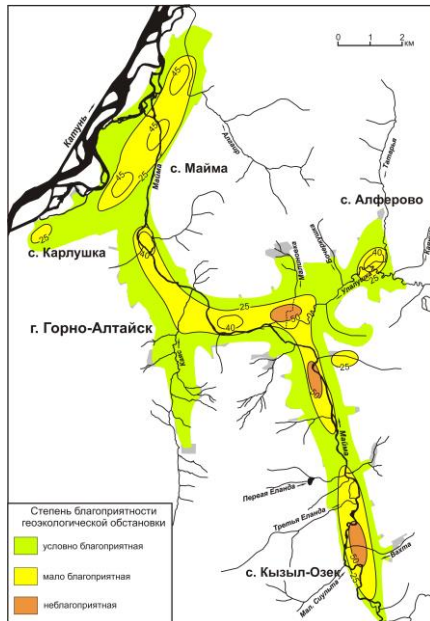


Рисунок 11 – Районирование территории агломерации г. Горно-Алтайска по уровню геоэкологического состояния окружающей среды

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. средняя степень благоприятности геоэкологической обстановки в пределах агломерации составляла 48%. Таким образом, можно констатировать заметное улучшение геоэкологической обстановки на территории агломерации г. Горно-Алтайска за последние 20 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам работы сделаны следующие основные выводы:

1. В компонентах окружающей среды в районе г. Горно-Алтайска проявлен узкий спектр и преимущественно низкие концентрации загрязнителей, характерных для хозяйственной деятельности на этой территории.

2. Существует две группы ФХС 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.

3. Степень антропогенной трансформации поверхностных вод на территории агломерации в целом низкая (для грунтовых вод повышенная), но при этом сохраняется их природный гидрохимический тип.

4. Содержание большинства макрокомпонентов и микроэлементов в речных 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.

5. Показатели геоэкологического состояния изученных сред являются индикаторами специфики и интенсивности прошлой и текущей антропогенной деятельности на территории агломерации. Наиболее чувствительными биоиндикаторами служат биофизические показатели березы, элементный состав тополя и лишайника *Caloplaca* на шифере.

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

7. Радиоэкологическая обстановка в пределах агломерации в целом спокойная, но на значительной ее территории опасна по радону, особенно в с. Кызыл-Озек и, в меньшей степени, в г. Горно-Алтайске, с. Майма.

8. Геоэкологическая обстановка на территории агломерации находится в основном на условно благоприятном уровне и, в небольшой степени, на малоблагоприятном и неблагоприятном уровне, особенно в центральных частях г. Горно-Алтайска, сел Майма и Кызыл-Озек.

9. Локальные участки неблагоприятного геоэкологического состояния (качества) окружающей среды приурочены, главным образом, к узлам концентрации угольных котельных и к основным транспортным магистралям агломерации (в г. Горно-Алтайске – пр. Коммунистический, ул. Ленина, ул. Чорос-Гуркина; в селах Майма и Карлушка – федеральная трасса Р-236 "Чуйский тракт"; в с. Кызыл-Озек – трасса Горно-Алтайск-Артыбаш), а также к высокоопасным по радону территориям.

10. Предложенные интегральные показатели состояния почв, древесных растений и кислородного режима поверхностных вод применимы в качестве дополнительных индикаторов их геоэкологического качества.

Список основных публикаций по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК:

1. Ситникова, В.А. 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.
2. Ситникова, В.А. 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, Т.С. Большунова // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 4. С. 70-78.

Прочие публикации:

3. **Ситникова, В.А.** Особенности загрязнения тяжелыми металлами почв г. Горно-Алтайска / В.А. Ситникова // Мат. Межд науч.-практ. конф. "Экологические аспекты природопользования в Алтае-Саянском регионе". Белокуриха: 2014. С. 44-49.
4. **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.
5. **Ситникова, В.А.** Экологическое состояние компонентов окружающей среды на территории г. Горно-Алтайска и его пригородов / В.А. Ситникова / Тр. XIX Межд. симп. им. Акад. М.А. Усова "Проблемы геологии и освоения недр". Томск: Изд-во ТПУ, 2015. С. 647-649.
6. **Ситникова, В.А.** Особенности химического состава снеготалой воды на территории города Горно-Алтайска / В.А. Ситникова // Матер. 15-й межвуз. молод. науч. конф. "Школа экологической геологии и рационального недропользования". С.-Пб.: 2015. С. 243-245.
7. 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: AST, 2016. С. 568-571.
8. **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.
9. 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.
10. **Ситникова, В.А.** Современные опасные геологические процессы в районе города Горно-Алтайска // В.А. Ситникова / Матер. Межд. научно-практ. конф. студ., асп. и мол. учен. «География в современном мире: вековой прогресс и новые приоритеты». СПб.: 2018. С. 117-122.
11. **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.