

Влияние техногенных систем на окружающую среду в Приамурье и Приморье

Л. Т. КРУПСКАЯ¹, В. П. ЗВЕРЕВА^{2, 3}, А. В. ЛЕОНЕНКО^{1, 4}

¹ Тихоокеанский государственный университет
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136
E-mail: ecologya2010@yandex.ru

² Дальневосточный федеральный университет
690091, Владивосток, ул. Октябрьская, 27

³ Дальневосточный геологический институт ДВО РАН
690022, Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159

⁴ Институт горного дела ДВО РАН
680000, Хабаровск, ул. Тургенева, 51

АННОТАЦИЯ

Обсуждаются результаты изучения техногенного загрязнения экосистем отходами переработки золотороссыпных месторождений в Приамурье и Приморье. Установлено, что происходят деградация и исчезновение компонентов биосферы, а также резкое ухудшение среды обитания человека, что представляет угрозу жизни людей в горняцких поселках. Предложены мероприятия по снижению негативного воздействия отходов на объекты окружающей среды.

Ключевые слова: минеральное сырье, отходы, переработка, техногенное загрязнение, техногенная система.

Развитие современной цивилизации основано на минеральном сырье, получаемом из литосферы. Освоение золотороссыпных месторождений в Приамурье и Приморье и огромный объем накопленных здесь отходов золотодобычи, в том числе шлихообогачительных установок (ШОУ), способствуют возникновению негативных ситуаций техногенного характера, что неизбежно приводит к снижению эффективности работы горных предприятий и ухудшению среды обитания живых организмов. В течение длительного времени оборудование на золотодобывающих горных предприятиях не подвергалось

реконструкции и техническому перевооружению, что, несомненно, стало причиной загрязнения твердыми, жидкими и газообразными отходами атмосферного воздуха, почвы, почвогрунтов, биоты и водных объектов. В связи с этим цель работы состояла в экологической оценке влияния отходов золотодобычи на объекты окружающей среды для обеспечения их экологической и социальной безопасности. Задачи исследования: 1) анализ литературных данных и материалов патентных исследований; 2) изучение факторов, влияющих на техногенное загрязнение экосистем в процессе золото-

добычи; 3) исследование отходов ШОУ как источника негативного воздействия на экосистемы и оценка влияния на состояние объектов природной среды; 4) разработка предложений по снижению воздействия отходов переработки минерального сырья на природные системы и население горняцких поселков.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовали техногенные системы, сформированные при освоении золотороссыпных месторождений Хабаровского края (старательские артели и прииски: Север, Софийский, Кербинский и Херпучинский), Амурской области (Соловьевский прииск) и Приморского края (старательская артель Приморье). Отбор проб и анализ почвогрунтов (ГОСТ 17.4.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84) и растительности (ГОСТ 27262-87) осуществляли радиальным методом: в центре шлихообогатительной установки, а также на расстоянии 100 и 300 м от центра ШОУ по сторонам света (север, восток, юг, запад). В качестве фонового выбран наиболее удаленный от основных источников загрязнения участок в 10 км от ШОУ. При этом учитывалась роза ветров. Снежный покров (СП) изучали по методу В. Н. Василенко [1]. Исследованиями охвачена зона влияния отходов каждого предприятия площадью 12–15 км². Использовали физико-химические, химические и биологические (тест-системы “стерильность пылицы” и “ростовой тест”) методы. Пробы анализировали на содержание тяжелых металлов (ТМ): Hg, Zn, Cu, Pb, Mn, Ni, Zr, Sn, W, а

также As методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ICP–MS ELAN DRC II PerkinElmer на современном приборе ICP. Подвижные формы Zn, Pb, Cu, Mn определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на AAS-30.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Литературные источники [2–9] свидетельствуют о том, что при переработке благородных металлов происходят интенсивное техногенное загрязнение, деградация и исчезновение компонентов биосферы, а также резкое ухудшение среды обитания человека, что не только причиняет убытки горнопромышленному комплексу, но и угрожает жизни людей. Однако до сих пор отсутствует научно обоснованная система оценки и управления экологическим риском, способствующая обеспечению экономической и экологической безопасности.

Оценка отходов ШОУ, проведенная нами, основана на следующих положениях: 1) складированные отходы имеют разнообразный состав и свойства и содержат загрязняющие компоненты биосферы (токсичные элементы); 2) техногенные объекты представляют опасность загрязнения природной среды пылью и газообразными продуктами разрушения отходов; 3) отходы приводят к нарушению экологического равновесия. Классификационная группировка отходов по загрязняющим веществам и видам производства показана в табл. 1.

Месторождение является потенциальным источником техногенного загрязнения экоси-

Т а б л и ц а 1

Классификационная группировка отходов по видам производства и загрязняющим веществам

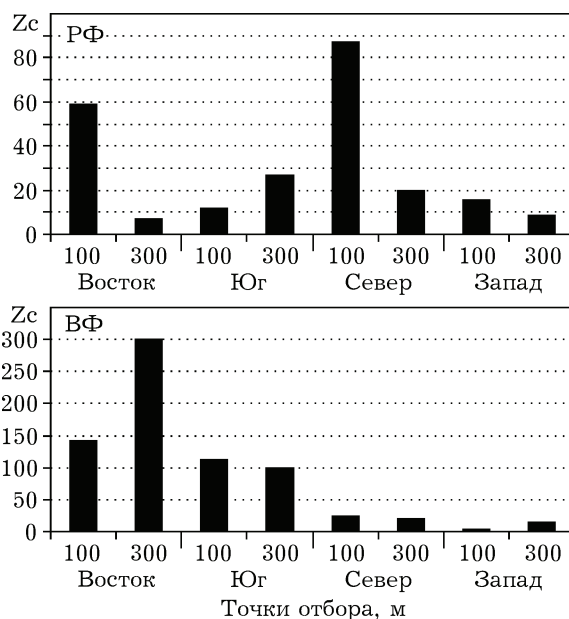
Вид производства	Загрязняющие вещества
Добыча угля	Мышьяк, свинец, хром, цинк, бензапирен, кислоты и основания, толуол
Добыча руд цветных металлов	Свинец, олово, хром, медь, цинк и др.
Обогащение руд	Мышьяк, свинец, хром, цианиды, медь, ртуть, селен, цинк и др.
Добыча россыпных месторождений	Ртуть, никель, медь, хром, кобальт, свинец, цинк, мышьяк, барий, марганец, ванадий и др.
Обогащение россыпных месторождений	Тяжелые металлы и техногенная ртуть

стем, поэтому следует учитывать минеральный и химический состав его руд и отходов. Основными минералами рассматриваемых россыпных месторождений и отходов обогащения являются: ильменит, магнетит, вольфрамит, гематит, гранат, а второстепенными: арсенопирит, галенит, касситерит, эпидот, циркон, пироксен, киноварь. Тяжелые фракции отходов обогащения богаты не только цирконом, но и ильменитом. Они характеризуются большим содержанием ТМ: Pb, Cu, Zn, Sn, Hg, Mn и др.

С эколого-геохимической точки зрения СП представляет собой депонирующую среду, в которой хранится информация об уровне и характере загрязнения атмосферы на данной территории. Обладая высокой сорбционной способностью, снег осаждаёт на земную поверхность значительную часть газообразных и пылеватых частиц, которые консервируются в снежном покрове на время его устойчивого положения. Изучение его химического состава позволяет выявить зоны аномального накопления на поверхности земли продуктов техногенеза и выяснить конкретные источники загрязнения. Он так же, как и почва, может быть субстратом для накопления веществ и являться фактором формирования экологической ситуации. Исследования показали, что в рассматриваемых объектах содержание тяжелых металлов в жидкой форме снега значительно превышает ПДК: Cu – в 11, Mn – 3, Hg – 3, Zn – в 2 раза. Расчет суммарного показателя загрязнения (Zc) выявил, что максимальные концентрации тяжелых металлов в растворенной форме СП отмечены по всем точкам на расстоянии 100 м от ШОУ. Загрязнение взвешенной фракцией происходит в восточном и юго-восточном направлениях, что согласуется с розой ветров (см. рисунок).

Наибольший вклад в загрязнение СП вносит Hg (64,58 %), меньше – Ni. При сравнении суммарного показателя загрязнения (Zc) выяснено, что оно происходит в разных направлениях: в восточном накапливаются Hg, Sn, W, As, южном – Hg, Sn, Zr, Cu, W, As, северном – Hg, Zr и западном – Hg, Zr, As.

Оценка влияния отходов переработки минерального сырья на компоненты биосферы проведена в нескольких аспектах: 1) количест-



Суммарный показатель загрязнения (Zc) снежного покрова

венном, позволяющем оценить объемы и площади изъятия для их размещения; 2) качественном, проявляющемся в изменении качества среды обитания, и 3) пространственном, содержащем информацию о косвенном влиянии горных отходов на сопредельные участки. Она свидетельствует о содержании в почве в аномальном количестве токсичных химических элементов (Pb, Zn, Cu, As) в валовых (табл. 2) и подвижных формах. В таких почвах интенсивность гипергенных процессов во много раз усиливается. Окисление сульфидов приводит к образованию концентрированных микропоровых растворов, из которых происходит процесс кристаллизации гипер- и техногенных минералов. Растворы содержат широкий спектр ионов. Их начальное состояние можно характеризовать величиной $pH \leq 3$, когда в растворе присутствуют следующие ионы: Fe^{+2} , Cu^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2} , AsO_4^{-4} , $H_2AsO_4^{-4}$, HSO_4^{-} , SO_4^{-2} , а при $pH \geq 3$ – Fe^{+2} , Cu^{+2} , $[Pb_4(OH)_4]^{+4}$, $[Zn(OH)]^{+}$, $H_2AsO_4^{-}$, $H_2AsO_4^{-2}$, SO_4^{-2} [7]. Природно-климатические условия в районе исследования влияют на миграцию растворимых продуктов гипергенеза, что способствует более широкому техногенному загрязнению почв и биоты. При эксплуатации месторождений возникают зоны с разной степенью химического загрязнения, площадь которых всегда более значительна, чем с механическими нарушениями.

Валовое содержание тяжелых металлов в почвогрунтах на территории ШОУ, мг/кг

Место отбора пробы	Hg	Pb	Zn	Cu	As
Центр ШОУ	85,8/64,2	96/29,2	87,7/70,7	44,7/35,4	629/411
Восток 100 м	1,32/1,15	19,64/21,3	89,7/91,7	17,4/22,4	37,9/35,1
300 м	0,37/0,21	20,3/22,2	94,8/89,3	23,9/19,6	34,3/35,8
Юг 100 м	0,81/0,30	21,2/19,3	94,4/83,0	21,8/18,3	37,1/35,3
300 м	0,43/0,11	14,8/17,7	86,7/83,5	15,6/14,7	26,9/31,8
Север 100 м	0,19/0,29	53,8/57,1	98,9/119	28,4/31,5	18,7/20,1
300 м	0,36/0,41	41,8/20,7	78,3/79,5	21,5/18,3	18,3/21,7
Запад 100 м	0,37/0,18	19,6/21,5	74,8/84,2	12,2/14,9	35,9/35,3
300 м	1,09/0,26	22,1/21,0	104,2/110	27,2/18,9	38,9/41,3
ПДК	2,1	30	100	55	2
Фон	0,11	11,17	46,08	7,47	11,99

П р и м е ч а н и е. В числителе – концентрация металлов в почвогрунтах, отобранных на глубине 0–10 см, в знаменателе – 10–20 см.

Проведенными исследованиями выявлена миграция ТМ в почвы, а из них в растительность. В техногенных почвах рассматриваемых объектов атомно-абсорбционным методом определены высокие концентрации следующих элементов, мг/кг: Zn – 119, Cu – 31, Pb – 78, Ni – 17. Почвы на территориях ШОУ во всех направлениях (в большей степени в северо-восточном) от их центров обогащены Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, As, Sb, Bi, Ag, S. В техногенных почвах содержание этих элементов выше фоновых значений в 5–25 раз, а превышение допустимой нормы порой достигает 100 раз. С удалением от ШОУ в них уменьшается содержание как валовых, так и подвижных форм ТМ. Почвы как компоненты биогеоценоза в районах исследования находятся в состоянии глубокого биологического разрушения.

В растениях, произрастающих на расстоянии до 7–8 км от шлихообогатительной установки, выявлено повышенное количество Zn, Hg, As, Mn, достигающее аномальных величин, которые для Zn зафиксированы даже на расстоянии 300 м от источника в западном (более 80 мг/кг) и северо-восточном (52,5 мг/кг) направлениях. Это обусловлено значительным превышением содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов в техногенных почвах. Цинк мигрирует и в северном направлении. Обнаружено довольно высокое содержание (по сравнению с фоновым значением) As в полыни (*Artemisia* sp. L.) –

2,72 мг/кг и кукушкином льне обыкновенном (*Polytrichum commune* Hedw.) – 1,19. Миграция As происходит в восточном и западном направлениях. Установлено, что полынь, малина сахалинская (*Rubus sachalinensis* Zevl.), кукушкин лен обыкновенный, пижма северная (*Tanacetum boreale* Fisch. DC) обладают высокой способностью аккумуляции Cu, Zn, Hg, As из почв. Береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz.) и хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.) характеризуются меньшей способностью к аккумуляции (0,12 и 0,15 мг/кг соответственно) [10]. В растениях концентрация элементов в ряду Pb, Zn, Mn, Cu, As, Hg и Cd уменьшается.

Даже в одинаковых условиях произрастания различные виды растений обладают разной способностью к накоплению ТМ. Рассчитанный коэффициент биологического накопления (КБН) показывает, что их содержание в растениях зависит от наличия подвижных форм в почвенном растворе. Так, для Zn он варьирует от 1,79 до 5,84 мг/кг, Cu – 0,71–5,36, Pb – 1,23–6,23 и Hg – 0,32–0,77 г/кг. Токсичные химические элементы оказывают негативное воздействие на живые организмы, проявляющееся в изменении метаболизма, нарушении структуры, физиологических функций. Состояние растительности в районах техногенных систем, как правило, неудовлетворительное с точки зрения устойчивости существования и функционирования, самовоспроизведения и саморегуляции экоси-

Шкала оценки экологической ситуации (усредненная) по стерильности пыльцы

Стерильность пыльцы, %	Уровень показателя повреждаемости	Состояние биоиндикаторов	Оценка экологической ситуации
0,3–0,4	Низкий	Благополучное	Эталонная (хорошая)
8,5–22,5, на расстоянии до 7 км от ШОУ	Выше среднего	Угрожающее	Критическая
5,0–8,5, на расстоянии до 14 км от ШОУ	Средний	Конфликтное	Неудовлетворительная
0,5–4,5, на расстоянии до 20 км от ШОУ	Ниже среднего	Настораживающее	Удовлетворительная

стем. Все это сказывается на репродуктивной деятельности и продолжительности жизни растений.

Использование технологии ртутной амальгамации при переработке золотороссыпных месторождений привело к крупномасштабному загрязнению ртутью всех экосистем, что представляет существенную экологическую угрозу для биоты. Ситуация осложняется тем, что в последние годы в Приамурье и Приморье наметилась тенденция к освоению техногенных россыпей, что может привести к активизации загрязнения ртутью объектов окружающей среды. Содержание техногенной ртути в почвах и растениях нередко превышает ПДК в 3–5 раз и более. Максимально чувствительными процессами, на которые оказывают влияние стрессовые условия (техногенное загрязнение среды ТМ), являются репродуктивная деятельность и продолжительность жизни растений. Увеличивается стерильность пыльцевых зерен, что влечет за собой их пониженное прорастание. Использование биологических методов (тест-системы, изучение микрофлоры) позволило оценить экологическую ситуацию в Приамурье и Приморье как критическую (табл. 3). Стерильность пыльцы исследованных растений достигала 22–24 %. В рассматриваемых районах также обнаружено угнетенное состояние бактериального комплекса.

Высокий уровень токсичности отмечается у растений, отобранных в центре шлихообогатительной фабрики и на расстоянии 100 м от центра ШОУ в северо-восточном направлении. Полученные данные позволили выделить на рассматриваемой территории (район влияния ШОУ) три зоны: 1) очень сильного

загрязнения, с содержанием ТМ, превышающим допустимую норму в 5–100 раз, и со стерильностью пыльцы до 23–24 %; 2) сильного загрязнения с количеством ТМ в подвижной форме в почвах, как правило, выше ПДК в 2,5–3 раза и со стерильностью пыльцы до 10 %; 3) умеренного загрязнения с количеством подвижных форм ТМ в почвах, обычно не превышающим для Zn 10–12, Pb – 1–2, Cd – 0,2 мг/кг, и стерильностью пыльцы до 4,5 %.

Экологические проблемы на исследуемых объектах обусловлены составом перерабатываемых руд, горных пород, а также технологией их добычи и обогащения. В России, в том числе в Приамурье и Приморье, в настоящее время экологическая обстановка, масштаб и степень проработанности мер, направленных на уменьшение загрязнения окружающей среды, соответствуют уровню, на котором Европа находилась в конце 50-х – начале 60-х гг. прошлого столетия. Ситуации с риском учащаются, количество способствующих факторов увеличивается, и процесс управления ими усложняется. К числу наиболее важных проблем относятся социально-экономические, технологические (техногенные) и организационные. Их приходится рассматривать комплексно, с учетом взаимного влияния и связей иерархического характера. При этом роль природных факторов, включающих особенности климата, ландшафта, розы ветров, трудно переоценить. По мнению авторов, большое значение имеет определение экологической напряженности территории (ЭНТ) при освоении россыпных месторождений в местах расположения объектов наших исследований (старательские арте-

ли Приамурья и Приморья). Одним их главных факторов становится время, а реакция природных систем на горнопромышленное воздействие в массе приобретает нелинейный характер. Ведущим методом стратегических оценок в таких условиях становится экспрессный на экспертно-эмпирической основе (сбор, интеграция и интерпретация всего огромного и обычно рассогласованного материала, накопленного в самых разных отраслях науки и практики). Первым и обязательным этапом таких разработок является комплексная оценка уязвимости территории сложившимися нерегламентированными хозяйственными воздействиями. Имеется в виду характер, а также степень необратимости и опасности, разрушения, деградации функционального механизма экосистем территории, обеспечивающего устойчивость и продуктивность ее биотического потенциала. Согласно шкале оценки уязвимости ЭНТ, вся площадь зоны влияния отходов переработки золотороссышных месторождений может быть разделена следующим образом: до 100 баллов – территория устойчивая; от 100 до 1000 – потребность в регламентациях землепользования в целом высокая; от 1000 до 3000 – очень высокая. Для исследуемой территории на основании расчетов показатель ЭНТ, отражающий роль геоморфогенетического, криогенного, почвенно-генетического и климатического блока факторов в их взаимосвязи, оказался равным 2274–2564 балла. Следовательно, она относится к категории земель, где необходима жесткая регламентация природопользования.

На основании результатов исследования предложены мероприятия, направленные на снижение влияния техногенной системы на объекты окружающей среды. Исследования состава и свойств отходов позволили сделать вывод о необходимости срочной переработки глинисто-эфельной фракции и «черного шлиха» отходов ШОУ с целью извлечения техногенной ртути и других токсичных химических элементов (Pb, Cu). Предлагается разработать программу экологической безопасности районов освоения месторождений золота, включающую рекультивацию техногенной среды и ее рекреацию. Следует предусмотреть совершенствование нормативно-правовой базы,

обязать недропользователя проводить сертификацию техногенных образований горного производства (отходов) по категориям их производственной годности и экономической ценности, что позволяло бы переводить их в разряд вторичных ресурсов с определением направлений хозяйственного использования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты оценки техногенного загрязнения объектов окружающей среды отходами переработки золотороссышных месторождений в Приамурье и Приморье показывают, что на территории в сотни гектаров происходят деградация и исчезновение компонентов биосферы, а также резкое ухудшение среды обитания человека, что представляет угрозу жизни людей в горняцких поселках. Разработаны мероприятия по снижению негативного воздействия техногенной системы на природные составляющие.

Полученный оригинальный материал может быть использован для изучения динамики развития региональных природно-горно-технических систем. Результаты исследования внедрены в отчеты проектов по Федерально-целевой программе РФ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» за 2009–2013 гг. № 02.740.11.0689 и 02.740.11.0723, в образовательные процессы Тихоокеанского государственного университета и Дальневосточного федерального университета. Они используются в лекционных курсах дисциплин: «Экология», «Горное дело и окружающая среда», «Экологическая минералогия и геохимия ДВ региона» и «Горнопромышленные техногенные системы и их экологические последствия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. и др. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 182 с.
2. Вернадский В. И. Очерки геохимии. М.: Наука, 1983. 422 с.
3. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Грехнев Н. И., Крупская Л. Т., Ионкин К. В. Основные направления решения экологических проблем минерально-сырьевого комплекса в Дальневосточном регионе // Геоэкология. 2009. № 6. С. 483–489.
4. Елпатьевский П. В. Горнопромышленный техногенез – начало и конец освоения // Мат-лы Между-

- нар. науч. конф. Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2002. Т. 1. С. 97–99.
5. Сидоров Ю. Ф., Крупская Л. Т., Поздняков А. М., Саксин Б. Г. Прогнозная экологическая оценка техногенного загрязнения ртутью экосистем районов добычи юга Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 2003. 31 с.
 6. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П. Природа и человек: противоречия и пути их преодоления // Вестник РАН. 2002. № 5. С. 405–410.
 7. Зверева В. П. Экологические последствия гипергенных и техногенных процессов на оловорудных месторождениях Дальнего Востока: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Владивосток, 2005. 48 с.
 8. Крупская Л. Т., Бойко В. Ф., Климова Л. А. К проблеме оценки взаимосвязи стерильности пыльцы растений-биоиндикаторов и техногенного воздействия горнопромышленных отходов на юге Дальнего Востока // Экологические системы и приборы. 2006. № 7. С. 8–10.
 9. Быков А. А. Методические рекомендации по оценке социально-экономического ущерба от нарушения здоровья населения, обусловленного загрязнением атмосферного воздуха // Управление рисками. 1999. № 3. С. 34–39.
 10. Воробьев Д. П., Ворошилов В. Н., Горовой П. Г., Шретер А. И. Определитель растений Приморья и Приамурья. М.; Л.: Наука, 1966. 492 с.

Impact of Technogenic System on the Environment and Human Health in the Priamurye and Primorye

L. T. KRUPSKAYA¹, V. P. ZVEREVA^{2, 3}, A. V. LEONENKO^{1, 4}

¹ Pacific State University
680035, Khabarovsk, Tikhookeanskaya str., 136
E-mail: ecologiya2010@yandex.ru

² Far East Federal University
690091, Vladivostok, Oktyabrskaya str., 27

³ Far East Geological Institute FEB RAS
690022, Vladivostok, 100-letiya Vladivostoka ave., 159

⁴ Mining Institute FEB RAS
680000, Khabarovsk, Turgenev str., 51

The problems connected with the evaluation of technogenic contamination of ecosystems with the wastes of placer gold production in Priamurye and Primorye are discussed in the paper. The wastes polluted with mercury bring substantial hazard. We have established the degradation of environmental objects and sharp deterioration of human habitat. This brings the threat to human life in miners' settlements. We propose the measures to reduce the negative action of wastes on environment objects.

Keywords: mineral raw material, waste products, processing, industrial pollution, technogenic system.