

*На правах рукописи-*



**Макарова Юлия Анатольевна**

**Техуогенез геологической среды  
Верхне-Пышминского промышленного узла  
(Средний Урал)**

**Специальность 25.00.36. — «Геоэкология»**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук**

**Екатеринбург-2004**

Работа выполнена в Уральской государственной горно-геологической академии.

*Научный руководитель* - доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, заслуженный деятель науки РФ  
*Грязное Олег Николаевич*

*Официальные оппоненты:* доктор геолого-минералогических наук  
*Расулов Ариф Таджаддинович*

кандидат геолого-минералогических наук  
*Новиков Виталий Прокофьевич*

*Ведущая организация* - Главное Управление природных ресурсов и  
охраны окружающей среды МИР РФ  
по Свердловской области

Защита состоится 24 июня 2004 года в 10, часов на заседании диссертационного совета Д 212.280.01 при Уральской государственной горно-геологической академии по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, 3-й корпус, ауд. 3324.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральской государственной горно-геологической академии.

Автореферат разослан 22 мая 2004 г.

**Ученый секретарь диссертационного совета,**

**д-р. геол.-минерал. наук, профессор**



**В.Ф.Рудников**

## Общая характеристика работы

Актуальность работы. Многие проблемы экологии Уральского региона связаны с добычей и переработкой руд цветных металлов. В пределах промышленных узлов и районов практически ни один компонент природной среды не избежал существенного преобразования. С медной подотраслью металлургии связано комплексное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и их соединениями.

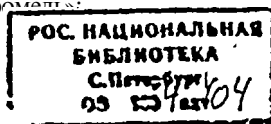
Верхне-Пышминский промышленный узел является одним из уникальных в этом отношении районов с многолетним функционированием горнорудного и медеплавильного производства на базе расположенного в городской черте Пышминско-Ключевского медно-кобальтового месторождения, а в последующем и медьэлектролитного производства на привозном сырье, что и обусловило выбор объекта исследований. Для Верхне-Пышминского промышленного узла в депонирующих средах характерно наличие приоритетной группы токсикантов, в которую входят кадмий, медь, мышьяк, никель, свинец, цинк и хром, наиболее опасные для человека и животных. Способность металлов накапливаться в живых организмах ведет к отрицательным последствиям даже при воздействии относительно невысоких концентраций. Металлы относятся к стойким загрязнителям, так как скорость их техногенного поступления в окружающую среду многократно превышает скорость естественных процессов разложения и выноса.

Важнейшее значение для оценки экологического состояния территории Верхне-Пышминского промузла имеет состояние почв и грунтов, так как почвы представляют собой: 1) начальное звено пищевых цепей; 2) интегральный показатель состояния окружающей среды; 3) источник вторичного загрязнения приземного слоя атмосферы, поверхностных и грунтовых вод. Изложенное и определяет актуальность поставленной темы.

Цель работы. Оценка трансформации геологической среды Верхне-Пышминского промышленного узла под воздействием активного техногенеза: разработки Пышминско-Ключевского месторождения меди, металлургического передела руд и развития промышленно-городской агломерации г. Верхняя Пышма.

В задачи работы входило:

- 1) изучение состояния и условий формирования геотехнической системы Верхне-Пышминского промышленного узла;
- 2) исследование степени атмосферного и гидрогенного загрязнения почв и грунтов селитебной территории города Верхняя Пышма;
- 3) оценка техногенной трансформации химического состава поверхностных вод Верхне-Пышминского промузла;
- 4) оценка степени загрязнения донных отложений озера Ключи и реки Пышмы;
- 5) оценка распределения тяжелых металлов в техногенных грунтах шламохранилища комбината «Уралэлектромедь»;
- 6) изучение трансформации состава и условий накопления тяжелых металлов в почвах и грунтах комбината «Уралэлектромедь»;



7) определение основных путей реабилитации территории Верхне-Пышминского промышленного узла.

Научная новизна заключается в выявлении и оценке техногенной трансформации геологической среды ГТС Верхне-Пышминского промышленного узла; обосновании оптимального комплекса методов и способов оценки экологического состояния территории старых горнопромышленных производств, выявлении закономерностей в формировании атмосферного и гидрогенного загрязнения геологической среды территории; выяснении условий распределения цветных металлов в грунтах промышленного предприятия; изучении путей распространения тяжелых металлов при загрязнении окружающей среды в системе шлам - почва - растение.

Практическое значение. Полученные данные могут быть использованы для экологического районирования территории. Оценка распределения тяжелых металлов в шламах и растениях учтена при рекультивации шламохранилища. Разработаны методы и способы реабилитации геологической среды, в том числе использования техногенных грунтов комбината в качестве техногенного сырья для извлечения цветных металлов.

Защищаемые положения:

1. Геотехническая система Верхне-Пышминского промышленного узла является результатом длительного воздействия на геологическую среду горно-металлургического производства на базе разработки Пышминско-Ключевского медно-кобальтового месторождения и развивающейся промышленно-городской агломерации. Техногенез Верхне-Пышминской геосистемы сопровождался истощением минеральных ресурсов, образованием техногенных ландшафтов, антропогенным литогенезом, трансформацией состава и свойств ингредиентов геологической среды.

2. Приоритетными атмосферными загрязнителями снегового покрова, почв и грунтов в составе промышленных и транспортных выбросов являются Cu, As, Sb, Pb, Zn, Ni, Co, Cr, Bi. Длительная инфильтрация с талыми водами, дождевыми осадками привела к накоплению в горизонтах почвенного профиля Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Sb, As.

3. Миграция тяжелых металлов с промышленными стоками, поверхностным стоком загрязненных территорий, дренажными водами, сбрасываемыми в оз. Ключи, обусловила накопление в донных отложениях Cu, Ni, Co, Pb и Cr.

4. За период деятельности медеплавильного производства в техногенных грунтах комбината «Уралэлектромедь» произошло механическое и аэрогенное накопление меди, цинка, свинца и никеля. Их концентрации до глубины 1 метра достигают промышленных содержаний и в количественном отношении могут явиться объектом рентабельной переработки.

Фактический материал. В основу диссертации положены материалы, полученные автором при полевых и камеральных работах, проведенных на территории Верхне-Пышминского промузла в составе научно-исследовательской группы Института испытаний и сертификации

минерального сырья УПТА (1996-1997 гг.), в период обучения в магистратуре (1998-1999 гг.) и аспирантуре (1999-2003 гг.), а также опубликованные и фондовые материалы. В работе использованы результаты 884 приближенно-количественных спектральных анализов проб почв, грунтов, донных отложений, шламов, в том числе 163 пробы автора, 25 атомно-абсорбционных анализов, обработанных с применением компьютерных технологий.

Апробация работы. Результаты работы докладывались или служили предметом обсуждения на Уральской минералогической школе, Екатеринбург, 1997, 2002 гг.; на 2-й Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А.Усова "Проблемы геологии и освоения недр", г. Томск, 1998 г.; Всероссийской научно-технической конференции "Совершенствование поиска и разведки, добычи и переработки полезных ископаемых", г. Красноярск, 1999 г.; на Уральской молодежной научной школе по геофизике, Екатеринбург, 2000 г.; на Российском съезде геологов, Санкт-Петербург, 2000 г.; 5-й Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в г. Томске, 2001 г.; Межвузовской научной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования», Санкт-Петербург, 2001 г.; на пятых научных чтениях им. академика Е.М.Сергеева, Москва, 2003 г. В Межвузовском конкурсе на лучшую научную работу среди аспирантов получен диплом второй степени, Екатеринбург, 2000 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 8 статей и 6 тезисов докладов.

Результаты работы внедрены в Институте испытаний и сертификации минерального сырья и в ВНИЦ Торфтехнология".

Объем и содержание работы. Работа состоит из введения, семи глав и заключения, списка литературы, включает 142 страницы машинописного текста, иллюстрированного 44 рисунками и 17 таблицами.

В первой главе («Анализ результатов предыдущих эколого-геохимических исследований территории Верхне-Пышминского промузла») описывается история эколого-геохимических исследований, выполненных в пределах Верхне-Пышминского промышленного узла различными исследователями, и их результаты. Во второй главе («Методика эколого-геохимических исследований Верхне-Пышминского промузла») рассмотрены главные методы и способы эколого-геологических исследований и их использование автором при выполнении работы. В третьей главе («Геотехническая система Верхне-Пышминского промузла») охарактеризована геотехническая система Верхне-Пышминского промузла, включающая активно взаимодействующие природные и техногенные объекты. Важнейшие техногенные системы связаны здесь с добычей и переработкой медных руд, развитием промышленно-городской агломерации. Четвертая глава («Атмосферное загрязнение окружающей среды Верхне-Пышминского промузла») посвящена роли комплекса тяжелых металлов, поступающих в окружающую среду в составе промышленных и транспортных выбросов в атмосферном загрязнении снегового покрова, почв и грунтов. В результате инфильтрации тяжелые металлы накапливаются и в нижней части почвенного

профиля. В пятой главе («Гидрогенное загрязнение геологической среды Верхне-Пышминского промузла») рассмотрены пути накопления тяжелых металлов в донных отложениях лаверхностных водоемов и водотоков, миграция химических элементов из хвостохранилища Пышминской обогатительной фабрики, трансформация подземных вод Верхне-Пышминского промышленного узла. В шестой главе («Тяжелые металлы в грунтах промышленной территории») приводятся данные по изучению распределения химических элементов в техногенных грунтах территории комбината и результаты подсчета их прогнозных ресурсов. В седьмой главе («Пути реабилитации территории Верхне-Пышминского промузла и снижения техногенной нагрузки») рассмотрены направления реабилитации территории, связанные с переработкой техногенно-минеральных объектов и рекультивацией загрязненных территорий.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, заведующему кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, д-ру. геол.-минерал. наук, профессору, заслуженному деятелю науки и техники РФ О.Н. Грязнову за постоянное внимание и поддержку в выполнении работы, сотрудникам кафедры, способствовавшим проведению исследований, д-ру, геол.-минерал. наук, профессору А.Г. Талалаю, начальнику Комитета по охране окружающей среды города Верхняя Пышма Т.Н. Мироновой, старшему научному сотруднику ВУХИН С.Т. Стахееву, доценту УПТА А.Г. Рязанову, сотрудникам кафедры геоинформатики Г.В. Шилиной, Л.А. Поморцевой, коллективу Института испытаний и сертификации минерального сырья: О.Э. Локтионову, С.И. Шарову, а также А.В. Худинхану за помощь в проведении полевых, лабораторных работ и ценные замечания.

### **Основные защищаемые положения**

*/.* *Геотехническая система Верхне-Пышминского промышленного узла является результатом длительного воздействия на геологическую среду горно-металлургического производства на базе разработки Пышминско-Ключевского медно-кобальтового месторождения и развивающейся промышленно-городской агломерации. Техногенез Верхне-Пышминской геосистемы сопровождался истощением минеральных ресурсов, образованием техногенных ландшафтов, антропогенным литогенезом, трансформацией состава и свойств ингредиентов геологической среды.*

Верхне-Пышминский промышленный узел является одним из типичных промышленных районов Среднего Урала, где в середине XIX века в связи с открытием медного месторождения началась добыча и переработка медных руд, сопровождающаяся изменениями геологической среды и накоплением в почвах, грунтах и донных осадках водоемов комплекса тяжелых металлов.

Верхне-Пышминский промузел представляет собой сложную природно-техническую систему (ГТС), функционирующую продолжительный период и включающую помимо основных многие нерегулируемые компоненты городской территории (транспорт и т.д.). Главные природные составляющие

геосистемы - биосфера, гидросфера (озеро Ключи и река Пышма), литогенная основа. Главными компонентами технической системы являются подземный рудник (ныне не действующий), обогатительная фабрика и шламохранилище, комбинат «Уралэлектромедь», предприятия перерабатывающего комплекса, транспортный, сельскохозяйственный и селитебный комплексы. Взаимодействие природных и техногенных компонентов привело к значительному преобразованию окружающей среды Верхне-Пышминского промузла.

В природных ландшафтах г. Верхняя Пышма произошла значительная трансформация, что и определило их замещение специфическими техногенными ландшафтами, созданными в результате деятельности разнообразных промышленных предприятий. Примером техногенных почвообразующих ландшафтов является шламохранилище, представляющее обвалованное дамбой скопление хвостов обогащения руд, на котором в настоящее время проходит рекультивация. Выявление ландшафтно-экологической ситуации проводилось на основе пространственно-временного анализа особенностей и строения ландшафтов, своеобразия их хозяйственного использования и экологического состояния, а также применяемой технологии производства. Для их характеристики применены признаки, определяющие тип антропогенной нагрузки через виды воздействия.

Напряженной экологической ситуацией характеризуется территория Верхне-Пышминского промузла, примыкающая с севера к г. Екатеринбург, что обусловлено в основном длительным функционированием Пышминского рудника с обогатительной фабрикой и Пышминско-Ключевского медеплавильного завода, на месте которого в 1934 г. вступил в строй Уральский комбинат по электролитическому рафинированию и обработке меди (Уралэлектромедь).

Технология производства рафинированной меди сопряжена с выбросами в окружающую среду целого спектра вредных веществ, включающих сернистый ангидрид, окислы азота, соединения меди, никеля, свинца, мышьяка, кадмия, цинка, ванадия и др.. В 1999 г. от АО «Уралэлектромедь» в атмосферу поступило 1002,0 т вредных веществ, из них 94,0 т диоксида серы, 81,0 т диоксида азота, 40,7 т оксида меди, 18,8 т соединений свинца, 8,9 т мышьяка, 3,0 т никеля. Это составляет 71 % от всех промышленных выбросов, поступивших в атмосферу Верхне-Пышминского промузла. Определение вредных веществ в атмосферном воздухе на двух стационарных постах г. Верхняя Пышма, расположенных в жилой зоне, показало, что содержание диоксида азота превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) в 2,7 раза, формальдегида в 14,6 раза, взвешенных веществ в 4,6 раза, свинца в 5,8 раза, меди в 2,0 раза, бензапирена в 10 раз. Значительные промышленные выбросы вредных веществ приводят, в первую очередь, к их накоплению в почвенном покрове.

Основные ореолы техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами охватывают практически всю территорию Верхне-Пышминского промышленного узла. Наиболее распространено загрязнение почв медью, при

этом вся территория г. Верхняя Пышма характеризуется концентрациями меди выше предельно допустимых концентраций.

*2. Приоритетными атмосферными загрязнителями снегового покрова, почв и грунтов в составе промышленных и транспортных выбросов являются Cu, As, Sb, Pb, Zn, Ni, Co, Cr, Bi. Длительная инфильтрация с тальми водами, дождевыми осадками привела к накоплению в горизонтах почвенного профиля Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Sb, As.*

Снеговой покров является депонирующей средой, концентрирующей загрязняющие вещества, выбрасываемые промышленными предприятиями и транспортом в зимний период. Снеговые воды подвергались сокращенному химическому анализу на основные компоненты, пылевые остатки вод - приближенно-количественному спектральному анализу на широкий круг элементов.

Все снеговые воды являются преимущественно сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатными, а вблизи АО "Уралэлектромедь" состав существенно меняется и главными компонентами вод становятся сульфаты и хлориды. Общая минерализация снеговых вод изменяется от 0,5 до 124,5 мг/дм<sup>3</sup>, при этом среднее значение для города Верхняя Пышма составляет 38,7 мг/дм<sup>3</sup>.

Среднее содержание химических элементов, в том числе тяжелых металлов, в снеговых водах, по данным приближенно-количественного спектрального анализа, в ряде случаев значительно превышает фоновые содержания в поверхностных водах: по меди и марганцу - в 6, свинцу - в 9, никелю - в 13, титану - в 21, олову - в 30, хрому - в 64 раза.

Выпадения пыли, фиксируемые по количеству механического осадка в снеговом покрове, почти на всей территории Верхне-Пышминского промузла в три и более раз превышают фоновые значения. При этом участки, прилегающие к основным промышленным предприятиям, подвергаются еще более интенсивному запылению, составляя вблизи АО "Уралэлектромедь" более 30 фоновых значений.

Почвы и сформировавшиеся на территории промышленных предприятий и химического комплекса техногенные грунты являются главным компонентом геологической среды, депонирующим комплекс загрязнителей, в том числе, тяжелых металлов. Поэтому важнейшим показателем при экологической оценке загрязненных территорий является оценка загрязнения почвенного покрова. Поступление химических элементов и их соединений в почвы и грунты происходит как за счет атмосферных выбросов, в том числе депонированных в снеговом покрове, так и при физическом и химическом выветривании подстилающих горных пород.

При оценке распределения тяжелых металлов в почвах и грунтах Верхне-Пышминского промузла использованы данные литогеохимической съемки, результаты площадного и профильного опробования почвенного покрова в пределах ореолов наиболее интенсивного загрязнения, а также данные опробования разрезов почвенного профиля.



Главным источником техногенного загрязнения окружающей среды Верхне-Пышминского промузла является АО "Уралэлектромедь". Почвы, непосредственно примыкающей к комбинату территории на расстоянии до 250 м, характеризуются чрезвычайно опасной категорией загрязнения. Опасные зоны распределяются далее на северо-восток на 200-800 м. Превышение значений ПДК зафиксировано вблизи старого рудника. В восточном и юго-восточном направлениях зоны опасного загрязнения прослежены на расстоянии до 1,5 км от комбината. Состав зон загрязнения комплексный, по мере уменьшения степени загрязнения снижаются комплексность и концентрации тяжелых металлов.

Для территории Верхне-Пышминского промузла наиболее распространено загрязнение почв и грунтов медью, что отражает специфику основного производства. Для всей территории г. Верхняя Пышма для почв и грунтов характерны концентрации меди, превышающие ПДК, при этом загрязнение в контуре содержания меди в 3 ПДК охватывает около 10 км<sup>2</sup>.

Оценка комплексного загрязнения территории Верхне-Пышминского промышленного узла по распределению суммарного показателя загрязнения Zc показывает наличие участков с чрезвычайно опасной, высоко опасной, опасной и допустимой степенью загрязнения почв.

Участки с максимальным загрязнением территории тяготеют к промышленным предприятиям. Чрезвычайно опасная степень загрязнения почвенного покрова характерна для северного берега оз. Ключи, севернее и северо-восточнее территории АО «Уралэлектромедь», при этом на фоне высоко опасной степени загрязнения северо-восточнее АО «Уралэлектромедь» картируется пятно с чрезвычайно опасной степенью загрязнения.

Расчет корреляционных связей между тяжелыми металлами в почвах города Верхняя Пышма показал наличие корреляционной зависимости между химическими элементами: железо - марганец - ванадий; хром — никель — кобальт; медь — ртуть — цинк - свинец. Корреляционные связи в последней ассоциации несколько ослаблены ввиду того, что на предприятии ведется окончательный передел сырья и легковозгоняемые элементы (Zn, Pb), очевидно, частично улетучились на ранних стадиях переработки руд. По данным А.И.Семячова, подвижная форма металлов в почвах хорошо коррелирует с валовой у халькофилов Cu, Zn, Pb, а также у Ni и Co, водорастворимая — у Mn и Zn. Первая ассоциация элементов объединяет медь и тесно связанные с ней элементы, характерные для колчеданных руд: Bi, Sb, As, Cd, Zn, Pb, Ni, нахождение которых в почвах территории определяется совместным поступлением в почву из атмосферы, вторая — элементы материнских для почв вулканогенных пород.

Поступление тяжелых металлов в почву происходит из атмосферы, чаще в виде окислов, в почве они постепенно растворяются, переходя в гидроксиды, карбонаты или в форму обменных катионов. В богатых гумусом тяжелосуглинистых и глинистых почвах тяжелые металлы связываются довольно прочно, что предохраняет от загрязнения грунтовые и поверхностные воды. Песчаные, малогумусные почвы устойчивы против загрязнения, они

Таблица 1

Содержания химических элементов в почвенном профиле северо-западной части территории г. Верхняя Пышма

Номер профиля, горизонт	Содержание химических элементов, мг/кг														Zc
	Cu	Zn	Pb	Sn	As	Ag	Mo	Cr	Ni	Co	V	Mn	Sb	Bi	
1-A <sub>0</sub>	90	180	70	4	0	0,05	1	130	70	13	90	1000	0	1,5	4,6
1-A <sub>1</sub>	180	20	400	30	0	0,15	3	400	90	18	150	900	0	1,5	23,1
1-A <sub>2</sub>	180	300	200	30	0	0,09	3	200	90	18	100	900	0	1	12,9
1-B	200	280	150	20	0	0,1	1,5	300	100	18	150	900	0	1	12,7
ПДК	100	300	32	10	15	0,5	5	100	50	50	150	1500	4,5	2	

Таблица 2

Распределение химических элементов в почвенном профиле в центральной части территории г. Верхняя Пышма

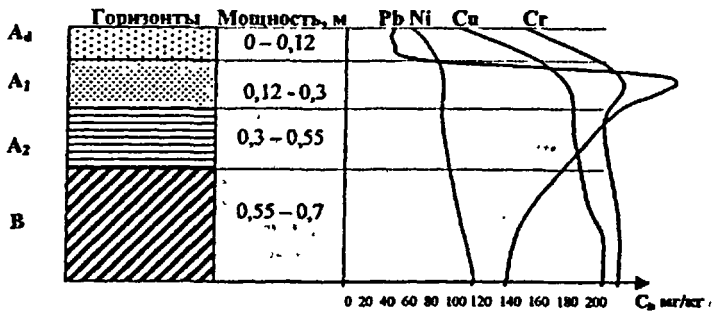
Номер профиля, горизонт	Содержание химических элементов, мг/кг														Zc
	Cu	Zn	Pb	Sn	As	Ag	Mo	Cr	Ni	Co	V	Mn	Sb	Bi	
2-A <sub>0</sub>	300	150	40	3	0	0,3	1,5	700	200	40	100	700	0	1,5	19,25
2-A <sub>1</sub>	100	150	15	2	0	0,06	1,5	1000	200	30	90	900	0	1	23,0
2-A <sub>2</sub>	90	100	18	1,8	0	0,1	1	1000	300	40	70	1000	0	1	25,0
2-B	100	100	20	2	0	0,09	1	1000	300	40	150	900	0	1,5	25,0
ПДК	100	300	32	10	15	0,5	5	100	50	50	150	1500	4,5	2	

Таблица 3

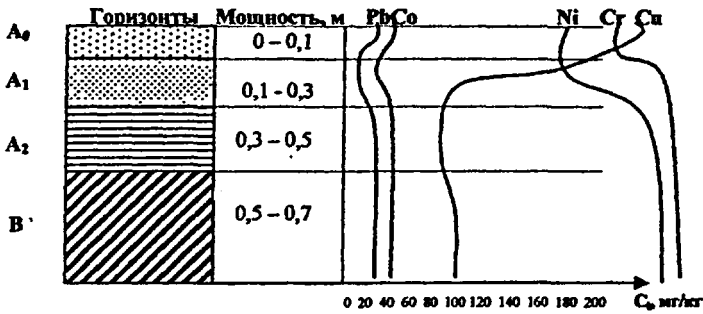
Распределение химических элементов в почвенном профиле северо-западной территории АО "Уралэлектромедь"

Номер профиля, горизонт	Содержание химических элементов, мг/кг														Zc
	Cu	Zn	Pb	Sn	As	Ag	Mo	Cr	Ni	Co	V	Mn	Sb	Bi	
3-A <sub>0</sub>	1500	200	70	10	70	2	2	200	100	30	150	1000	200	2	68,14
3-A <sub>1</sub>	2000	300	100	10	70	5	5	180	150	40	100	1000	300	4	105,2
3-A <sub>2</sub>	3000	400	150	10	70	3	9	200	100	30	150	1000	150	3	80,4
3-B	2000	300	100	15	70	3	3	180	150	40	100	1000	200	3	79,83
ПДК	100	300	32	10	15	0,5	5	100	50	50	150	1500	4,5	2	

## Профиль 1



## Профиль 2



## Профиль 3

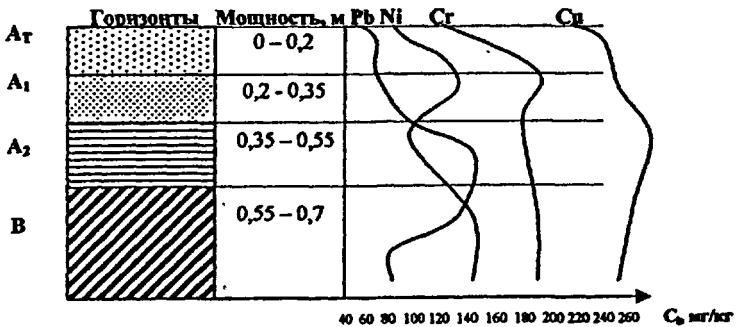


Рис. 1. Строение почв Верхне-Пышминского промузла. Профиль 1; СЗ часть г. Верхняя Пышма, профиль 2, центральная часть г. Верхняя Пышма, профиль 3, СЗ территории АО «Уралэлектромедь»

слабо связывают металлы, легко отдают их растениям или пропускают их через себя с фильтрующимися водами.

Выбор размещения разрезов для изучения распределения тяжелых металлов и их миграции в почвенном профиле определялся интенсивностью химического загрязнения территории Верхне-Пышминского промузла. Они были заложены в местах выявленных ореолов техногенного загрязнения с учетом площадного изучения территории на детализированных ранее участках: разрез 1 - в северо-западной части территории г. Верхняя Пышма, разрез 2 - в центральной части города, разрез 3 расположен северо-западнее промышленной территории АО «Уралэлектромедь».

Миграция тяжелых металлов в почвенном профиле определяется целым рядом факторов, важнейшим из которых является наличие и концентрация водных растворов и наличие биогеохимических барьеров, вследствие чего и происходит концентрация металлов в гумусовых горизонтах почв. Содержание химических элементов в почвенных профилях Верхне-Пышминского промышленного узла показано в табл. 1, 2, 3 и на рис. 1. Среди выявленных в вертикальном профиле почв тяжелых металлов превышение предельно-допустимых концентраций фиксируется у следующих элементов: Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Sb, As.

Анализ распределения тяжелых металлов в пределах почвенного профиля показывает, что комплекс основных элементов-загрязнителей включает Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Sb, As, отчасти Ag и Bi. Загрязнение фиксируется в пределах всего почвенного профиля, однако более высокие концентрации тяжелых металлов и коэффициент суммарного химического загрязнения характерны для иллювиального горизонта, что связано с привнесом тяжелых металлов с инфильтрационными растворами. Поступление химических элементов, вероятно, происходит также и из коренных пород (Cr, Mn, V).

### ***3. Миграция тяжелых металлов с промышленными стоками, поверхностным стоком загрязненных территорий, дренажными водами, сбрасываемыми в оз. Ключи, обусловлена накоплением вodonных отложениях Cu, Ni, Co, Pb, и Cr.***

В результате деятельности промышленных предприятий промузла происходит загрязнение как поверхностной, так и подземной гидросферы. Для района характерно изменение типа поверхностных вод: в оз. Ключи преобладают хлоридно-карбонатные воды, в зоне непосредственного поступления промышленных стоков с АО «Уралэлектромедь» воды гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные, а ниже по течению р. Пышма - сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные. Общая минерализация вод р. Пышма в 5,5 раз выше, чем в оз. Балтым и в 4,5 раза выше, чем в оз. Исетском.

Донные отложения поверхностных водотоков и застойных водоемов занимают особое место среди депонирующих сред. Вследствие постоянно происходящих процессов испарения и конденсации, сбора дождевых вод бассейна питания, промышленных сбросов водотоки и водоемы играют роль

своеобразной "канализационной" системы гидросферы, в которой химический состав вод и донных отложений находится в динамическом равновесии.

На территории Верхне-Пышминского промузла таким водоемом является оз. Ключи, расположенное южнее АО «Уралэлектромедь». Распределение тяжелых металлов в его донных отложениях показывает следующее: по верхнему, водонасыщенному, горизонту максимальной степенью концентрации обладает медь (10-1000 мг/кг), далее идут никель (3-1000 мг/кг), кобальт (3-150 мг/кг), титан (500-2000 мг/кг), марганец (200-2000 мг/кг), хром (10-200 мг/кг), а затем следуют ванадий (10-70 мг/кг), цинк (до 30 мг/кг), бериллий (до 0,5 мг/кг) и барий (до 100 мг/кг). Несколько иная картина распределения тяжелых металлов наблюдается в нижнем, глинистом, горизонте донных отложений. Здесь они образуют следующий ряд: так же, как и в верхнем горизонте, максимальная степень концентрации у меди (10-2000 мг/кг), далее следуют кобальт (20-50 мг/кг), никель (3-200 мг/кг), хром (100-500 мг/кг), марганец (50-1000 мг/кг), ванадий (10-100 мг/кг) (рис. 2). При сравнении результатов, полученных по верхнему и нижнему горизонтам донных отложений, отмечается следующая особенность: одни элементы с глубиной увеличивают концентрации, другие - снижают. Повышается концентрация меди и хрома. Снижается степень концентрации у никеля, титана, кобальта, марганца,

Характер корреляционных связей между химическими элементами в горизонтах донных отложений различен, как по количеству, так и в качественном отношении. В глинистых отложениях нижнего горизонта наиболее значимые связи Cr-V (0,68) и Cr-Co (0,62), для меди характерны положительные корреляционные связи с никелем, кобальтом, хромом, ванадием, цинком. Подобную картину можно объяснить их совместным сорбционным накоплением в глинах, а халькофилов, кроме того, - и в минеральной форме (в пирите). В илах верхнего горизонта наиболее значимы корреляционные связи Cr-Ni (0,92), Co-Ni (0,88), Cr-Co (0,85), Ni-V (0,76), Ti-Mn (0,71), Co-Mn (0,68). Для меди характерен несколько иной характер связей - с кобальтом, бериллием и титаном. Это может свидетельствовать о совместном их сносе, поступлении в составе промышленных сбросов, стоков и сорбции глинистой составляющей и органикой.

Хвостохранилище Пышминской обогатительной фабрики, являясь техногенным месторождением, оказывает существенное влияние на загрязнение геологической среды. Шламы помимо учтенных полезных компонентов (Si, S) содержат широкую гамму тяжелых металлов, мигрирующих с инфильтрационными водами и загрязняющих окружающую среду.

Изучение концентраций тяжелых металлов в шламах показало, что максимальная концентрация меди соответствует 70 ПДК для почв, реже - 50 ПДК, хрома - от 7 до 20 ПДК, содержания никеля достигают 6 ПДК, кобальта - 2 ПДК, свинца в шламах - 1,56 ПДК, а в шламах из рекультивируемых с торфом участках ниже ПДК. Максимальные содержания цинка составляют 3,3 ПДК, марганца до 2 ПДК, молибдена и титана в пробах не превышают ПДК.

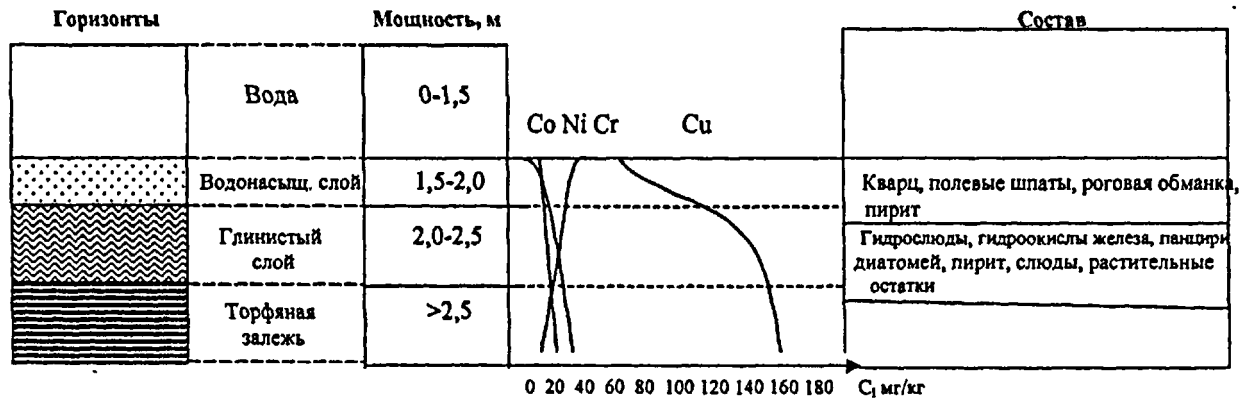


Рис. 2. Строение и состав донных отложений озера Ключи

Суммарный показатель химического загрязнения  $Z_c$  в техногенных грунтах хвостохранилища достигает высоких значений ( $Z_c = 300 - 490$ ), соответствующих зоне чрезвычайно опасного загрязнения.

Таблица 4

## Среднее содержание тяжелых металлов в золе растений

Тяжелые металлы, мг/кг									
Cu	Zn	Pb	Mo	Cr	Ni	Ti	V	Mn	As
<b>Корни</b>									
$\frac{1000-12000}{666,6}$	$\frac{50-1500}{533,3}$	$\frac{50-70}{63,3}$	$\frac{5-100}{37,3}$	$\frac{3000}{3000}$	$\frac{70-200}{140}$	$\frac{500-700}{633,3}$	$\frac{150-200}{166,6}$	$\frac{1500-3000}{2166,6}$	$\frac{100-150}{116}$
<b>Стебли</b>									
$\frac{1000}{1000}$	$\frac{1000}{1000}$	$\frac{30-50}{36,6}$	$\frac{70-200}{123,3}$	$\frac{500-1300}{900}$	$\frac{70-150}{106,6}$	$\frac{300-500}{366,6}$	$\frac{100-150}{86,6}$	$\frac{2000-3000}{2666,6}$	-
<b>Листья</b>									
$\frac{1000-1500}{1166,6}$	$\frac{30-1000}{360}$	$\frac{30-50}{43,3}$	$\frac{100-300}{200}$	$\frac{1500-2000}{1666,6}$	$\frac{70-100}{80}$	$\frac{300-500}{366,6}$	$\frac{150}{150}$	$\frac{1500-3000}{2166,6}$	$\frac{0-100}{33,3}$

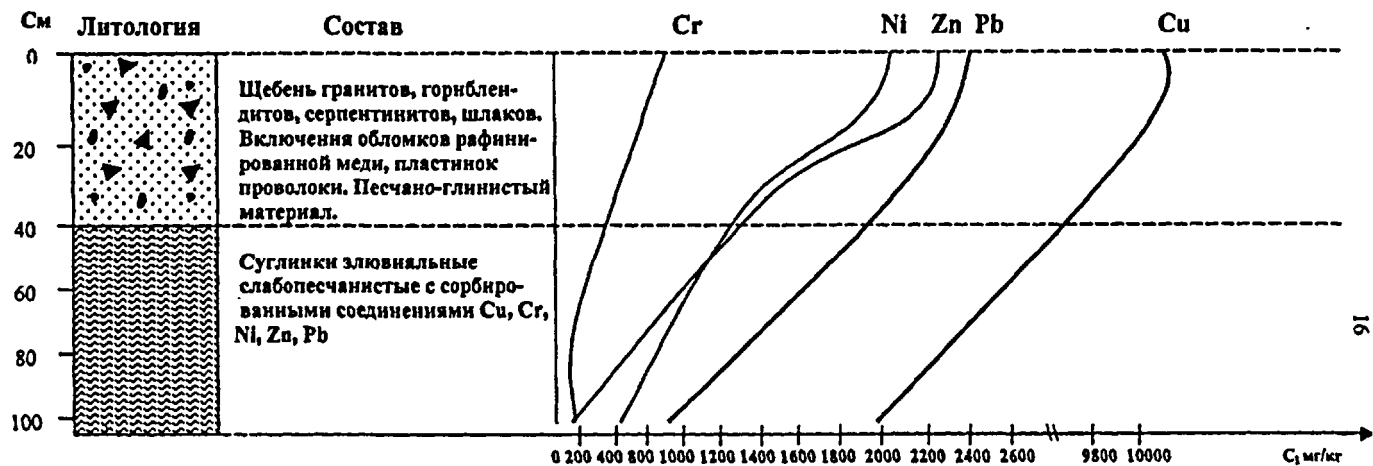
- Числитель—интервал концентраций, знаменатель - среднее значение.

Изучение распределения тяжелых металлов в золе растений из полос рекультивации хвостохранилища (табл. 4) показало, что максимальные содержания меди аккумулируются в золе корней и достигают 100 ПДК для почв; в золе листьев содержания меди от 10 до 15, а в золе стеблей - 10 ПДК. Максимальное содержание хрома приходится на корни - 30 ПДК, в золе листьев хром превышает ПДК в 15-20 раз, а в стеблях - в 15-50 раз. Никеля больше в корнях - 1,44 ПДК, а в листьях и стеблях - от 1,4 до 2 ПДК. Максимальное содержание молибдена аккумулируется в листьях (от 20 до 60 ПДК), в стеблях его меньше - от 14 до 40 ПДК, а минимальные содержания в корнях - от 1 до 20 ПДК.

*4. За период деятельности медеплавильного производства в техногенных грунтах комбината «Уралэлектромедь» произошло накопление и азрогенное накопление меди, цинка, свинца и никеля. Их концентрации до глубины 1 мترا достигают промышленных содержаний и в количественном отношении могут явиться объектом рентабельной переработки.*

Ореолы химического загрязнения почв и грунтов в пределах территории комбината при последующей реабилитации площади могут служить источником получения ряда цветных металлов. Изучение распределения химических элементов в техногенных грунтах территории комбината свидетельствует о значительном накоплении в них меди, цинка, никеля, сурьмы, мышьяка, свинца, относящихся к элементам I и II классов экологической опасности (рис. 3).

Выявленный типоморфный рудный комплекс элементов в техногенных отложениях комбината "Уралэлектромедь" включает, медь, цинк, никель,



**Рис. 3. Сводная литологическая колонка отложений территории комбината «Уралэлектромедь»**



сурьму, мышьяк, свинец, содержания которых достигают высоких значений. В частности, содержания меди, свинца и цинка местами составляют первые проценты, что соответствует их концентрациям в рудах. Это дает основание для подсчета количества металлов, накопившихся в техногенных грунтах за длительный срок функционирования в пределах промзоны вначале медеплавильного, а затем медеэлектролитного производства. Максимальные их концентрации приурочены к местам складирования и транспортировки сырья и продукции. В изученных пробах преобладала металлическая медь, связанная с потерями при транспортировке. На основе имеющихся данных можно провести пока лишь прогнозную оценку ресурсов цветных металлов в техногенных отложениях, оставляя за рамками работы оценку элементов-спутников колчеданных руд на Урале - золота и серебра. Расчет корреляционных связей в грунтах комбината позволяет выделить естественно-природные и техногенные ассоциации элементов.

*Таблица 5*

**Подсчет прогнозных ресурсов по цветным металлам в грунтах  
комбината**

Элемент	S, м <sup>2</sup>	H, м	C, т/т	D, т/м <sup>3</sup>	Прогнозные ресурсы, т
Cu	3000	1	0,000989	2,50	47,175
Zn	3000	1	0,00222	2,50	16,65
Pb	3000	1	0,00287	2,50	21,525
Sb	3000	1	0,00248	2,50	18,6
Ni	3000	1	0,00213	2,50	15,975

Выполненный подсчет прогнозных ресурсов меди, цинка, свинца, сурьмы, никеля дает основание поставить вопрос о вероятном использовании техногенных грунтов территории комбината в качестве вторичного сырья для извлечения цветных и, возможно, благородных металлов. Для его решения необходима постановка разведочных работ (табл. 5).

**Заключение**

1. В результате функционирования Верхне-Пышминской ГТС, типичной в целом и для других уральских городов, при горнорудных и металлургических предприятиях была сформирована промышленно-городская агломерация, включающая ряд промышленных предприятий и зоны жилой застройки, созданы техногенные системы и комплексы. Трансформация геологической среды проявляется весьма интенсивно, выражаясь как в изменениях ландшафта

(природного на техногенный), так и в активной миграции химических элементов. Важнейшие техногенные системы Верхне-Пышминского промышленного узла связаны с добычей и переработкой медных руд и получением рафинированной меди.

2. Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что рассматриваемая территория по содержанию тяжелых металлов в почвах относится к району со сложной экологической обстановкой. Наиболее значимую роль в атмосферном загрязнении снегового покрова, почв и грунтов Верхне-Пышминского промузла играют Cu, As, Sb, Pb, Zn, Ni, Co, Cr, Bi, поступающие в окружающую среду в составе промышленных и транспортных выбросов и определяют высоко опасную и опасную степень загрязнения почвенного покрова. При анализе корреляционных связей химических элементов выявлено обособление в почвах двух групп элементов: халькофилов (Cu, Pb, Zn, Cd, Bi, Sb, As) и сидерофилов (Ti, V, Cr, Co, Sc), вероятно, характеризующих различные источники поступления - техногенный и природный. Инфильтрация тяжелых металлов дождевыми и тальными водами приводит к накоплению комплекса тяжелых металлов в результате их вертикальной миграции в нижнюю часть почвенного профиля.

3. В пределах Верхне-Пышминского промузла как следствие техногенеза происходит накопление тяжелых металлов в поверхностных водоемах и водотоках (оз. Ключи, река Пышма). Изучение их распределения в донных отложениях показывает, что определяющим фактором здесь является минеральный состав донных отложений и удаленность от источника загрязнения. Спектр химических элементов в донных отложениях включает Cu, Zn, Pb, Mo, Cr, Ni, Co, Sb, Bi.

Хвостохранилище Пышминской обогатительной фабрики - техногенное месторождение, является также и источником загрязнения геологической среды. Шламы помимо учтенных полезных компонентов (Cu, S) содержат широкую гамму тяжелых металлов, мигрирующих с инфильтрационными водами и загрязняющих окружающую среду. Изучение растительности на хвостохранилище показало, что тяжелые металлы активно включаются и в биологическую цепь миграции.

4. Изучение распределения химических элементов в техногенных грунтах территории комбината свидетельствует о значительном накоплении в них меди, цинка, никеля, сурьмы, мышьяка, свинца, хрома, относящихся к I и II классам опасности. Расчет корреляционных связей показал наличие нескольких связанных между собой групп элементов, обусловленных природными особенностями и особенностями производственных процессов. Выполненный подсчет прогнозных ресурсов меди, цинка, свинца, сурьмы, мышьяка, никеля дает основание рекомендовать техногенные грунты территории комбината в качестве вторичного сырья для извлечения цветных и, возможно, благородных металлов.

5. Предложенные способы реабилитации территории и снижения техногенной нагрузки связаны с переработкой техногенных грунтов промышленной территории и рекультивацией, а в будущем и переработкой

лежалых хвостов Пышминской обогатительной фабрики с получением в качестве товарного продукта цветных металлов. Рекультивация территорий с чрезвычайно опасной степенью загрязнения ( $Zc > 128$ ) должна проводиться после детального эколого-геохимического картирования с учетом дальнейшего их использования.

#### Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Макаров А.Б., Талалай А.Г., Макарова Ю.А. Грунты территорий промышленных предприятий - возможное сырье для извлечения металлов // Техногенез и экология: Информ.-темат. сборник. Екатеринбург: УПТА, 1997. С. 35-37.
2. Талалай А.Х., Макаров А.Б., Глушкова Т.А., Земцов Н.С., Макарова Ю.А., Афонин К.В. Хром в отходах промышленных производств // Уральская летняя минералогическая школа: Материалы Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов, научных сотрудников и преподавателей вузов. Екатеринбург, 1997. С. 108-109.
3. Макарова Ю.А. Оценка ресурсов цветных металлов на примере одного из комбинатов // Проблемы геологии и освоения недр. Томск, 1998. С. 25-27.
4. Макарова Ю.А. Техногенные руды цветных металлов в грунтах г. Верхняя Пышма (Средний Урал) // Совершенствование технологий поиска и разведки, добычи и переработки полезных ископаемых: Тезисы докладов. Красноярск, 1999.
5. Макарова Ю.А. Тяжелые металлы в шламе и растительности шламохранилища Верхне-Пышминской обогатительной фабрики // Техногенез и экология: Информ.-темат. сборник. Екатеринбург: УПТА, 1999.
6. Макарова Ю.А. Тяжелые металлы в шламе и растительности шламохранилища Верхне-Пышминской обогатительной фабрики. // Проблемы геологии и освоения недр. Томск, 2000.
7. Макарова Ю.Л. Тяжелые металлы в почвах и грунтах Верхне-Пышминского промузла. // Уральская молодежная научная школа по геофизике: Сборник докладов. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. С. 159-162.
8. Талалай А.Г., Макаров А.Б., Макарова Ю.А., Хасанова Г.Г., Боровкова О.Л. Особенности экологических исследований объектов Урала и Западной Сибири (из опыта работы Института испытаний) // Материалы конференции «Уралэкология - Техноген - 2000». Екатеринбург, 2000.
9. Хасанова Г.Г., Макаров А.Б., Талалай А.Г., Макарова Ю.А., Боровкова О.Л. Техногенез и техногенные месторождения // Всесоюзный съезд геологов: Издание в цифровом виде на компьютерном диске. СПб, 2000.
- Ю. Макарова Ю.А. Тяжелые металлы в почвах и грунтах Верхне-Пышминского промузла (Средний Урал) // Школа экологической геологии и рационального недропользования: Вторая межвузовская научная конференция. Материалы конференции. СПб, 2001. С. 211-213.

11. Макарова Ю.А. Методы и способы оценки **экологического состояния** геологической среды территорий предприятий цветной металлургии (на примере Верхне-Пышминского промузла) // Техногенез и экология: Информ.-темат. сборник. Екатеринбург: УГГГА, 2001. С. 86-90.
12. Макарова Ю.А. Распределение тяжелых металлов в вертикальном почвенном профиле Верхне-Пышминского промузла (Средний Урал) // Техногенез и экология: Информ.-темат. сборник. Екатеринбург: УПТА, 2002. С. 58-64.
- П. Макарова Ю.А., Макаров А.Б. Латеральная и вертикальная миграция тяжелых металлов в зоне техногенеза Верхне-Пышминского промузла (Средний Урал) // Сергеевские чтения. Вып. 5: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: ГЕОС, 2003. С. 271-275.
- Н. Макарова Ю.А. Медь и тяжелые металлы в ореолах загрязнения Верхне-Пышминского промузла // Материалы Уральской минералогической школы - 2002: Уральская минералогическая школа. Екатеринбург. Изд. УПТА, 2003. С. 45-48.

Подписано в печать 18.05.2004. Бумага писчая. Формат 60x80 1/16  
Печ. л. 1.0. Тираж 100 экз. Заказ 81

612144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30. Издательство Уральской  
государственной горно-геологической академии