

На правах рукописи

Шурова Майя Владимировна

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ РУДНИКА «ВЕСЕЛЫЙ» (Республика Алтай)**

25.00.36 – ГЕОЭКОЛОГИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2006

Работа выполнена на кафедре минералогии и геохимии
ГОУ ВПО «Томский государственный университет»

Научный руководитель:
кандидат геолого-минералогических наук,
профессор Летувинкас Арвидас Иосифович

Официальные оппоненты:
доктор биологических наук,
профессор Москвитина Нина Сергеевна

кандидат геолого-минералогических наук,
Робертус Юрий Владимирович

Ведущая организация – Институт водных и экологических
проблем СО РАН

Защита состоится 8 июня 2006 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета К 212.267.07 при Томском государственном университете по адресу: 634050, г. Томск, ул. Ленина, 36

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке
Томского государственного университета

Автореферат разослан 21 апреля 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Н.И. Савина

Введение

Рудник «Веселый» в настоящее время является единственным горнодобывающим предприятием в Республике Алтай, производственная деятельность которого продолжается уже более полувека. Извлеченные из недр и обогащенные в технологических циклах многие металлы в окружающей среде проявляют свои особые токсические свойства. Отвалы вскрышных и вмещающих горных пород, шахтные и карьерные воды, стоки и складированные отходы обогатительных производств являются источниками техногенного загрязнения природной среды многими опасными химическими элементами. В условиях возрастающей техногенной нагрузки на окружающую природную среду могут формироваться и реально возникают техногенные геохимические провинции, экологические условия которых требуют пристального исследования (Мирзаев, 1991; Воин, 1992; Саг, 1990; Голубев, 1999; Горшков, 2001).

Целью работы являлось оценка механизмов, уровня и масштабов загрязнения компонентов природной среды тяжелыми металлами в зоне воздействия рудника «Веселый» (Республика Алтай), а также изучение возможностей процессов самоочищения почв и донных отложений исследуемой территории.

В качестве основных задач исследования предусматривалось:

- изучение содержания тяжелых металлов в снеговом покрове, почвах, донных отложениях, растительности и некоторых гидробионтах;
- оценка доли подвижных форм тяжелых металлов в почвах и донных отложениях;
- оценка уровня загрязнения компонентов природной среды тяжелыми металлами и выявление участков с наиболее напряженной экологической обстановкой;
- изучение механизмов техногенного загрязнения и самоочищения почв и донных отложений.

Научная новизна работы. Диссертационная работа является комплексным исследованием, характеризующим состояние природной среды в зоне воздействия рудника «Веселый». Впервые изучены подвижные формы Zn, Cu, Pb и Cd в почвах и донных отложениях района. Установлены источники и механизмы загрязнения компонентов природной среды тяжелыми металлами, рассмотрены основные аспекты возможности самоочищения почв и донных отложений.

Практическая значимость работы заключается в экогеохимической оценке состояния окружающей природной среды в районе рудника «Веселый» и выделении зон различного уровня загрязнения. Результаты исследований использованы при выполнении квалификационных работ в учебном процессе Горно-Алтайского государственного университета, а также в мониторинговых работах по оценке экологической ситуации горнорудных территорий Республики Алтай, проводимых ФГУ «Алтай-Гео».

Фактический материал. Работа выполнена в рамках совместного гранта Томского и Горно-Алтайского государственных университетов №98-15-03183 РФФИ, проводившихся в 1999-2000 гг. Руководителем гранта был А.Д. Строителев, заведующий НИЛ экспериментальной и прикладной минералогии ТГУ. В основу диссертации положены результаты анализов 23 проб снегового покрова, 35 проб почв, 36 проб донных отложений, 22 проб растительности, 10 образцов хвои и 30 проб гидробионтов.

Защищаемые положения:

1. *Взаимодействие техносферы горнодобывающего предприятия рудник «Веселый» с окружающей его природной средой происходит на уровне, определяемом инженерной экологией как воздействие. Основными загрязнителями изученных компонентов природной среды (почвы, донные отложения, растительность и гидробионты) являются тяжелые металлы-спутники процессов добычи и переработки золотых руд Синюхинского месторождения (Hg, Pb, Cu, Zn).*

2. *В реальных ландшафтно-геохимических условиях района рудника «Веселый» доминирующую роль в почвенной миграции токсичных металлов играют процессы сорбции. Накопление металлов в почвах соответствует ряду $Pb > Hg > Cu$, а зональный ореол их техногенного загрязнения оконтуривает техносферу рудника «Веселый» в виде эллипса с длинной осью порядка 5 км, вытянутой в направлении основных водных и воздушных миграционных потоков.*

3. *Наивысшую степень техногенной трансформации и загрязнения в зоне воздействия рудника «Веселый» проявляют донные отложения местных водотоков, основными источниками загрязнения которых являются шахтные и штольневые воды, сточные воды ЗИФ, продукты разрушения хвостохранилищ и отвалов, первичные и вторичные литохимические ореолы рассеяния рудных тел месторождения. Основными загрязнителями донных отложений в порядке снижения их коэффициентов концентрации являются $Cu > Zn > Pb > Cd$, образующие две зоны загрязнения: I – среднего и очень сильного комплексного загрязнения Cu, Zn, Pb, Cd; и II – среднего и сильного загрязнения Cd.*

4. *Самоочищение донных отложений водотоков территории проявлено относительно слабо и существенно отстает от развития процессов их техногенного загрязнения, что обусловлено низкой растворяющей способностью слабокислых умеренно-пресных вод рек Синюха и Сейка, небольшой площадью их водосборов, невысокими модулями стока и преимущественно непродолжительным сезонным характером развития процессов самоочищения. В межень преобладают процессы аккумуляция загрязняющих веществ как в донных отложениях, так и на береговых сорбционных и механических седиментационных барьерах.*

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 166 страницах машинописного текста, содержит 41 таблицу, 30 рисунков и список литературы из 141 наименований.

Публикации и апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на международной конференции «Экология и рациональное природопользование на рубеже веков. Итоги и перспективы», 2000 г. (г. Томск); на конференции «Фундаментальные проблемы охраны окружающей среды и экологии природно-территориальных комплексов Западной Сибири», 2000 г. (г. Горно-Алтайск); на 3-ей Российской биогеохимической школе «Геохимическая экология и изучение таксонов биосферы. Биогеохимическая наука на рубеже XXI столетия», 2000 г. (г. Горно-Алтайск); на международной конференции, посвященной 60-летию Победы в Великой Отечественной войне, 2005 г. (г. Горно-Алтайск). По теме диссертации опубликовано 8 работ.

Автор выражает глубокую благодарность за помощь и ценные советы научному руководителю к. г-м. н., профессору А.И. Летувнинкасу. На разных этапах работы значительную помощь оказали к.х.н. Г.В. Ларина, к.г-м.н. А.В. Шитов, Ю.А. Неминуший, В.Е. Кац, которым автор выражает искреннюю благодарность.

Глава 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Золотодобывающее предприятие рудник «Веселый» и с. Сейка расположены в северо-восточной части Горного Алтая, в междуречье рек Катунь и Бии, в бассейне р. Саракокша, в 75 км от Гор

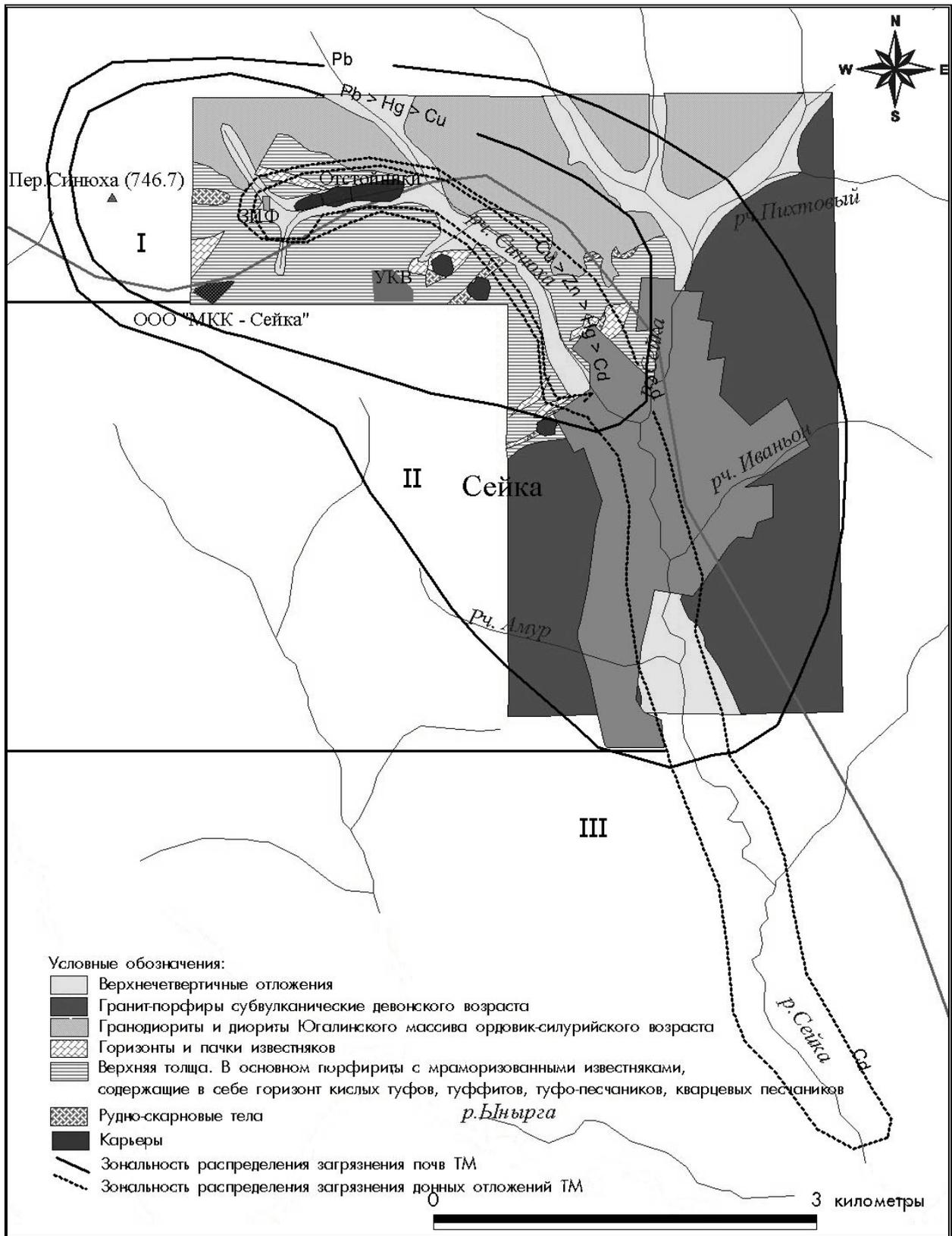


Рис. 1. Обзорная схема района работ

но-Алтайска и в 175 км от г. Бийска, ближайшей железнодорожной станции. Административно изучаемый район относится к Чойскому району Республики Алтай (рис.1). Район относится к среднегорным гумидным ландшафтам умеренной зоны с обильной растительностью.

По химическому составу поверхностные и подземные воды относятся к умеренно-пресному гидрокарбонатно-кальциево-натриевому типу с минерализацией ~ 200 мг/л; по величине рН – преимущественно слабокислые (5,0–6,5); по степени жесткости – мягкие.

Климат района континентальный. Коэффициент увлажнения составляет 1,23. Снежный покров лежит 170–185 дней при его мощности на вершинах до 3 м, в долинах рек – 1,5–2 м. В районе развиты преимущественно дерново-подзолистые почвы. Аллювиальные отложения пойм и надпойменных террас рек Синюха и Сейка состоят из песков, супесей, суглинки, щебня, галек, валунов на горно-лугово-болотных глинистых и тяжелосуглинистых почвах. Поймы рек нарушены дражной эксплуатацией золотоносной россыпи и нередко заболочены.

Основным извлекаемым компонентом Синюхинского рудного поля является Au. Попутно извлекаются Cu и Ag. В качестве элементов-спутников в рудах установлены Pb, Zn, Mn, Ni, Bi, As, Sb, Mo, Se, Te (Курьянович, 1991). Рудник «Веселый» создан в 1951 г. Ежегодно рудник перерабатывает 80-100 тыс. т руды и в среднем добывает по 300 кг Au в год.

Обработка месторождения ведется в основном подземным способом. Обогащение руд осуществляется на ЗИФ амальгамацией, флотацией. Отвальные хвосты (пульпа) складываются в секционных хвостохранилищах. В настоящее время хвосты ЗИФ составляют 1,5 млн т (Робертус, 2004).

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб проводился по общепринятой для экогеохимических работ методике с учетом рекомендаций Ю.А. Саета, В.И. Василенко и др.

В пробах почв, донных отложений и биообъектов определялось содержание Cu, Pb, Zn, Cd, Hg. В почвах также определялась подвижная форма Cu, Pb, Zn, Cd, в донных отложениях – подвижная форма Cu, Pb, Zn. Все лабораторные анализы проб, кроме анализа пылевой фракции снегового покрова, выполнены автором на базе аналитической лаборатории Горно-Алтайского научно-исследовательского института СО РАСХН. Определение Cu, Pb, Zn, Cd выполнено на атомно-абсорбционном спектрофотометре С-112 (МУ-1989, МУ-1992); Hg на спектрофотометре СРЕКТРОМ №109409 методом холодных паров (МУ-1989, 1990).

Количественный атомно-эмиссионный спектральный анализ пылевой фракции снегового покрова проводился в спектральной лаборатории НИЛ экспериментальной и прикладной минералогии ТГУ. В данной работе использованы результаты анализа пылевой фракции снеговых проб на 10 химических элементов: Cu, Ba, Zn, V, Pb, Cr, Sr, Cd, Co. Для снегового покрова также изучалась водная фаза на комплекс ионов – HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , NO_2^- , Cl^- .

Для удобства работы исследуемую территорию по ее функциональной принадлежности разделили на три зоны: зона I – промышленная зона от вершины перевала Синюха до северной окраины с. Сейка; зона II – селитебная зона, территория с. Сейка; зона III – южные окрестности с. Сейка до слияния р. Сейка с р. Ынырга. В качестве фонового для оценки уровня загрязнения почв и донных отложений был выбран участок, находящийся в 4,5 км к югу от южной окрестности с. Сейка, на слиянии рек Сейка и Ынырга. В качестве фоновой территории для исследования снегового покрова взят район с. Паспаул, расположенного в 26 км к северо-западу от с. Сейка за перевалом Синюха, в долине р. Тырга.

Для снегового покрова оценена величина пылевой нагрузки P_n , общая нагрузка (приток) химических элементов на снеговой покров P^1 и рассчитаны коэффициенты общей нагрузки K_p^1 . Для характеристики загрязнения почв и растений использовались предельно допустимые концентрации (ПДК) химических элементов в соответствующих объектах природной среды, коэффициенты концентрации K_c и суммарный показатель загрязнения Z_c .

Оценка уровня загрязнения приземной атмосферы, снегового покрова, почв и донных отложений исследованной территории производилась в соответствии с ориентировочной шкалой оценки аэрогенных очагов загрязнения и оценки загрязнения водных систем, утвержденной Минздравом бывшего СССР (Геохимия..., 1990).

Контроль точности количественного химического анализа (КХА) проводился путем сравнения результатов анализа с Государственными стандартными образцами, внешним и внутренним контролем. Проведена статистическая обработка результатов КХА. Погрешность случайной величины рассчитана с использованием коэффициента Стьюдента t при доверительной вероятности $P=0,95$.

Глава 3. ЭКОГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОСНОВНЫХ ДЕПОНИРУЮЩИХ СРЕД В РАЙОНЕ РУДНИКА «ВЕСЕЛЫЙ»

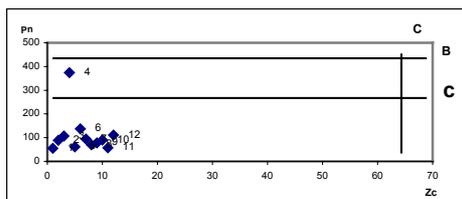


Рис. 2. Загрязнение снегового покрова в ориентировочной шкале оценки аэрогенных очагов загрязнения

Состояние снегового покрова. По величине суммарного показателя загрязнения Z_c и среднесуточной пылевой нагрузки P_n уровень загрязнения снегового покрова большей части изучаемой горнорудной территории может быть оценен как ниже среднего умеренно опасного ($Z_c < 64$, $P_n < 250$ кг/км²-сутки) (рис. 2). Повышенный уровень среднесуточной пылевой нагрузки устанавливается в районе ЗИФ (точки 2 и 3) и в районе добычного Фаифановского карьера (точка 4). По степени запыленности снегового покрова район Фаифановского карьера (точка 4) соответствует среднему, умеренно опасному уровню загрязнения.

Места отбора проб: 1 – перевал Синоха; 2 – территория ЗИФ; 3 – отстойник ЗИФ; 4 – левый борт долины между с. Сейка и ЗИФ; 5 – пойма реки между с. Сейка и ЗИФ, левая сторона; 6 – вся промышленная зона (1–5); 7 – средняя часть с. Сейка; 8 – южная оконечность с. Сейка, долина реки в непосредственной близости от русла; 9 – вся селитебная зона (7–8); 10 – в 1,2 км ниже с. Сейка, левый борт долины; 11 – слияние рек Сейка и Ынырга; 12 – вся изученная территория

Состояние почв. На основании данных по валовому содержанию ТМ в почвах (табл. 1) рассчитаны коэффициенты концентрации (K_c^i), где i – Zn, Cu, Pb, Cd, Hg и суммарный показатель загрязнения почв (Z_c) (табл. 2).

Выявляется снижение валовых количеств Cu, Zn, Hg по мере удаления от отстойников ЗИФ. Отчетливо проявляется накопление Pb и Cd в почве поселка ($K_c=7,3$ и $1,7$ соответственно) относительно промышленной зоны ($K_c=4$ и $1,4$). При среднем содержании Pb в почве поселка (зона II) 3 ПДК (ПДК_{Pb}=30 мг/кг) разброс его составляет от 11 до 450 мг/кг, что сопоставимо с загрязненной почвой промышленных городов (Ильин, 1990). Значительный разброс содержаний Pb и Cu выявлен и в почвах промышленной зоны от 10 до 200 и от 52 до 262 мг/кг соответственно.

Таблица 1. Валовое содержание ТМ в почвах (мг/кг) в 1999 г.

Зоны	Zn	Cu	Pb	Cd	Hg	N
I Пром.	30–99 51±5,8	52–262 88±9,9	10–200 47±8	1,5–5,6 3,2±0,5	0,002–0,34 0,05±0,02	13
II Селитеб.	21–63 47±5,3	27–100 59±6,8	11–450 87±15	1,2–9 4±0,7	0,003–0,04 0,015±0,05	15
III	26–90 44±4,9	20–77 51±5,8	9–61 21±2,5	0,7–2,5 1,8±0,3	0,003–0,02 0,007±0,002	7
$C_{ГА}$	70,3	24,5	8	0,083	0,053	
$C_{ММ}$	50	20	10	0,5	0,01	
$C_{ЗК}$	83	47	1,6	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$8,3 \cdot 10^{-3}$	

Примечание: в числителе – интервал содержаний, в знаменателе – среднее арифметическое; n – число наблюдений; $C_{ГА}$ – среднее для почв Горного Алтая (Экогеохимия..., 1996); $C_{ММ}$ – среднее для почв мира (Войткевич, 1977); $C_{ЗК}$ – кларк земной коры по А.П. Виноградову (1962).

Наиболее загрязненными являются почвы поселка, для которых Z_c составляет от 2,2 до 40,4. Выявляется также локальный участок загрязнения в промышленной зоне – долина ниже дамбы отстойников ($Z_c=31,9$), где наблюдаются высокие содержания Cu и Hg (262; 0,34 мг/кг) (табл. 1).

Таблица 2. Коэффициенты концентрации (K_c^i) и суммарные показатели загрязнения (Z_c) почв в 1999 г.

Зоны	K_c^{Zn}	K_c^{Cu}	K_c^{Pb}	K_c^{Cd}	K_c^{Hg}	Z_c
I Пром.	1,1–3,5 1,8	1,6–8,2 2,8	0,9–16,7 4	0,7–2,4 1,4	0,5–22,7 3,6	2,9–31,9 9,6
II Селитеб.	0,8–2,3 1,7	0,8–3,1 1,8	0,9–37,5 7,3	0,9–3,9 1,7	0,2–2,7 1	2,2–40,4 9,5
III	0,9–3,2 1,6	0,6–2,4 1,6	0,8–5,1 1,8	0,3–1,1 0,8	0,2–1,3 0,4	2,2–7,2 3

Подвижные формы соединений тяжелых металлов – более информативный и более чувствительный показатель загрязнения почв, чем их валовое содержание (Обухов, 1980; 1982), т.к. именно они характеризуют способность загрязняющих веществ переходить в сопредельные среды: в растения, в почвенные и грунтовые воды (Мотузова, 1999) (табл. 3).

Таблица 3. Содержание подвижных форм металлов в почвах (мг/кг)

Зоны	Zn	Cu	Pb	Cd	N
I Промышленная	$\frac{2-39}{12\pm 1,4}$	$\frac{4-155}{65\pm 7,4}$	$\frac{4-6}{5\pm 0,8}$	$\frac{0,02-0,6}{0,2\pm 0,03}$	5
II Селитебная	$\frac{3-12}{8\pm 0,9}$	$\frac{17-45}{28\pm 3,2}$	$\frac{6-7}{7\pm 1,2}$	$\frac{0,05-0,08}{0,07\pm 0,01}$	10
III	$\frac{4-10}{7\pm 0,8}$	$\frac{11-55}{33\pm 3,7}$	$\frac{5-6}{6\pm 1,1}$	$\frac{0,05-0,1}{0,07\pm 0,01}$	5
ПДК	23	3,0			

Содержания подвижных форм Cu в почвах превышают ПДК во всех зонах. Высокая доля подвижных форм от их валового содержания характерна для Cu, что обусловлено комплексобразовательными процессами, значительно ниже она для Zn и Pb и совсем незначительна для Cd (рис. 3).

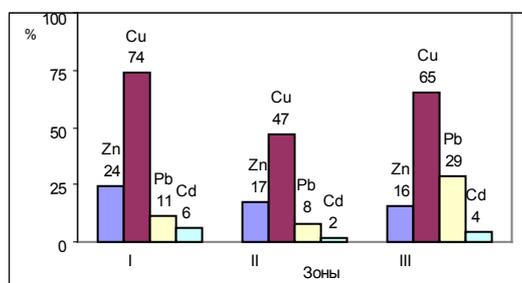


Рис. 3. Доля подвижных форм металлов в почвах: I – промышленная зона; II – селитебная зона; III – южные окрестности с. Сейка

По исследованным элементам почвы исследуемой территории не относятся к загрязненным ($Z_c=9,6; 9,5; 3,0$ для зон I, II, III соответственно). Но на локальных участках (ниже отстойников в зоне I; придорожные участки в зоне II) уровень загрязнения почв ($Z_c=17,5-40,4$) соответствует среднему умеренно опасному и высокому опасному. По-видимому, здесь происходит наложение двух типов геохимических аномалий – техногенной и естественной. В селитебной зоне II уровень загрязнения почв достигает высокого опасного ($Z_c=40,4$; содержание Pb=450 мг/кг).

Состояние донных отложений. Донные отложения промышленной зоны характеризуются значительной концентрацией Hg, Cd, Cu (табл. 4, 5). $K_c^{Hg}=92$ зафиксировано в донных отложениях отстойника, что вполне закономерно, если учесть, что на ЗИФ применяется амальгамирование.

На территории, расположенной ниже пруда-отстойника, токсичные элементы образуют интенсивный поток рассеяния по р. Сейка и ее притокам. Так, в верхнем течении реки (северная часть поселка) выявлено аномально высокое содержание Zn и Cu, для которых $K_c=159,7$ и 588 соответственно. Причина этого, вероятно, связана с выносом донных отложений отстойника ЗИФ тальми водами и их накоплением ниже по течению на механическом гидродинамическом барьере.

Отчетливый поток рассеяния проявляется и у Cd – в донных отложениях элемент накапливается в нижнем течении р. Сейка ($K_c=55$). Существенного загрязнения донных отложений исследуемой территории Pb не наблюдается – его концентрация в донных осадках близка к фоновой. Среди изученных химических элементов основной вклад в загрязнение донных отложений вносят Zn, Cu и Cd.

Таблица 4. Среднее содержание валовых форм тяжелых металлов в донных отложениях, мг/кг

Зоны	Zn	Cu	Pb	Cd	Hg	N
I	$\frac{14-105}{46,8\pm 5,3}$	$\frac{54-1225}{322\pm 36}$	$\frac{13-120}{67\pm 11}$	$\frac{2-16}{6,7\pm 1,1}$	$\frac{0,006-1,2}{0,27\pm 0,09}$	5
II	$\frac{28-5750}{1546\pm 88}$	$\frac{42-20000}{5186\pm 294}$	$\frac{30-166}{5186\pm 294}$	$\frac{0,78-16}{4,8\pm 0,8}$	$\frac{0,006-0,025}{0,013\pm 0,004}$	4
III	$\frac{38-52}{44\pm 5}$	$\frac{48-33}{68\pm 5,5}$	$\frac{36-198}{67\pm 11}$	$\frac{3-22}{12,5\pm 2,1}$	$\frac{0,004-0,028}{0,016\pm 0,005}$	3
$C_{ГА}$	127	43	26		0,027	

Примечание: $C_{ГА}$ – среднее для донных отложений Горного Алтая (Кац, 1996).

Таблица 5. Коэффициенты концентрации (K_c) и суммарные показатели загрязнения (Z_c) донных отложений по зонам

Зоны	K_c^{Zn}	K_c^{Cu}	K_c^{Pb}	K_c^{Cd}	K_c^{Hg}	Z_c
I	0,4–2,9 1,3	1,6–5,6 9,5	0,6–1,9 1,1	5–40 17	0,5–92 21	2–101 46
II	0,8–159,7 43	1,2–588 152	0,5–2,7 1,2	1,9–40 12	0,5–1,9 1,0	12–751 205
III	1–1,4 1,2	0,6–1,6 2,0	0,6–1,6 1,1	7,5–55 31	0,3–2,2 1,2	2–58 33

Подвижные формы ТМ в донных отложениях исследованы для Cu, Zn, Pb. Суммарный показатель загрязнения подвижных форм ТМ всей исследуемой территории достаточно высок ($Z_c=16,6$). Доля подвижных форм донных отложений от их валового содержания незначительна (рис. 4).

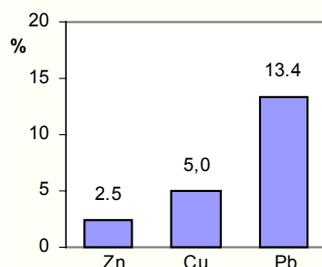


Рис. 4. Доля подвижных форм ТМ от их валового содержания в донных отложениях, %

Несмотря на относительно ограниченный объем исследований достаточно отчетливо выявляется ряд закономерностей.

1. Илы пруда-накопителя значительно загрязнены Cu ($K_c^{Cu}=5,6$), Hg ($K_c^{Hg}=92$), Cd ($K_c^{Cd}=5$) при низких концентрациях в них Pb и Zn.

2. Максимальные концентрации большинства металлов установлены в донных отложениях р. Сейка на участке, расположенном непосредственно ниже плотины пруда-накопителя: $K_c^{Cu}=588$, $K_c^{Cd}=40$, $K_c^{Zn}=159,7$.

3. Наиболее контрастный и протяженный литохимический поток рассеяния в донных отложениях образует Cd – даже на удалении 10–12 км от пруда-накопителя $K_c^{Cd}=55$. Заметно повышен он и для Cu $K_c^{Cu}=2,4$ и Hg $K_c^{Hg}=2,2$.

По функциональным зонам территории установлены следующие уровни загрязнения – **сильный** (зоны I и III, $Z_c=46$ и 33 соответственно); **очень сильный** (зона II, $Z_c=205$).

Биобъекты в зоне влияния рудника «Веселый». Превышение ПДК Cd в растениях наблюдается практически во всех зонах. Также зафиксированы превышение ПДК Zn, Cu, Pb в укусах и некоторых видах растений из зон I и II (отмечены жирным шрифтом) (табл. 6).

Среди исследованных растений независимо от места произрастания максимальные концентрации Cd установлены у зверобоя (0,58 мг/кг в воздушно-сухом веществе), что подтверждает литературные данные об избирательном концентрировании Cd этим растением (Мальгин, 1995; Ильин, 1991).

Укосы в окрестностях отстойника характеризуются максимальным накоплением Cd ($K_c^{Cd}=2,5$). Горец птичий проявляет свойства концентратора Cu ($K_c^{Cu}=12,5$), для медуницы имеет место значительное концентрирование Zn ($K_c^{Zn}=25,7$) (табл. 7).

Таблица 6. Содержание тяжелых металлов в растительности в воздушно-сухом веществе, мг/кг

Зоны	Вид растительности	Zn	Cu	Pb	Cd
I	Зверобой продырявлен.	23±2,61	15±1,70	1±0,11	0,58±0,07
	Черная смородина	15±1,70	34±3,86	2±0,23	0,17±0,03
	Малина	31±3,52	12±1,36	2,1±0,24	0,31±0,05
	Душица обыкновенная	33±2,64	7±0,79	10,5±1,19	0,51±0,07
	Укос	42±4,77	33±2,64	6±0,68	0,96±0,16
II	Душица обыкновенная	125±7,09	6±0,68	1±0,11	0,05±0,008
	Арника горная	323±18,33	6±0,68	1,7±0,19	0,43±0,07
	Медуница	36±4,09	8±0,91	15±1,70	0,19±0,03
	Зверобой продырявлен.	17±1,93	10±1,13	13,2±1,49	0,53±0,09
	Манжетка	22±2,50	7±0,56	1±0,11	0,46±0,08
III	Горец птичий	29±3,29	55±6,24	2±0,23	0,03±0,005
	Пижма	20±2,27	9±1,02	1±0,11	0,48±0,08
	Укос	37±4,19	8±0,91	2±0,23	0,43±0,16
С _{ГА}		30	5,9	1,8	0,072
ПДК		50	30	5	0,3

Примечание: $C_{ГА}$ – средние содержания металлов в растениях Горного Алтая (Экогеохимия..., 1996); ПДК для лекарственных растений.

Таблица 7. Коэффициенты концентрации (K_c^i) металлов в растительности

Зоны	Название растений	K_c^{Zn}	K_c^{Cu}	K_c^{Pb}	K_c^{Cd}
I	Смородина черная (лист)	0,4	3,5	1,5	21,3
	Душица обыкновенная	1,3	1,1	8,8	17
	Зверобой продырявленный	0,7	2,3	0,9	2,6
	Укосы средние	1,0	2,0	2,1	2,5
II	Душица обыкновенная	1,0	1,0	0,8	1,7
	Зверобой продырявленный	0,5	1,5	12	2,4
	Горец птичий	1,0	12,5	0,9	1,5
	Медуница	25,7	0,3	13	–
	Манжетка	0,6	1,8	0,8	1,6
	Укосы средние	0,8	1,1	2,8	0,6

Примечание: K_c укосов рассчитаны относительно фоновой; K_c растений рассчитаны относительно дикорастущих растений, произрастающих в северном и северо-восточном Алтае (Мальгин, Пузанов, 1995).

Старая хвоя пихты и кедра являются достаточно контрастным биоиндикатором загрязнения атмосферного воздуха металлами. Для Cu и Zn характерно монотонное убывание в хвое по мере удаления от ЗИФ, карьеров и отстойников: от 5,9 до 0,6 мг/кг для Cu и от 23,8 до 19,8 мг/кг для Zn. Содержание Cd в хвое практически постоянно для всего района. Среднее содержание Pb максимально в хвое деревьев с. Сейка (табл. 8).

Таблица 8. Среднее содержание тяжелых металлов в хвое в воздушно-сухом веществе, мг/кг

Зоны	Вид древесной растительности	Cu	Zn	Pb	Cd
I	Пихта сибирская Сосна обыкновенная	5,9±0,66	23,8±2,70	0,6±0,10	0,08±0,01
II	Пихта сибирская, сосна обыкновенная сосна сибирская	2,4±0,27	20,1±2,28	1,8±0,20	0,07±0,01
III	Пихта сибирская, сосна обыкновенная сосна сибирская	0,6±0,06	19,8±2,24	0,4±0,04	0,08±0,01

Для отдельных представителей темнохвойных видов деревьев характерна избирательность в поглощении ТМ, что наглядно проявляется в величинах коэффициентов биологического поглощения (КБП). Для сосны обыкновенной, независимо от района произрастания, характерно преимущественное накопление Pb и Cd, причем более отчетливо это выражено в селитебной зоне (КБП_{Pb}=18,9 и КБП_{Cd}=11). Пихта сибирская максимально концентрирует Cu в районе ЗИФ (КБП_{Cu}=13) (табл. 9).

Таблица 9. Коэффициенты биологического поглощения* КБП_i тяжелых металлов в хвое

Зоны	Вид древесной растительности	КБП _{Cu}	КБП _{Zn}	КБП _{Pb}	КБП _{Cd}
I	Пихта сибирская	13	0,9	1,3	0,6
	Сосна обыкновенная	3,3	0,9	6	2
II	Пихта сибирская	1,5	0,6	0,8	0,4
	Сосна сибирская	6,3	2,7	3	1
	Сосна обыкновенная	3,7	1	18,9	11

Во всех исследованных пробах рыб концентрация цинка составляет от 1 до 5 ПДК. Превышение ПДК по меди наблюдается в 3-х исследованных пробах и составляет от 2 до 4 ПДК (табл. 10).

Таблица 10. Среднее содержание тяжелых металлов в гидробионтах на сырую массу в мг/кг

Зоны	Вид гидробионта	Zn	Cu	Pb	Hg
Отстойник ЗИФ	Головастики остромордой Лягушки	42	205	3,0	0,016
	I	Пескарь, плотва, карась, линь	92	7,4	–
II	Пескарь, плотва, карась, линь	63	11	–	0,0007
ПДК	Рыба свежая пресноводная	40	10	1,0	0,5

Таким образом, анализ полученного материала позволяет сделать вывод, что взаимодействие техносферы рудника «Веселый» с окружающей его природной средой происходит на уровне взаимодействия.

Глава 4. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Геохимические условия района воздействия рудника «Веселый» формируют ландшафт с кислым классом водной миграции на карбонатных породах.

Почвенный горизонт представляет собой первый уровень накопления ТМ, обусловленный процессами комплексобразования ТМ с гумусовыми кислотами, аминокислотами, сорбцией ТМ органическим минеральным веществом гумусового горизонта.

Минеральный состав горизонта В исследуемой территории представлен глинистыми минералами с высокими ЕКО (монтмориллонит, вермикулит, хлорит, каолинит и т.д.). Горизонт В представляет собой второй уровень накопления ТМ при их вертикальной миграции. При дальнейшей миграции вниз по почвенному горизонту ТМ попадают на щелочной барьер, сформированный почвообразующими карбонатными породами.

Супераквальный ландшафт зоны воздействия рудника «Веселый» – это в основном заболоченные поймы и надпойменные террасы рек Синюха и Сейка, в глеево-подзолистых почвах которых функционируют биогеохимический и сорбционный барьеры. Супераквальный ландшафт служит гидродинамическим седиментационным барьером для тонкодисперсного материала водных потоков.

В развитии техногенного загрязнения почв ТМ участвуют первичные и вторичные ореолы рассеяния рудных тел.

Таким образом, в миграции ТМ в техногенном ландшафте зоны воздействия рудника «Веселый» участвуют следующие процессы:

- сорбция элементов верхним почвенным горизонтом, глинистыми минералами горизонтов А₁ и В и осаждение на щелочном геохимическом барьере при вертикальной миграции ТМ;
- процессы образования комплексов ТМ с гумусовым веществом верхнего почвенного горизонта;
- растворение металлов в кислых – слабокислых почвенных растворах и латеральная миграция с природными водными потоками из автономных ландшафтов в подчиненные.

Доминирующую роль в почвенной миграции токсичных элементов играют процессы сорбции. Выделяются две зоны ореола загрязнения (рис. 1). Первая из них представляет собой эллипс с длинной полуосью 500 м. Вторая зона оконтуривает зону загрязнения почв свинцом. Отмеченные зоны представляют собой элементы единого зонального техногенного геохимического ореола загрязнения. Селитебная зона может быть отнесена к площадям относительно слабой загрязненности с мозаичным распределением ее уровня. На этой территории отдельные точки с аномальными концентрациями ТМ оказываются приуроченными к обочинам дорог, отсыпку которых производили отвальными породами с шахт и штолен рудника.

Донные отложения водотоков зоны воздействия рудника «Веселый» формируются в результате естественной механической и водной миграции веществ с вершин сопков и холмов, склонов, долин и пойм рек. В процесс формирования донных осадков вносят свой вклад боковая и донная эрозии. В донных отложениях также накапливаются органические и минеральные остатки. Основными источниками загрязнения донных отложений является инфраструктура рудника «Веселый».

В р. Сейка преобладают процессы механической седиментации веществ на пологих берегах и сорбции их донными отложениями, особенно в межень. В паводки модуль стока бассейна рек Синюха и Сейка увеличивается в 33-50 раз, соответственно увеличивается скорость течения рек и интенсивность перехода загрязняющих веществ в водотоки более высокого порядка.

Характерной особенностью водных потоков горнорудных территорий является обогащение их взвешенным твердым веществом, в котором концентрируются химические элементы, в том числе и токсичные. Основная масса взвешенных частиц представлена глинистыми минералами, на поверхности которых сорбируются растворенные в воде металлы, которые вместе с водными потоками выносятся за пределы зоны загрязнения.

Часть взвешенных веществ оседает на дно и, формируя сорбционный барьер, который адсорбирует растворенные в воде химические элементы. Таким образом, донные отложения выполняют двоякую роль, с одной стороны они выводят загрязняющие вещества из водной массы в донные отложения; с другой, – при определенных геохимических условиях выступают в качестве источника загрязнения водных систем.

При наличии постоянно действующих источников, таких как, рудник «Веселый», развивается прогрессирующее техногенное загрязнение донных отложений.

Таким образом, в миграции ТМ в водных системах зоны воздействия рудника «Веселый» участвуют следующие процессы:

- сорбция элементов взвешенными частицами и донными отложениями местных водотоков;
- растворение ТМ в природных водах и дальнейшая их миграция уже в растворенной форме;
- аккумуляция ТМ на береговых седиментационных и глеевых сорбционных барьерах, особенно интенсивно в межень;
- комплексобразование.

Учитывая низкую рН растворения тяжелых металлов, слабую минерализацию местных природных вод, высокую концентрацию взвешенных веществ, низкую долю подвижных форм ТМ в донных отложениях, высокий уровень загрязненности донных осадков, можно предположить, что доминирующую роль в миграции ТМ в водных потоках играют процессы сорбции.

Осуществляя частичный сброс сточных вод, золотоизвлекательная фабрика создает техногенные потоки, которые за длительный период ее функционирования обусловили высокий уровень загрязнения пойм рек Синюха и Сейка. Это усугублялось тем, что при этом имело место наложение двух типов геохимических аномалий – естественных и техногенных.

Выделяются две зоны загрязнения донных отложений тяжелыми металлами (рис.1). Первая вытянута вниз по долине на 300 м от источника загрязнения. Вторая зона протягивается на 10 км от источника загрязнения и оконтуривает загрязнение донных отложений кадмием. Значительная протяженность и пространственное совмещение зон загрязнения в различных средах свидетельствуют о длительности и интенсивности воздействия источника загрязнения – инфраструктуры рудника «Веселый».

Глава 5. ВОЗМОЖНОСТИ САМООЧИЩЕНИЯ ПОЧВ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТНЫХ ЛАНДШАФТОВ

В условиях избыточно влажного климата, характерного для зоны воздействия рудника «Веселый», тяжелые металлы интенсивно выщелачиваются и выносятся из автономных ландшафтов в подчиненные при латеральной миграции; из горизонтов A_0 и A_1 в горизонты A_2 и B и далее при радиальной миграции химических элементов. Из-за небольшой мощности гумусового горизонта исследуемой территории процессы сорбции тяжелых металлов ППК развиты слабо, особенно, на склонах.

Растительность ландшафтов – это биогеохимический барьер на пути миграции химических элементов. Обладая различной биофильностью, химические элементы по-разному участвуют в биологической аккумуляции тяжелых металлов. Биологическое поглощение для большинства химических элементов не является важным фактором их иммобилизации ввиду относительно незначительной емкости этого процесса (Летувникас, 2000).

Растворению и выносу из почв металлов (в первую очередь халькофилов) способствуют процессы комплексобразования органического вещества с тяжелыми металлами (рис. 3), что естественно, сказывается на их общей подвижности в почвах и способности последних самоочищаться.

Уровень загрязнения ТМ (рис. 2) снегового покрова нашими исследованиями оценен как относительно невысокий – ниже среднего умеренно опасного, что согласуется с низким уровнем загрязнения почв исследуемой территории (табл. 2). Таким образом, можно полагать, что скорость самоочищения почв района в целом сопоставима со скоростью поступления в них загрязняющих веществ, во всяком случае, аэрогенным путем. Установленный повышенный уровень запыленности снегового покрова в районе добычного Фаифановского карьера (рис. 2) в данном случае не является исключением, так как возникающая здесь техногенная геохимическая аномалия в снеговом покрове связана с проявлением условно аномальной нагрузки, как известно, не сопровождающейся формированием сопряженных геохимических аномалий в почвах.

Локальные участки, где уровень загрязнения оценивается как средний умеренно опасный или высокий опасный ($Z_c=16-40,4$) приурочены в промышленной зоне к долине ниже дамбы, а в селитебной зоне к обочинам дорог, отсыпку которых производили отвальными породами рудника. На этих участках аномальное накопление ТМ происходит в почвенных горизонтах A_1 и B , состоящих из глинистых минералов с высокой ЕКО. Определенное значение здесь имеет и щелочной геохимический барьер, проявляющий себя при радиальной миграции химических элементов (Zn, Cu, Pb, Cd, Hg) в направлении подстилающих карбонатных или богатых основаниями горных пород, в том числе скарнов.

Таким образом, в целом для исследуемой территории имеются благоприятные условия для развития процессов самоочищения почв – влажный климат, образование в почвах обильных металлорганических соединений, хорошо выраженное в местных ландшафтах геохимическое сопряжение, однонаправленность миграционных потоков в условиях расчлененного рельефа. С другой стороны, развитые в почвах процессы сорбции снижают миграционную способность химических элементов и уменьшают способность почв к самоочищению. Судя по уровню их техногенного загрязнения, процессы самоочищения эффективными оказываются только на участках аэрогенного загрязнения почв. В условиях внутрипочвенного стока загрязненных вод (например, ниже дамбы отстойника ЗИФ) или их механического загрязнения твердыми отходами горнорудного производства процессы самоочищения оказываются неэффективными, что и отражается на уровне загрязнения почв на таких участках.

Высокий уровень загрязнения донных отложений водных систем зоны воздействия рудника «Веселый» создается в основном инфраструктурой горнорудного предприятия, когда в процессы водной миграции вступают измельченные горные породы, создавая высокие концентрации взвешенных веществ в поверхностных водах территории (Кац, 2000). Так, очень высокий уровень загрязнения донных отложений фиксируется в среднем течении р. Синюха ($Z_c=588$) ниже отстойников. По-видимому, свой вклад в загрязнение здесь вносит и имеющаяся естественная геохимическая аномалия (рис. 1).

Как отмечалось, доля подвижных форм ТМ в донных отложениях невысока (рис. 4), что в числе других моментов является одной из причин относительно слабого развития в них процессов физико-химического самоочищения. Тем более что этому препятствуют и процессы сорбции ТМ тонкодисперсным минеральным и органическим материалом донных отложений, превращающие их в источник вторичного загрязнения местных водных систем.

При наличии постоянно действующего источника загрязнения, каковым является рудник «Веселый», в целом преобладают процессы сорбции металлов донными отложениями, а скорость поступления в них загряз-

няющих веществ превышает скорость их самоочищения. Как следствие, в донных отложениях устанавливается уровень загрязнения ТМ от сильного до очень сильного.

ВЫВОДЫ

1. По величине суммарного показателя загрязнения (Z_c) и пылевой нагрузки (P_n) уровень загрязнения снегового покрова изучаемой горнорудной территории оценивается как невысокий.

2. По исследованным элементам почвы территории, находящейся под воздействием рудника «Веселый», в своей основной массе также не относятся к загрязненным. Однако на локальных участках уровень загрязнения почв достигает среднего умеренно опасного и высокого опасного. Накопление металлов в почвах соответствует ряду $Pb > Hg > Cu$.

3. Донные отложения территории относятся к сильно загрязненным. По функциональным зонам фиксируются следующие оценки уровней загрязнения: сильный – зона I и III, очень сильный – зона II. Основными загрязнителями донных отложений в порядке снижения их коэффициентов концентрации являются $Cu > Zn > Cd > Pb$.

4. Во всех исследованных зонах встречаются растения с превышением предельно допустимых концентраций (ПДК) для лекарственных растений.

5. Во всех пробах рыб превышение предельно допустимых концентраций для свежей пресноводной рыбы по Zn составляет от 1,1 до 4,9 ПДК. Превышение ПДК по Cu наблюдается в 3-х пробах рыб и составляет от 1,9 до 4,4 ПДК.

6. В миграции тяжелых металлов в почвах ландшафтов зоны воздействия рудника «Веселый» участвуют процессы сорбции, осаждения на геохимических барьерах, комплексообразования и растворения в почвенных растворах.

7. Доминирующую роль в миграции ТМ в водных системах играют процессы сорбции металлов взвешенными частицами и донными илами.

8. Сорбция в целом значительно снижает скорость самоочищения донных отложений. Скорость поступления загрязняющих веществ в донные отложения превышает скорость их самоочищения.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Мониторинг состояния почвенного покрова и растительности агроландшафтов, испытывающих техногенное воздействие основной магистрали Республики Алтай. / Материалы к международному симпозиуму «Модели устойчивого социально-экономического развития республики Алтай и стран Алтай-Саянского региона». – Горно-Алтайск, 1996. С. 41-42. Тодожокова А.С., Ларина Г.В., Торопчина Г.П., Куликова Н.В., Апарнев А.И., Брышкакова С.Я., Шурова М.В.

2. Выявление техногенного свинца на территории Республики Алтай. / Материалы научно-практической конференции, посвященной 70-летию г. Горно-Алтайска. – Горно-Алтайск, 1998. С. 86-87. Тодожокова А.С., Ларина Г.В., Шурова М.В., Алейникова В.Н., Торопчина Г.П.

3. Некоторые токсичные металлы в почвенном покрове и донных отложениях горнопромышленной территории. / Материалы международной конференции «Экология и рациональное природопользование на рубеже веков. Итоги и перспективы». – Томск, 2000. С. 69-71. Летувнинкас А.И., Ларина Г.В., Строителев А.Д., Шурова М.В., Семина Т.А., Тригуб В.В., Куликова В.В., Устюжанина Е.Н.

4. Количественные показатели загрязнения почвенного покрова и донных отложений в районе функционирования рудника «Веселый» (Республика Алтай). / Материалы конференции «Фундаментальные проблемы охраны окружающей среды и экологии природно-территориальных комплексов Западной Сибири». – Горно-Алтайск, 2000. С. 139. Ларина Г.В., Строителев А.Д., Летувнинкас А.И., Шурова М.В., Семина Т.А.

5. Тяжелые металлы (Zn, Cu, Pb, Hg) в почвах г. Горно-Алтайска. / Материалы конференции «Фундаментальные проблемы охраны окружающей среды и экологии природно-территориальных комплексов Западной Сибири». – Горно-Алтайск, 2000. С. 140-141. Ларина Г.В., Летувнинкас А.И., Шурова М.В.

6. Загрязнение почвенного покрова и донных отложений в районе функционирования золотодобывающего рудника «Веселый» (Республика Алтай). / Материалы 3-ей биогеохимической школы «Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы. Биогеохимическая наука на рубеже XXI столетия». – Горно-Алтайск, 2000. С. 215-216. Ларина Г.В., Строителев А.Д., Летувнинкас А.И., Шурова М.В., Семина Т.А.

7. Тяжелые металлы (Zn, Cu, Pb, Hg) в почвах г. Горно-Алтайска. Рудные месторождения. Минералогия. Геохимия. Выпуск II. – Томск, 2000. С. 102-109. Летувнинкас А.И., Ларина Г.В., Шурова М.В.

8. Воздействие горнорудного предприятия на окружающую среду на примере рудника «Веселый» (Республика Алтай). / Материалы 2-ой межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 60-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Горно-Алтайск, 2000. С. 96-100. Ларина Г.В., Шурова М.В.