

ГОРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВ В ГРАНИЦАХ ВЛИЯНИЯ ОЛОВОРУДНОГО ГОКА В ПРИАМУРЬЕ¹

MINING AND ENVIRONMENTAL MONITORING OF SOIL CHANGES WITHIN THE BOUNDARIES OF THE INFLUENCE OF TIN ORE MINING IN THE AMUR REGION

*N. Rastanina
I. Galanina
I. Popadyev*

Summary. The long-term development of tin deposits in the Komsomolsk region by the Solnechny GOK and Processing Plant has led to a significant increase in pollution of environmental components. The results of the study show that the environmental condition within the boundaries of this tin producer is critical. The above studies discuss the mobile forms of zinc, chromium, lead, copper, mercury, arsenic, antimony compounds in the upper horizons of soils. Chromium, arsenic and antimony compounds make the maximum contribution to pollution and, accordingly, the amount of damage to the soil, since the excess content for these elements and their compounds in relation to background values is maximum. The necessity of creating an environmental monitoring center in the research area is discussed. The data of mining and environmental monitoring make it possible to calculate the amount of damage caused to environmental objects in value terms and justify methods of reclamation of disturbed lands.

Keywords: mining and environmental monitoring, mining and processing plant, mining waste, heavy metals, arsenic, extent of damage from soil pollution.

Растанина Наталья Константиновна
к.б.н. доцент, Тихоокеанский государственный
университет, г. Хабаровск
n.rastanina@yandex.ru

Галанина Ирина Александровна
старший преподаватель, Тихоокеанский
государственный университет, г. Хабаровск
000911@pnu.edu.ru

Попадьёв Илья Андреевич
Тихоокеанский государственный университет,
г. Хабаровск
hidden_account00@mail.ru

Аннотация. Многолетняя разработка оловянных месторождений Комсомольского района Солнечным горно-обогатительным комбинатом привела к значительному увеличению загрязнения компонентов окружающей среды. Результаты исследования показывают, что состояние окружающей среды в пределах границ этого производителя олова является критическим. В приведенных исследованиях обсуждаются подвижные формы соединений цинка, хрома, свинца, меди, ртути, мышьяка, сурьмы в верхних горизонтах почв. Максимальный вклад в загрязнение и соответственно размер вреда для почв вносят соединения хрома, мышьяка и сурьмы, так как превышение содержания для данных элементов и их соединений по отношению к фоновым значениям максимальное. Обсуждается необходимость создания центра мониторинга окружающей среды в районе исследований. Данные горно-экологического мониторинга позволяют рассчитать сумму ущерба, нанесенного объектам окружающей среды в стоимостном выражении и обосновать методы рекультивации нарушенных земель.

Ключевые слова: горно-экологический мониторинг, горно-обогатительный комбинат, отходы горных работ, тяжелые металлы, мышьяк, размер ущерба загрязнения почв.

Введение

Всесторонний анализ качества окружающей среды, в том числе и на Дальнем Востоке в настоящее время приобретает особую значимость. На территории Солнечного района, расположенного в центральной части Хабаровского края, начиная с 70-х г. прошлого века ведется разработка крупного оловорудного объекта — Фестивального рудного поля. Горнодобывающий комбинат Солнечный долгие годы является одним из крупнейших горнопромышленных предприятий Дальнего Востока, на котором кроме олова из руды извлекают медь, вольфрам, свинец, цинк.

В настоящее время отходы, складированные в хвостохранилищах, используются для вторичной перера-

ботки с доизвлечением олова и вольфрама. Негативное воздействие на окружающую среду горнодобывающей компании и прилегающей территории может сохраняться в течение длительного периода времени. Основные типы этих воздействий, независимо от типа минерала, включают нарушение ландшафта, почвенного и растительного покрова, изменение состояния и состава подземных и поверхностных вод, сокращение биоразнообразия и выход опасных и загрязняющих веществ в окружающую среду. Актуальность исследования обусловлена накоплением большого количества отходов переработки оловорудного сырья, необходимостью рекультивации поверхности хвостохранилища с использованием потенциала биологических систем. В настоящее время существует острая необходимость комплексного горно-экологического мониторинга окружающей среды

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-27-20085).

на территории исследуемого района. Прогнозирование и оценка воздействия техногенных объектов позволят разработать план действий, направленных на снижение воздействия, вызванного многолетней деятельностью данного предприятия.

Объектами исследования являются горнопромышленные техногенные системы, сформировавшиеся в результате длительного ведения горных работ Солнечного ГОКа. Специфика добычи и обогащения оловянной руды на этом предприятии заключалась в извлечении и переработке огромного объема горной массы, лишь небольшая часть которой использовалась в качестве целевого продукта, большая же часть накапливалась в виде техногенных отходов, так называемых «хвостов», размещенных в хвостохранилище — гидротехническом сооружении для приема и хранения отходов, образующихся в процессе добычи и переработки полезных ископаемых. Исследуемое хвостохранилище было спроектировано и введено в действие в 1969 году. За время деятельности предприятия в нем накоплено около 16 млн м³ отходов [1, С.18].

Отходы переработки оловорудного сырья представлены тонкодисперсной массой серого цвета (иногда коричневого), окрашенные гидроксидами железа, в минеральном составе которых обнаружены пирит, пирротин, галенит, сфалерит, арсенопирит и халькопирит (это сульфиды железа, свинца, цинка, мышьяка и меди). В процессе добычи и переработки руды произошло формирование новых, не свойственных для данной территории техногенных форм. В 2001 году хвостохранилище центральной обогатительной фабрики Солнечного ГОКа было осушено [2, С. 20].

Вопреки законодательству РФ, требующего, что «при полной или частичной ликвидации или консервации горные выработки, буровые скважины и иные сооружения, связанные с использованием недр, должны быть приведены в состояние, обеспечивающее безопасность жизни и здоровья населения, охрану окружающей среды», поверхность хвостохранилища не была рекультивирована [3, ст. 26]. На нарушенных землях постоянно протекают процессы экзогенного рельефообразования, мониторинг которых необходим с целью разработки комплекса мер по их минимизации и устранению [4, С. 126], [5, С.116].

В настоящий момент хвостохранилище, расположенное в 3 км от горняцкого поселка Солнечный является мощным источником пылевыделения, интенсивного техногенного загрязнения токсичными элементами объектов окружающей среды. На поверхности и в толще «хвостов», особенно в засушливое время, появляются налеты, тонкие корочки и пленки техногенных минералов из классов сульфатов, карбонатов, силикатов, арсе-

натов и других [6, С. 42]. Рассматривая механизм антропогенного загрязнения, можно выделить три основных пути миграции и накопления токсичных элементов: 1. источники загрязнения — элементы техносферы в виде отходов, поступающих на объекты окружающей среды; 2. транзитные среды, в которых происходит прием, транспортировка и частичная трансформация техногенных минералов; 3. депонирующие среды — это элементы биоты, в которых токсичные элементы накапливаются и преобразуются. Количественные данные, имеющиеся в литературе, характеризующие процессы фиксации и переноса тяжелых металлов в природных горнодобывающих системах юга Дальнего Востока, ограничены [8, С.24], [9, С.4]. Следует также отметить, что население горняцкого поселка Солнечный, проживает в условиях постоянного превышения нормативных значений содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Результатом такого воздействия является реакция организма в виде развития экологически обусловленных заболеваний [10, С. 57]. Исследования влияния оловодобывающей промышленности на природные компоненты показывают, что проблема загрязнения окружающей среды является одной из наиболее актуальных. В настоящее время существует необходимость в создании и развитии системы мониторинга добычи и переработки полезных ископаемых в исследуемом районе. Решение экологических проблем представляют собой сложную эколого-экономическую задачу, требующую разработки и реализации ряда природоохранных мероприятий, направленных на минимизацию негативного воздействия промышленных отходов на все природные компоненты и человека. Экологический мониторинг направлен на решение задач, указанных в ФЗ №7 «Об охране окружающей среды». В соответствии с ФЗ №7 цели экологического мониторинга включают: 1. наблюдение за состоянием окружающей среды, в том числе в районах, где имеются источники антропогенного воздействия; 2. наблюдение за воздействием антропогенных источников на окружающую среду; 3. обеспечивать предоставление надлежащей информации для нужд государства, юридических и физических лиц, необходимой для предотвращения и (или) уменьшения неблагоприятных последствий изменений окружающей среды [7, ст.26].

Кроме того, данные мониторинга окружающей среды в горнодобывающей промышленности необходимы для расчета стоимости ущерба, причиненного объектам окружающей среды.

Методы исследования

В районе исследования были отобраны пробы отходов оловорудного сырья, почв. Для исследования отбирались и анализировались пробы отходов обогащения, почвы с различных глубин: 0–10 см и 10–20 см с учетом розы ветров (ГОСТ 12039-82; ГОСТ 17.4.4.02-84;

ГОСТ 17.2.3.01-86 и др.). Анализ проб почв, подготовленных по единой методике, проводился в инновационно-аналитическом центре института тектоники и геофизики ДВО РАН г. Хабаровска. Образцы подвергали кислотному разложению в микроволновом поле и анализировали методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ASP-MS ELASN DRC II PerkinElmer. Были идентифицированы подвижные формы соединений мышьяка, хрома, сурьмы, цинка, свинца, ртути и других тяжелых металлов.

Согласно «Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» проведен расчет размера вреда, причиненного почвам в границах влияния хвостохранилища Солнечно-го ГОКа [13].

Результаты и обсуждение

Почвы медленно реагируют на изменения в окружающей среде, однако фиксируют и аккумулируют токсичные элементы.

В рамках горно-экологического мониторинга нами были изучены закономерности техногенного загрязнения в цепи: отходы → техногенные почвы. Проводилось определение химического загрязнения верхних горизонтов почв.

Объем накопленных отходов всех хвостохранилищ в Солнечном районе около 32 млн тонн, площадь хвостохранилища, расположенного в 3 км от горняцкого поселка Солнечный на сегодняшний день составляет 105,5 га. В отходах хвостохранилища в промышленных масштабах накоплены соединения цинка (Zn), олова (Sn), меди (Cu), свинца (Pb). К числу наиболее опасных

элементов и их соединений, также присутствующих в значительных количествах в отходах переработки в соответствии с имеющимися на сегодняшний день классификациями, относятся такие элементы, как хром (Cr), мышьяк (As), сурьма (Sb) и ртуть (Hg) [4, С.130].

Динамика содержания тяжелых металлов, мышьяка (As) и сурьмы (Sb) вблизи хвостохранилища в горизонтах почв 0–10 см и 10–20 см представлена в таблице 1.

Динамика содержания тяжелых металлов, мышьяка (As) и сурьмы (Sb) вблизи хвостохранилища (таблица 2) показывает, что в зависимости от глубины отбора проб наблюдается увеличение содержания соединений большинства исследуемых элементов, что, возможно, обусловлено импульсным характером на начальных этапах процесса миграции. То есть, в гумусовом горизонте формируется «импульс» максимальной концентрации тяжелых металлов, который со временем смещается в нижележащие горизонты, при этом распределение тяжелых металлов по почве характеризуется как последовательное чередование минимума и максимума концентраций [11, С.43].

Расчет размера вреда в результате поступления в почву загрязняющих веществ, приводящего к отклонению от нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы ПДК химических веществ в почве, региональные нормативы, УЩзагр, осуществляется по формуле [13]:

$$УЩзагр = C3 \cdot S \cdot K_r \cdot K_{исп} \cdot T_x \cdot K_{мпс} \cdot K_{д'}$$

где C3 — степень загрязнения, величина которой зависит от соотношения фактического содержания i-го загрязняющего вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв, определяемого по формуле:

Таблица 1.

Динамика содержания тяжелых металлов, мышьяка (As) и сурьмы (Sb) вблизи хвостохранилища в горизонтах почв 0–10 см и 10–20 см

Соединения элементов	ПДК, мг/кг	Фоновая концентрация, мг/кг		Фактическая концентрация, мг/кг		Отклонение фактического содержания, %
		Горизонты почв, см				
		0-10	10-20	0–10	10–20	
Хром (Cr)	6,00	9,84	8,10	14,64	17,95	+ 22,6
Медь (Cu)	33,00	79,04	38,78	242,9	319,76	+ 31,6
Цинк (Zn)	55,00	78,75	60,46	73,05	71,68	-1,9
Мышьяк (As)	2,00	134,06	42,49	2564,52	3254,48	+ 26,9
Олово (Sn)	–	23,77	5,42	149,57	172,88	+ 15,6
Сурьма (Sb)	4,50	15,67	3,63	156,47	159,02	+ 1,6
Свинец (Pb)	32,00	298,29	81,50	591,04	642,22	+ 8,7
Ртуть (Hg)	2,10	2,07	0,58	7,65	8,30	+ 8,5

«+» — увеличение содержания; «-» — снижение содержания соединений элементов.

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{X_H}$$

где X_i — фактическое содержание i -го загрязняющего вещества в почве (мг/кг);

X_H — норматив качества содержания вещества для почв (мг/кг);

S — площадь загрязненного участка, м²;

K_r — показатель, учитывающий глубину загрязнения;

$K_{исп}$ — показатель, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка;

T_x — такса для расчета размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, при загрязнении почв руб./м²;

$K_{мис}$ — показатель, учитывающий мощность плодородного слоя почвы;

K_d — коэффициент дефлятор, учитывает инфляционную составляющую экономического развития, принимается на уровне накопленного к периоду исчисления размера вреда (табл. 2).

Таблица 2.

Значение показателей для расчета размера вреда в результате поступления в почву загрязняющих веществ

Показатель	C	C3	S, м ²	K _r	K _{исп}	T _x , руб./м ²	K _{мис}	K _d
Значение	>250	15	105,5·10 ⁴	1,3	1,0	400	1,0	2,475

При расчете фактического содержания загрязняющих веществ суммировались соотношения фактического содержания к нормативу концентраций для хрома, цинка, меди, мышьяка, олова, сурьмы, ртути, свинца.

По нашим расчетам, учитывая глубину отбора проб (до 20 см), степень загрязнения, площадь загрязненного участка, соответствующих коэффициентов и показателей, общий размер вреда, причиненного почвам, составляет 19306 руб./м². Максимальный вклад в загрязнение и соответственно размер вреда для почв вносят соединения хрома, мышьяка и сурьмы, так как превышение содержания для данных элементов и их соединений по отношению к фоновым значениям максимальное.

Заключение

Результаты исследования свидетельствуют о том, что состояние окружающей среды в границах оловорудного предприятия Солнечный ГОК в Приамурье оценивается как неудовлетворительное.

Улучшение состояния сложившейся ситуации в границах влияния оловорудного предприятия возможно при формировании центра экологического мониторинга в районе исследования, основной задачей которого является обеспечение комплексного подхода к контролю содержания токсичных элементов в компонентах биосферы; организация эффективной системы сбора, анализа и обработки результатов мониторинга, разработки критериев оценки техногенного загрязнения, проведения рекультивации поверхности хвостохранилища Солнечного ГОКа с использованием потенциала биологических систем (биоремедиации) для реабилитации нарушенных земель [14, 12, С.140].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гула К.Е., Крупская Л.Т., Дебенцева А.М., Ионкин К.В., Крупский А.В. К вопросу оценки хвостохранилища как источника загрязнения природной среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — 0В №5. ДВ 2. — С. 232–242.
2. Rastanina N.K., Kolobanov K.A. Impact of technogenic dust pollution from the closed mining enterprise in the Amur Region on the ecosphere and human health // Mining Science and Technology (Russia). 2021, 6(1):16-22. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-16-22>.
3. О недрах. Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1 2024 год. Последняя редакция. — М.: ЦЕНТРАМ, 2024. — 136 с.
4. Крупская Л.Т., Зверева В.П., Бубнова М.В., Чумаченко Е.А., Голубев Д.А. Особенности экологического мониторинга изменения экосистем под воздействием отходов золото- и оловодобычи в Дальневосточном Федеральном округе // Экологическая химия. — 2014. — Т. 23. — № 3. — С. 125–134.
5. Бубнова М.В., Озарян Ю.А. Экологический мониторинг природно-горнотехнических систем на основе данных дистанционного зондирования // Экологические системы и приборы. — №11. — С. 114–121.
6. Зверева В.П., Костина А.М., Коваль О.В. Техногенное минералообразование как показатель экологического состояния оловорудных районов Дальнего Востока // Горный журнал, 2009. — № 4. — С. 41–43.
7. Khanchuk A.I., Krupskaya L.T., Zvereva V. P. Environmental problems of the tin resources in the Primorie and the Amur and solutions // Geography and Natural Resources, 2012, Vol. 33, № 1. — P. 46–50.
8. Постникова В.В. Минералогия зоны гипергенеза оловорудных месторождений Комсомольского района / В.В. Постникова, Л.К. Яхонтова. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. — 122 с.
9. Крупская Л.Т. Эколого-геохимические основы оценки влияния техногенной системы на окружающую среду и ее охрана (на примере закрытого горного предприятия «Солнечный ГОК»): монография / Л.Т. Крупская [и др.]. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. — 260 с.
10. Растанина Н.К., Крупская Л.Т. О роли экологических факторов в изучении здоровья населения горняцких поселков на юге Дальнего Востока // Экология и промышленность России (декабрь), 2008. — С. 56–57.
11. Груздков Д.Ю., Ширкин Л.А., Трифонова Т.А. Оценка миграции тяжелых металлов в почвах // Вестн. Моск. ун-та. Серия 17. Почвоведение, 2009. — № 4. — С. 40–45.

12. Крупская Л.Т., Голубев Д.А., Раганина Н.К., Филатова М.Ю. Рекультивация поверхности хвостохранилища закрытого горного предприятия Приморского края с использованием биоремедиации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 9. — С. 138–148. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-138-148.
13. Приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238 (ред. от 18.11.2021) «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды: зарегистрировано в Минюсте России 07.09.2010 № 18364. — URL : <https://docs.cntd.ru/document/902227668>
14. Патент РФ № 2017142896, 14.11.2018. Состав для пылеподавления для рекультивации поверхности хвостохранилища // Патент России № 2672453. 2017. Бюл. № 32. / Крупская Л.Т., Раганина Н.К., Голубев Д.А., Филатова М.Ю.

© Раганина Наталья Константиновна (n.rastanina@yandex.ru); Галанина Ирина Александровна (000911@pnu.edu.ru);
Попадъёв Илья Андреевич (hidden_account00@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»