

Оценка влияния отходов переработки оловорудного сырья на объекты окружающей среды (на примере Хрустальненского ГОКа)

Л. Т. КРУПСКАЯ, В. П. ЗВЕРЕВА*

*Институт горного дела ДВО РАН
680000, Хабаровск, ул. Тургенева, 51
E-mail:eco@igd.khv.ru*

**Дальневосточный геологический институт ДВО РАН
690022, Владивосток, просп. 100 лет Владивостоку, 159
E-mail: zvereva@fegi.ru*

АННОТАЦИЯ

Представлена оценка влияния отходов переработки оловорудного сырья на объекты окружающей среды и предложены мероприятия, направленные на обеспечение экологической и социальной безопасности.

Ключевые слова: объекты окружающей среды, отходы, техногенное загрязнение, биоиндикаторы.

Ежегодно из недр Земли извлекается огромное количество минерального сырья, что приводит к формированию техногенных ландшафтов в виде дражных полигонов, вскрышных отвалов, хвостохранилищ. Освоение месторождений полезных ископаемых способствует интенсивному загрязнению компонентов биосферы [1]. Человечество, по общему выражению академика В. И. Вернадского [2], превратилось в мощную геологическую силу, трансформирующую окружающую среду и преобразующую ландшафты. В настоящее время объем выбросов загрязняющих веществ техногенного происхождения соизмерим с масштабами природных процессов миграции и аккумуляции различных соединений. В некоторых горно-добывающих районах Дальнего Востока уже пройден порог самозащиты природы, нарушилось ее

экологическое равновесие. Особую опасность представляют горно-промышленные отходы. Цель исследования – оценка влияния отходов переработки оловорудного сырья на объекты окружающей среды для обеспечения экологической и социальной безопасности. Решали следующие задачи: 1) анализ и обобщение литературных данных по исследуемой проблеме; 2) оценка отходов переработки оловорудного сырья как источника загрязнения объектов окружающей среды; 3) разработка предложений, направленных на снижение негативного влияния отходов на среду обитания.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Методологической основой послужило учение академика В. И. Вернадского о био- и ноосфере [2] и основные положения, изложенные в Программе и методике изучения

Крупская Людмила Тимофеевна
Зверева Валентина Павловна

техногенных биогеоценозов [3]. Нашли применение также современные инструментальные и традиционные физико-химические, химические и биологические методы (тест-системы “ростовой тест” и “стерильность пылицы”, микробиологические показатели). При выполнении исследований использовали главный и определяющий системно-комплексные подходы. Техногенные почвогрунты отбирали с разных глубин (0–10 и 10–20 см) с учетом розы ветров (согласно ГОСТ 17.4.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84). Провели геоботаническое описание, собрали гербарий, изучили видовое разнообразие растительности, отобрали преобладающие виды растений для исследований накопления в них токсичных металлов (по ГОСТ 27262-87). Рассчитали показатели экологического состояния природных сред: коэффициент концентрации, Кс, и суммарный показатель загрязнения, Zс, по Н. А. Черных и С. Н. Сидоренко [4]. Математическая обработка полученных результатов осуществлялась с помощью пакета прикладных программ, в основе которых лежат общепринятые методы вариационной статистики.

Объект исследования – отходы Хрустальненского ГОКа, который находится в бассейне р. Зеркальная Кавалеровского оловорудного района Приморского края.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обобщение и систематизация литературных данных и материалов патентного поиска свидетельствуют о том, что научные исследования, направленные на обеспечение экологической и социальной безопасности объектов горного производства, а также его отходов, только в последние годы получили развитие [1, 5–10]. После развала СССР большое количество крупных горно-добывающих предприятий Дальнего Востока прекратили свою деятельность и бесконтрольными остались хвостохранилища, содержащие токсичные отходы переработки минерального сырья, которые и являются источником интенсивного загрязнения объектов окружающей среды, в том числе отходы Хрустальненского ГОКа. Его руды относятся к касситерит-силикатным и касситерит-сульфидным жильным и прожилково-вкрапленным морфологи-

ческим типам. Месторождения разрабатывались в основном закрытым способом. Суммарный объем накопленных отходов обогащения за период функционирования этого горного предприятия (до 2003 г.) составил 48,90 млн т, размещенных в хвостохранилищах на землях, изъятых из Гослесфонда, площадью около 30 га. Хвостохранилища – это гидротехническое сооружение для приема и хранения различного минерального сырья и отходов, образующихся в процессе добычи и переработки полезных ископаемых. Отходы переработки оловорудного сырья представлены тонкодисперсной массой серого цвета (иногда коричневого, если окрашены гидроксидами железа), в минеральном составе которой обнаружены пирит, пирротин, галенит, сфалерит, арсенопирит и халькопирит (это сульфиды железа, свинца, цинка, мышьяка и меди). Запасы олова и попутных компонентов – меди, свинца и цинка здесь составляют соответственно 64 929, 19 460, 32 395, 47 950 т. Об активности гипергенных процессов, протекающих в отходах, свидетельствует сильный запах сернистых газов. Отвалы и отходы кроме перечисленных токсичных элементов содержат никель, хром, мышьяк, сурьму, кадмий, железо, марганец, бериллий и др. Эти техногенные объекты постоянно находятся в стадии интенсивного взаимодействия с объектами окружающей среды и активно воздействуют на экосферу. Все перечисленные элементы, в том числе тяжелые металлы (ТМ), в больших количествах выносятся из техногенной системы с помощью рудничных, дренажных, шламовых, поровых вод в поверхностные и грунтовые, что привело к изменению геохимического фона района исследования [9–13]. В пробах речных вод ключей Силинского, Партизанки, Ветвистого и р. Кавалеровка содержание цинка, железа, кадмия, меди, марганца и реже свинца превышает фоновые значения в десятки и сотни раз. Однако проблема рекультивации хвостохранилищ на Дальнем Востоке до сих пор не решена.

Загрязнение воздушного бассейна отходами обогащения (токсичной пылью) в районах горно-рудного производства относится к экстремально высокому уровню. По данным микроскопии и микрозондирования, в макро- и

микродифракциях пыли присутствуют следующие минеральные формы: силикат свинца и железа, оксид титана и цинка, халькопирит, галенит, сфалерит, церуссит, англезит и др. [12]. Зафиксировано превышение ПДК ТМ, содержащихся в пыли атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны хвостохранилища. Среднегодовой выброс загрязняющих веществ Хрустальненским ГОКом в атмосферу после очистки составлял, т/год: Рb – 0,02, As – 0,25, твердых – 62, сажи вместе с пылью – 60 и всего – 2065, что в несколько тысяч раз больше нормативного показателя.

Результаты исследования зоны влияния хвостохранилища свидетельствуют о том, что в процессе освоения оловорудных месторождений образующиеся ореолы и потоки загрязняющих веществ распространяются природными миграционными механизмами, приводя к техногенному загрязнению экосистем и ухудшению качества среды обитания [14].

Расчет суммарного показателя загрязнения почв (Z_c) (табл. 1 и 2) свидетельствует о том, что наибольшая его величина характерна для расположенных вблизи источника загрязнения (хвостохранилища), причем с увеличением расстояния уровень загрязнения техногенных почв снижается. Аналогичные результаты получены для коэффициента концентрации (K_c).

Рассматривая механизм загрязнения техногенными отходами природных систем, можно выделить три основных экологических блока: 1) источники загрязнения – элементы

техносферы (отходы), поступающие в объекты природной среды; 2) транзитные среды, в которых происходят прием, транспортировка и частичная трансформация элементов техногенных минералов; 3) депонирующие среды – элементы биоты, в которых токсичные элементы накапливаются и преобразуются.

Особенно важно изучение поведения техногенных загрязнителей в транзитных средах. В этом блоке определяется внешняя граница зон техногенного поражения, позволяющая определить площадь и тип биологической системы, которую необходимо защищать от техногенного загрязнения (отходов), и установить группу “...критических видов...” эдификаторной синусии фитоценоза [15]. Именно по диапазону ее толерантности может регламентироваться уровень данного вида техногенного воздействия. Поэтому оценка негативного влияния отходов горного производства и необходимые для этой цели разрабатываемые критерии, ограничивающие уровень их влияния, обязательно должны формироваться на основе биологических последствий этого воздействия. Учитывая специфические особенности взаимодействия техно- и биоферры при освоении недр, мы в процессе поиска методов оценки изменения биотических сообществ руководствовались законами существования и развития не измененных техногенным воздействием экосистем. В связи с этим следовали методическим подходам, рекомендованным академиком Ю. А. Израэлем [14], предлагающим описывать биоту через ее “критическое звено”, ко-

Т а б л и ц а 1

Суммарный показатель загрязнения (Z_c) техногенных почв (валовые формы ТМ) в зоне влияния хвостохранилища ОАО “Хрустальненский ГОК” (горизонт 0–10 см)

Зона отбора проб; км от хвостохранилища	2008 г.	2009 г.	2010 г.
1; 0,3	216,4	254,1	248,2
1; 1	144,77	143,9	136,00
1; 3	87,9	110,02	97,6
1; 5	54,5	52,6	53,21
2; 8	27,36	28,21	27,59
2; 12	10,09	8,66	9,42
3; 19	4,90	7,94	5,71
Фон	3,25	3,44	3,80

Суммарный показатель загрязнения (Zc) техногенных почв (валовые формы ТМ) в зоне влияния хвостохранилища ОАО “Хрустальненский ГОК” (горизонт 10–20 см)

Зона отбора проб; км от хвостохранилища	2008 г.	2009 г.	2010 г.
1; 0,3	175,3	219,5	177,7
1; 1	106,8	99,59	101,19
1; 3	59,4	65,25	67,73
1; 5	48,07	45,51	45,56
2; 8	22,96	23,22	24,75
2; 12	10,03	7,25	9,35
3; 19	3,94	5,75	4,29
Фон	2,36	2,48	2,95

торое может быть группой видов и даже одним видом. В таком случае, согласно представлениям В. Н. Сукачева о фитоценотипах [15], структура, видовой состав, направление циклической сукцессии фитоценозов предопределяются их эдификаторной синузией, в состав которой в самых сложных растительных сообществах входит ограниченное количество видов. В горно-промышленных условиях сохранение жизнеспособности этой группы растений, даже если исчезнут виды-асектаторы, обеспечит самовосстановление исходного биогеоценоза после прекращения техногенного воздействия. Поражение видов-эдификаторов способствует необратимой деградации биоценоза, изменению его структуры и продуктивности.

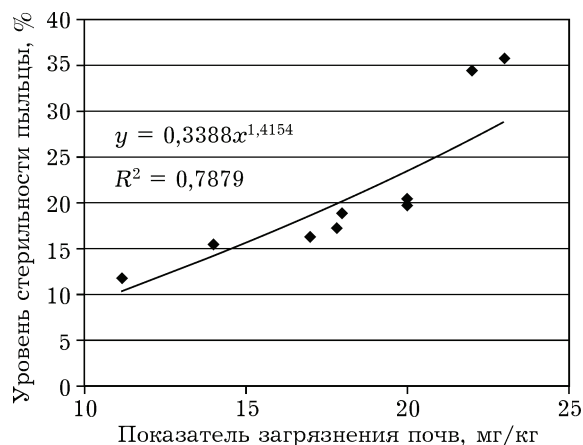
Однако биологические способы разработаны слабо из-за их специфики. Тем не менее полученные нами с помощью биологических методов материалы дают возможность систематизировать их, а также предложить предварительный вариант метода оценки негативного влияния отходов переработки оловорудного сырья на компоненты природной среды.

В ходе исследований использован геомикробиологический метод, предусматривающий оценку влияния отходов переработки оловорудного сырья на объекты окружающей среды с помощью некоторых микроорганизмов. Установлено, что почвогрунты в зоне влияния хвостохранилищ характеризовались низкой биогенностью. Численность сапрофитов-редуцентов (на среде РПА) колебалась от 4700 до 8000 тыс. микробов на 1 г субстра-

та, что позволяет, руководствуясь шкалой Д. Г. Звягинцева [16], отнести таковые к очень бедным. Выявлено, что бактериальный комплекс находится в угнетенном состоянии. Сделан вывод о том, что с увеличением суммарного показателя загрязнения (Zc) в почвах подавляется развитие микроорганизмов (например, актиномицетов). Суммируя микробиологические показатели почвогрунтов, можно констатировать значительные нарушения в структуре и функционировании микробоценозов. Исследуемые почвы как компоненты биогеоценоза находятся в состоянии глубокого биологического разрушения.

Биотестирование с применением различных тест-систем растений (пшеницы, горчицы, овса) позволило получить интересные результаты. Выращивание растений на субстратах, отобранных на различном расстоянии от хвостохранилища, полив проростков сточными водами горного предприятия и статистическая обработка данных показали, что энергия прорастания семян при поливе сточной водой, отобранной из отстойника, по сравнению с контролем, принятым за 100 %, составила всего 11 %.

Обнаружено, что наиболее чувствительными процессами при техногенном загрязнении экосистем отходами переработки оловорудного сырья являются репродуктивная деятельность и продолжительность жизни растений. Известно, что техногенные факторы воспринимаются разными видами живых организмов по-разному и оказывают негативное воздействие через клетки и их компоненты, выражающиеся в определенных ре-



Зависимость уровня стерильности пыльцы растений-биоиндикаторов от содержания подвижных форм ТМ для техногенных почв зоны 1 (Хрустальный ГОК)

акциях, например: в нарушении структуры клеток, тканей, физиологических функций и в итоге в морфологических изменениях популяций биологических сообществ и метаболизма. Более успешными оказались опыты с применением цитологических и цитогенетических тест-систем. Особое значение имеет методика экспресс-оценки состояния окружающей среды по тест-системе “стерильность пыльцы растений – биоиндикаторов”, по “ростовому тесту” и по тесту “абберантность хромосом” в меристематических клетках индикаторных растений.

Преимуществом использования метода “стерильности пыльцы” является то, что он

позволяет адекватно отразить эффект воздействия на биоту и человека всей совокупности загрязнителей и установить уровни общей токсичности и мутагенности тестируемых объектов. Выявлено, что на площадях с более высоким уровнем суммарного показателя загрязнения (Zс) у растений повышается стерильность пыльцы до 20 % и более по сравнению с контролем (0,2–0,4 %). Проведенные исследования показали: 1) на воздействие техногенного фактора растение реагирует увеличением количества стерильной пыльцы; 2) реакция растений носит пороговый характер – при повышении техногенного давления (в первой зоне загрязнения), коэффициента концентрации (Кс) и суммарного показателя загрязнения (Zс) наблюдается значительное увеличение стерильности пыльцы, а также изменение морфологических признаков. Это является первой визуально различимой реакцией популяции на воздействие негативного фактора (отходов переработки оловорудного минерального сырья). Она проявляется в увеличении стерильности пыльцевых зерен и пониженном прорастании семян (см. рисунок, табл. 3, 4). При техногенном воздействии повышается число мутаций и хромосомных aberrаций.

Результаты биоиндикации экологической напряженности по стерильности пыльцы позволили выделить три зоны по степени загрязнения (табл. 3, 5): 1-я зона – очень сильная, 2-я зона – сильная, 3-я зона – средняя.

Т а б л и ц а 3

Биоиндикация по стерильности пыльцы растений-биоиндикаторов в зоне влияния Хрустального ГОКа (на 500 клеток)

Расстояние от источника загрязнения – Хрустального ГОКа до места отбора пробы, км	Наименование растений-биоиндикаторов	Стерильность пыльцы, %	Зона воздействия
До 5	Ромашка непахучая <i>Tripleurospermum perforatum</i> (Mérat) M. Lainz	19,0 ± 0,41	1
	Кипрей узколистный <i>Chamerion angustifolium</i> L.	18,9 ± 0,49	1
От 6 до 12	Ромашка непахучая	11,8 ± 0,34	2
	Кипрей узколистный	12,1 ± 0,32	2
От 13 до 19	Ромашка непахучая	5,1 ± 0,38	3
	Кипрей узколистный	4,9 ± 0,31	3
Контроль	Ромашка непахучая	0,4 ± 0,23	
	Кипрей узколистный	0,3 ± 0,21	

Результаты исследования тест-системы (“ростовой тест”)

Зона отбора проб, км от источника загряз- нения, горизонт, см	Горчица листовая (<i>Brassica juncea</i> L.)		Лук батун (<i>Allium fistulosus</i> L.)	
	Всхожесть, %	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %	Энергия прорастания, %
1) 1; до 5, 0–10	38,66 ± 4,21	0,00	41,57 ± 8,28	0,00
1) 1; до 12, 10–20	39,43 ± 6,60	0,00	46,71 ± 5,58	0,00
2) 2; до 12, 0–10	71,77 ± 7,13	68,44 ± 7,74	63,34 ± 4,84	63,27 ± 8,29
2) 2; до 12, 10–20	72,67 ± 6,67	70,55 ± 7,13	68,44 ± 6,57	64,82 ± 6,15
3) 3; до 19, 0–10	77,23 ± 7,65	75,18 ± 7,45	77,44 ± 7,35	71,77 ± 7,23
3) 3; до 19, 10–20	81,43 ± 4,74	77,11 ± 5,76	83,43 ± 4,21	75,15 ± 5,53
Фон 0–10	91,33 ± 6,57	92,53 ± 5,37	86,67 ± 6,82	70,14 ± 5,28
Фон 10–20	92,12 ± 5,53	93,92 ± 5,67	89,33 ± 8,71	83,16 ± 5,10
Контроль	100 ± 0	100 ± 0	100 ± 0	100 ± 0

Биоиндикация на цитогенетическом уровне является наиболее чувствительной и представляет собой систему раннего оповещения как о негативных, так и о позитивных изменениях в объектах природной среды, поэтому рекомендуется нами для диагностики, оценки последствий техногенеза, в том числе воздействия отходов переработки минерального сырья, а также эффективности реабилитационных мероприятий.

Высокий уровень стерильности по сравнению с эталонным показателем (0,3–0,4) отмечен у растений, отобранных вблизи источника загрязнения (см. табл. 3 и 4). Стерильность пыльцы зависит от показателя загрязнения почв подвижными формами ТМ: с повышением степени их загрязнения повышается стерильность пыльцы. В исследуемых техногенных почвах и растительности обнаружены высокие концентрации не только валовых форм токсичных химических элементов (меди, свинца, цинка, олова, марганца и др.), но и подвижных, превышающих ПДК и фоновые содержания в несколько раз (от 1,5 до 5 раз

и более). Последние мигрируют по цепи: отходы – почва – растительность. Анализ содержания подвижных форм ТМ в почвах зоны влияния отходов Хрустальненского ГОКа позволил выявить корреляционную зависимость между их концентрацией в почвенном покрове и цитогенетическими изменениями в клетках растений-биоиндикаторов (тест-система “стерильность пыльцы”) (см. рисунок).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По комплексу показателей, в том числе биологических (тест-системы “ростовой тест” и “стерильность пыльцы”, микробиологических), а также коэффициенту концентрации и суммарному показателю загрязнения в районе исследования фиксируется “критическая” и “неудовлетворительная” экологическая ситуация, особенно по общему токсико-мутационному фону, что представляет опасность для человека и биоты в целом. Предложены мероприятия, направленные на снижение негативного влияния отходов на среду обитания: 1) разработка программы экологической безопасности районов освоения недр, в том числе техногенных месторождений, на Дальнем Востоке; 2) организация горно-экологического мониторинга изменения объектов окружающей среды в зоне влияния хвостохранилища; 3) совершенствование законодательной базы и ужесточение контроля в области охраны окружающей среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке ДВО РАН: проект № 10-III-Д-09-045, проект

Т а б л и ц а 5

Оценка экологической ситуации в зоне влияния отходов Хрустальненского ГОКа

Оценка экологической ситуации	Стерильность пыльцы, %
Критическая	От 8,5 до 22,5 и выше
Неудовлетворительная	От 4,0 до 8,5
Удовлетворительная	От 0,5 до 2,5
Эталонная	В пределах 0,3–0,4

№ 09-II-CO-08-008, а также в рамках ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009–2013 гг., государственный контракт № 02.740.11.0689.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Бурцев Л. И. Охрана окружающей среды при освоении недр // Вестник РАН. 1998. Т. 68, № 7. С. 629–637.
2. Вернадский В. И. Биосфера. М.: Мысль, 1967. 287 с.
3. Колесников Б. П., Моторина Л. В. Методы изучения биогеоценозов в техногенных ландшафтах // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. М., 1978. С. 5–21.
4. Черных Н. А., Сидоренко С. Н. Экологический мониторинг в биосфере. М.: РУНД, 2003. 430 с.
5. Галченко Ю. П. Обеспечение экологической безопасности горного производства на основе коэволюции природных и техногенных геосистем // Горные науки на рубеже XXI века. Бюллетень УрО РАН. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1998. С. 418–427.
6. Мамаев Ю. А., Крупская Л. Т., Саксин Б. Г. Регулирующее воздействие биоты на окружающую среду и проблема организации биологических исследований в пределах природно-горнотехнических систем // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2005. № 3. С. 137–141.
7. Зверева В. П. Гипергенные и техногенные минералы как показатель экологического состояния оловорудных районов ДВ // Геоэкология. 2005. № 6. С. 533–538.
8. Зверева В. П., Костина А. М., Коваль О. В. Горно-промышленная техногенная система Кавалеровского района Дальнего Востока и ее воздействие на экосферу // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Вып. 5, т. 2. С. 217–229.
9. Крупская Л. Т., Саксин Б. Г., Грехнев Н. И. Горная экология – горному производству Дальнего Востока // Горный журнал. 2008. № 12. С. 13–17.
10. Крупская Л. Т., Дербенцева А. М., Ионкин К. В., Крупский А. В. и др. К вопросу оценки хвостохранилища как источника загрязнения объектов природной среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Об 5, ДВ-2. С. 234–242.
11. Елпатьевский П. В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, 1993. 252 с.
12. Зверева В. П. Экологические последствия гипергенных процессов на оловорудных месторождениях Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2008. 164 с.
13. Турасебеков А. Х., Джураев А. Д., Климанов Е. В. и др. Экологическая минералогия эндо-, экзо- и техногенных систем // Роль минералогических исследований в решении экологических проблем: материалы к Годичному собранию ВМО. 2002 г., Москва. М., 2002. С. 179–181.
14. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
15. Сукачев В. Н. Основные понятия биогеоценологии. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1964. 574 с.
16. Звягинцев Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–55.

Evaluation of the Effect of Wastes from Tin Ore Processing on the Objects of Environment (for the Khrustalnensky Ore Mining and Processing Enterprise as an Example)

L. T. KRUPSKAYA, V. P. ZVEREVA*

*Institute of Mining FEB RAS
680000, Khabarovsk, Turgenev str., 51
E-mail:eco@igd.khv.ru*

**Far East Institute of Geology FEB RAS
690022, Vladivostok, prosp. 100 let Vladivostoku, 159
E-mail: zvereva@fegi.ru*

Evaluation of the effect of wastes from tin ore processing on the objects of environment is presented. Measures aimed at the provision of ecological and social safety are proposed.

Keywords: objects of environment, waste, technogenic pollution, bioindicators.