

УДК [622.85 + 504.55.054:622] (571.6)

А. И. ХАНЧУК*, **Л. Т. КРУПСКАЯ****, **В. П. ЗВЕРЕВА***

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

**Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ОЛОВОРУДНОГО СЫРЬЯ В ПРИМОРЬЕ И ПРИАМУРЬЕ

Обсуждены результаты многолетних исследований экологического состояния объектов окружающей среды в Приморье и Приамурье. Установлено негативное воздействие отходов переработки оловорудного сырья на экосферу в целом. Обнаружено превышение ПДК по содержанию ионов аммония, мышьяка, меди и другим тяжелым металлам в снежном покрове. Выявлена значительная аккумуляция валовых и подвижных форм элементов в почвах и растительности. Рекомендованы предложения для решения экологических проблем.

Ключевые слова: горнопромышленные техногенные системы, экологические проблемы, суммарный показатель загрязнения, коэффициент загрязнения, стерильность пыльцы.

We discuss the results from many years of investigations into the ecological state of environmental sites in Primorie and Priamurie. It is found that processing wastes of tin ore feed-stock have a negative influence on the ecosphere as a whole. It is found that the levels of ions of ammonium, arsenic, copper and other heavy metals in snow cover exceed maximum allowable concentration (MAC). The study revealed a significant accumulation of total and mobile forms of elements in soils and vegetation. Some recommendations and suggestions are made in order to cope with the ecological problems.

Keywords: mining technogenic systems, ecological problems, total pollutional index, pollution coefficient, pollen sterility.

© 2012 Ханчук А. И. (khanchuk@fegi.ru), Крупская Л. Т. (eco@igd.khv.ru), Зверева В. П. (zvereva@fegi.ru)

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На Дальнем Востоке в результате перестройки экономики многие горнодобывающие предприятия, в том числе оловорудные, оказались обанкроченными. На значительной части этих объектов сложилась кризисная экологическая ситуация. Положение усугубляется неудовлетворительным состоянием окружающей среды, что обусловлено большим объемом накопленных в хвостохранилищах токсичных отходов переработки минерального сырья. Орографическое положение территории способствует переносу всех видов загрязняющих веществ с периферических горнорудных районов и аккумуляции их в русловой и долинной частях главной водной артерии Дальнего Востока — Амура. Так как бассейн Амура занимает более 80 % территории региона, то большинство горнопромышленных районов дренируются его притоками с выносом токсичных элементов и их соединений в приамурские низменные равнины и русло реки.

Известно, что в настоящее время инвестор может вкладывать свои финансовые средства в освоение любого месторождения, эксплуатация которого дает ему прибыль. Для определения величины этого показателя необходим учет затрат на решение экологических проблем, которые могут возникнуть в процессе его разработки. Размер этих затрат существенно зависит от реальной экологической обстановки, сложившейся на территории на момент начала таких работ.

Следует отметить, что в настоящее время основные экологические проблемы горнопромышленного производства в Дальневосточном регионе обусловлены не столько расширением его масштабов и ростом количества предприятий минерально-промышленного комплекса, сколько применением на них отсталых технологий освоения месторождений, особенно при переработке рудной массы и извлечении полезных компонентов, в том числе и оловорудного сырья. Требуется радикального изменения система охраны окружающей среды, которая в настоящее время уже не отвечает масштабам горного производства и современным экологическим требованиям, предъявляемым к освоению недр.

В этой связи всесторонняя характеристика и оценка риска воздействия оловорудного производства на природную среду являются актуальной проблемой, поскольку позволяют предложить мероприятия по снижению негативного влияния процессов освоения недр на компоненты биосферы. Поэтому цель нашего исследования заключалась в изучении экологического состояния районов освоения оловорудных месторождений в Приморье и Приамурье, определении масштабов разрушения экосистем, выявлении закономерностей негативного воздействия на объекты окружающей среды для обеспечения экологической и социальной безопасности.

Исходя из цели, решались конкретные задачи: 1) анализировались литературные данные по проблеме; 2) изучались источники техногенного загрязнения экосистем; 3) исследовалось современное экологическое состояние отдельных природных сред в зоне влияния оловорудного горного предприятия; 4) обосновывались мероприятия по снижению техногенного воздействия на природную среду оловорудных предприятий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовались природно-горнотехнические системы, сформированные в зоне влияния ОАО «Солнечный ГОК» в Приамурье (г. Солнечный Солнечного района Хабаровского края, горняцкий поселок Горный) и ОАО «Хрустальненский ГОК» в Приморье (горняцкие поселки Кавалерово и Фабричный).

Оценка экологического состояния техногенных ландшафтов Солнечного и Хрустальненского ГОКов осуществлена с использованием системного анализа. Проведена инвентаризация всех источников загрязнения, включающая характеристику состава и объемов веществ, загрязняющих компоненты биосферы. Используются следующие методы исследования: экспедиционно-маршрутный, ландшафтно-географический, биоиндикации, опробование природных компонентов, аналитические. В зоне влияния хвостохранилищ производился минералогический отбор гипогенных и гипергенных образцов, снежного покрова, почвогрунтов, растительности, токсичной пыли, сточных вод, биологического материала.

Для изучения геохимических особенностей поверхностного слоя хвостохранилища в разных его частях отбирались пробы отходов обогащения (до глубины 0,2 м). Отбор проб техногенных почвогрунтов проводился с разных глубин (0–10 и 10–20 см) с учетом розы ветров. Степень влияния пылевого разноса на почвенный покров оценивалась путем заложения геохимических профилей через долины рек Силинка (Солнечный ГОК) и Хрустальная (Хрустальненский ГОК), а также ниже по течению, на расстоянии (по прямой) более 10 км от хвостохранилища. Анализ отобранных образцов осуществлялся по общей методике: первоначально они подвергались кислотному разложению в микроволновом поле, а затем анализировались методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ISP-MS ELASN DRC II PerkinElmer. Подвижные формы Zn, Pb, Cu, Mn определялись атомно-абсорбционной спектрофотометрией на ААs-30.

Снежный покров изучался по методу В. Н. Василенко [1]. Концентрация тяжелых металлов, взвешенных веществ в атмосферном воздухе определялась в соответствии с установленными ГОСТом нормами. Во время отбора проб на содержание загрязняющих веществ учитывались направление и скорость ветра, давление, температура воздуха.

Проводилось геоботаническое описание участков обследования, изучалось видовое разнообразие растительности, отбирались преобладающие виды растений для исследования объемов содержащихся в них токсичных металлов, выявлялись растения-биоиндикаторы. При этом применялись биологические методы (тест-системы: «ростовой тест», «стерильность пыльцы» и микробиологические показатели). Оценка отклика биоты на негативное воздействие загрязнения среды осуществлялась с помощью тест-системы «стерильность пыльцы» [2]. Микроорганизмы, использующие органические формы азота, выявлялись на мясопептидном агаре (МПА) [3].

Для оценки экологического состояния природных сред рассчитывались следующие показатели [4]: коэффициент концентрации (Кс) и суммарный показатель загрязнения (Zс). Фоновые характеристики природных сред изучались на участке, расположенном в 30 км на северо-восток от хвостохранилища ОАО «Солнечный ГОК». Полученные количественные показатели обрабатывались с помощью пакетов прикладных программ на персональном компьютере, в основе которых лежат методы вариационной статистики с поиском корреляционных связей.

Гидрохимические пробы проанализированы методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе марки Plasmequant-110 на широкий спектр рудных элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ и систематизация литературных данных по проблемам экологической опасности техногенного загрязнения окружающей среды и экологического риска освоения оловорудного сырья свидетельствуют о том, что до сих пор нет единого подхода к определению этих понятий. В литературе отсутствуют достоверная информация об источниках негативного влияния хвостохранилища на объекты окружающей среды и классификация горных предприятий по уровню экологической опасности, не созданы основы оценки экологического риска и управления им, не обоснованы место и роль регионального горно-экологического мониторинга природно-горнотехнических систем в их оценке и управлении.

Выполненный анализ литературных источников [5–14] позволил выявить следующие экологические проблемы на горных предприятиях: высокую отходоёмкость; низкую комплексность извлечения полезных компонентов и неэффективное использование запасов минерального сырья осваиваемых месторождений; низкий уровень экологизации оловорудного производства; отсутствие методик, связанных с повторной переработкой хвостохранилищ как техногенных месторождений; необходимость реформирования устаревшей системы экологических требований.

В результате проведенных исследований определены основные факторы, влияющие на повышение вероятности возникновения экологического риска при освоении оловорудного сырья. Прежде всего это наличие источника негативного воздействия на компоненты биосферы, содержащего загрязняющие и токсичные элементы или химические соединения в виде газообразных, жидких и твердых отходов; высокая отходоёмкость предприятия и превышение объемов отходов по сравнению с экологическим потенциалом природных систем (возможность сохранения и функционирования природных систем, рационального использования всех компонентов биосферы в интересах человека); особенности биоклиматических и орографических условий функционирования предприятия, а также их экологическая ёмкость (способность поглощать посторонние вещества и энергию без существенного изменения параметров окружающей среды); степень износа оборудования, влияющая на вероятность возникновения аварий на горном объекте; степень освоённости территории; отсутствие комплекса природоохранных мероприятий, в том числе осуществляемых в процессе горного производства, включая систему обеспечения надежности технологических цепочек, предотвращения аварий и оперативность горно-экологического мониторинга.

Выполненные исследования [6, 7, 10–11], касающиеся влияния на экосистемы горного производства, представляющего экологическую опасность, и оценка степени и возможной величины наносимого ущерба от инженерных и технологических аварий свидетельствуют о том, что к числу основных источников создания кризисных ситуаций на горных предприятиях относятся: 1) хвостохранилища, шлихообогатительные установки, обогатительные фабрики, отстойники; 2) технологическое и транспортное оборудование, котельные ТЭЦ и отопительные системы; 3) использование взрывчатых материалов; 4) выпуски шахтных вод и жидких отходов, отходы обогащения и отвалы вмещающих пород; 5) сушильные установки и аспирационные системы обогатительных фабрик; 6) некондиционные руды; 7) вентиляционные системы обогатительных фабрик и плавильных цехов; 8) дражные полигоны.

На основе комплексного анализа нами установлено, что эколого-санитарное состояние горняцких поселков, расположенных в Приморье и Приамурье, связано главным образом с накоплением огромных объемов токсичных отходов горного производства — хвостов в хвостохранилищах. Только в трех хвостохранилищах ОАО «Солнечный ГОК» объем накопленных хвостов составляет более 32 млн т, а на предприятии ОАО «Хрустальненский ГОК», где их шесть, — около 35 млн т. В химическом составе отходов хвостохранилищ присутствуют Sn, Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr, As и другие токсичные элементы. Биогеохимическое исследование компонентов биосферы в зоне влияния этих техногенных объектов свидетельствует о глубококом вовлечении в геохимический круговорот названных металлов.

Формирование природно-горнотехнических систем способствует увеличению содержания рудных элементов в природных составляющих. Аэрофотоснимки позволяют достаточно точно оценить обширные по площади территории, трансформированные горным производством и техногенезом, а также показывают изменение природной среды во времени. Анализ снимков свидетельствует, что в целом за годы существования (1967–1987) техногенной системы в Приамурье произошла значительная деградация ландшафта на большой территории (до 600 км²), а участки угнетенного леса вблизи хвостохранилищ с 1982 по 1987 г. расширились в 5–6 раз [12].

Загрязнение воздушного бассейна отходами обогащения, токсичной пылью, тяжелыми металлами и аэрозолями сульфат-ионов в г. Солнечный относится к экстремально высокому уровню. Хвостохранилище является опасным источником загрязнения атмосферного воздуха летом, особенно при ветрах южного, юго-восточного и юго-западного направлений, когда аэрогенный поток направлен в сторону жилых зон. Из тела техногенного объекта — хвостохранилища — выделяется значительное количество различных газов и тяжелых металлов (мг/кг): Fe — 17600, Zn — 1357,5; Hg — 1,95; Pb — 160,21; Mn — 514,3; Cu — 286,0. Концентрация аэрозолей здесь оказалась выше фоновой в 80 раз.

Нами отмечался повышенный уровень сероводорода (2 ПДК). Кратность превышения максимальных концентраций загрязняющих веществ относительно фонового содержания на разных участках исследования изменялась от 16 до 80 раз. Наибольшее количество канцерогенных элементов, содержащихся в пыли атмосферного воздуха (табл. 1), превышающее ПДК, обнаружено в районе колодцев, прудка и пляжа хвостохранилища, а также в г. Солнечный в 2008 г. на расстоянии до 7 км от источника загрязнения.

Образующиеся ореолы и потоки загрязняющих веществ распространяются природными миграционными механизмами. Их негативное техногенное воздействие на биосферу способствует накоплению в трофических цепочках рудных и токсичных элементов. Так, вблизи хвостохранилища суммарная концентрация токсичных металлов в снежном покрове (СП) составила 0,095 мг/дм³. Общее поступление водорастворимой фазы тяжелых металлов в СП составляет 9,595 мг/м² в сезон, а в процентном отношении Cu — 54; Mn — 36; Sb — 3; Co, Cd — по 2; Pb, Ni, Cr — по 1. За зимний период на территорию зоны влияния хвостохранилища поступает в целом 11 кг тяжелых металлов. Суммарное накопление канцерогенных элементов в СП в зимние сезоны 2004–2008 гг. в среднем составило: растворимых минеральных веществ — 912,2 кг, взвешенных веществ — 117 т. В СП отмечается превышение ПДК по величине ионов аммония, мышьяка, меди, марганца и других тяжелых металлов (растворимая форма).

Выявлено, что в районе хвостохранилища в почвах, растительности и донных отложениях обнаружены высокие концентрации валовых форм тяжелых металлов, превышающие фоновые содержания и ПДК от 2 до 16 раз. Нами установлено превышение ПДК в почвенно-растительном покрове по As, Cr, Mn, Cu, Zn, Pb, Sb, Sn и др., что подтверждается литературными данными [15]. Почвенный покров является депонентом техногенного загрязнения. Так, в верхнем горизонте почв, приуроченных к хвостохранилищу, нами установлена значительная аккумуляция токсичных химических элементов (г/т): Cu — 1264, Zn — 340, Pb — 220 и др. Валовые содержания Pb, Zn, Cu, As, Hg в техногенных почвах превышают ПДК от 2 до 20 раз, а фоновые их значения в 2–90 раз. Аномальные количества Zn, As, Pb фиксируются даже на глубине 10–20 см.

Высокая концентрация тяжелых металлов в почвенном покрове (валовые формы) отмечается не только на расстоянии 300 м от хвостохранилища, но и в зонах до 5 км (табл. 2). С удалением от техногенного источника уровень загрязнения снижается. Полученные результаты свидетельствуют о том, что подвижные формы химических элементов мигрируют по цепи почва–растительность–человек и провоцируют различные заболевания у людей, проживающих в районах развития горнорудного производства [14].

Таблица 1
Содержание канцерогенных элементов в пыли в зоне влияния хвостохранилища ОАО «Солнечный ГОК» (г. Солнечный)

Год	Элемент, мг/кг		
	As	Cr	Sb
2004	22,82	24,51	4,08
2005	49,56	26,71	7,66
2006	89,51	34,01	12,13
2007	101,25	63,98	23,02
2008	114,00	93,26	32,31

Суммарный показатель загрязнения (Zc) техногенных почв и отходов хвостохранилищ в Приамурье и Приморье

Место отбора образцов	Глубина отбора, см	Zc
Почвы		
3 км от хвостохранилища Солнечного ГОКа	0–10	138–390
	10–20	111–342
5 км от хвостохранилища Солнечного ГОКа	0–10	95–101
	10–20	32–40
7 км от хвостохранилища Хрустальненского ГОКа	0–10	87–91
	10–20	23–36
Отходы		
хвостохранилища ЦОФ Солнечного ГОКа	0–10	1056–2711
	10–20	1710–1979
хвостохранилища ЦОФ Хрустальненского ГОКа	0–10	1021–2056
	10–20	1545–1891

Наибольшая величина суммарного показателя загрязнения (Zc) характерна для техногенных почв, находящихся вблизи хвостохранилища — на расстоянии 0,3 км от него и на удалении 3–4 км от техногенного объекта. При этом она превышает фоновые значения (см. табл. 2). Вокруг горного предприятия сформировалась почвенно-геохимическая аномалия с избыточным содержанием тяжелых металлов.

Установлено, что высшая растительность аккумулирует тяжелые металлы (Zn, Pb, Cd и др.) в количествах, превышающих регионально-фоновые значения от 2–5 до 10–30 раз. В почвенно-растительном покрове зоны влияния хвостохранилища возникли локальные очаги с повышенными концентрациями элементов: Pb, Cd, Co, Sb, Bi, Hg, Sn, V, а также As, имеющие техногенное происхождение. Здесь же обнаружены тератологические изменения растительности, нарушение нормальных циклов развития растений и даже полное выпадение фенофаз. Отмечена задержка начала фазы вегетации при минимальном загрязнении у брусники и багульника на 25–38 дней. На сильно загрязненных техногенных площадях лишайниковая флора полностью исчезает, что отмечается на расстоянии более 6 км от хвостохранилища.

С увеличением содержания в почвогрунтах тяжелых металлов подавляется развитие микроорганизмов (актиномицетов и микроскопических грибов), зафиксировано угнетенное состояние бактериального комплекса. Техногенное загрязнение объектов окружающей среды наибольшее влияние оказывает на репродуктивную деятельность и продолжительность жизни растений. Все эти нарушения приводят к увеличению стерильности пыльцевых зерен до 23–25 % у растений-биоиндикаторов, произрастающих на расстоянии до 7 км от хвостохранилища. На контрольной (незагрязненной) территории (в 30 км от хвостохранилища) стерильность пыльцы составляет 0,2–0,3 %. Биоиндикация экологической напряженности по стерильности пыльцы позволила выявить три зоны техногенного воздействия отходов переработки оловорудного сырья на среду обитания: 1-я зона — очень сильная степень (до 7 км от источника загрязнения), 2-я зона — сильная (до 14 км от техногенного объекта), 3-я зона — умеренная (на расстоянии 19 км).

Изучение гидрохимических проб рудничных, дренажных, шламовых и речных вод на протяжении десяти лет в Комсомольском и Кавалеровском оловорудных районах [7, 13] показало, что содержание в них Cu, Pb, Zn, As, Fe, Mn и многих других токсичных элементов в десятки, сотни, тысячи и даже десятки тысяч раз превышает фоновые значения. Следует заметить, что водозабор питьевых вод в пос. Горный (Комсомольский район) производится из р. Силинки, а в пос. Кавалерово (Кавалеровский район) из р. Высокогорки, которые находятся в зоне непосредственного влияния горнопромышленной техногенной системы.

Активность гипергенных и техногенных процессов в горнопромышленной техногенной системе высока. В ней из рудничных вод повсеместно отмечается техногенное минералообразование. Рудничные воды имеют величину рН 2–3, а шламовые, дренажные и даже речные — 4,5. Рудничные и дренажные воды, круглосуточно ничем не сдерживаемые и совершенно не очищаемые, попадают в поверхностные и грунтовые воды. За более чем полувековое развитие горнорудной промышленности в этих районах произошло изменение гидрохимического фона. Так как активность гипергенных процессов велика (например, пирит может окисляться до 800 лет [8]), то ожидать в ближайшие десятилетия уменьшения активности гипергенных процессов и улучшения экологической ситуации в Приморье и Приамурье не приходится.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют утверждать, что отходы оловорудного производства являются мощным негативным источником интенсивного воздействия на окружающую среду, а гипергенные и техногенные процессы еще более усиливают их влияние и способствуют деградации компонентов природной среды.

Для оздоровления окружающей среды в горняцких поселках требуется разработать стратегию экологической безопасности освоения недр, а также программу, предусматривающую повышение уровня экологических требований к вновь осваиваемым техногенным месторождениям (отходам переработки оловорудного сырья). Это позволит осуществить мероприятия, предполагающие санацию природных объектов, пострадавших от негативного воздействия горнопромышленного производства, и провести рекультивацию природной среды. Необходимы создание системы постоянного контроля за состоянием среды территории проживания населения и организация горноэкологического мониторинга. Несомненно, развитие нормативно-правовой базы регулирования природопользования, а также ужесточение контроля в области охраны окружающей среды являются важным условием решения экологических проблем освоения оловорудного сырья.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (02.740.11.0689) и Интеграционного проекта ДВО РАН (09–II–СО–08–008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д.** Мониторинг загрязнения снежного покрова. — Л.: ГИМИЗ, 1985. — 214 с.
2. **Горовая А. И., Климкина И. И.** Использование цитогенетического тестирования для оценки экологической ситуации и эффективности оздоровления детей и взрослых природными адаптогенами // Цитология и генетика. — 2002. — Т. 36, № 5. — С. 21–25.
3. **Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М.** Биология почв. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. — 447 с.
4. **Черных Н. А., Сидоренко С. Н.** Экологический мониторинг в биосфере. — М.: Изд-во РУНД, 2003. — 430 с.
5. **Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Бурцев Л. И.** Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. — М.: Научтехлитиздат, 2003.— 324 с.
6. **Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Крупская Л. Т., Ионкин К. В.** Основные направления решения экологических проблем минерально-сырьевого комплекса в Дальневосточном регионе // Геоэкология. — 2009. — № 6. — С. 483–489.
7. **Зверева В. П.** Экологические последствия гипергенных процессов на оловорудных месторождениях Дальнего Востока. — Владивосток: Дальнаука, 2008. — 166 с.
8. **Бортникова С. Б.** Геохимия тяжелых металлов в техногенных системах (вопросы формирования, развития и взаимодействия с компонентами экосферы): Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. — Новосибирск, 2001. — 48 с.
9. **Голубев В. С.** Устойчивое развитие: новая парадигма // Вестн. РАН. — 1997. — № 12. — С. 1104–1107.
10. **Саксин Б. Г., Крупская Л. Т., Бубнова М. Б.** Прогноз экологического риска горного производства: концептуальное направление, картографическое выражение // Экологический риск: анализ, оценка, прогноз: Материалы Всерос. конференции.— Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 1998. — С. 13–14.
11. **Крупская Л. Т., Новороцкая А. Г., Крупский А. В.** Геоэкологическая оценка состояния объектов окружающей среды в зоне влияния хвостохранилища ОАО «Солнечный ГОК» // Проблемы регион. экологии. — 2010. — № 2. — С. 29–33.
12. **Борисова В. Н., Бакшеева Л. К., Гетьман Т. А., Ефимов Н. Н.** Комплексная оценка состояния окружающей среды в процессе проведения геологоразведочных работ и эксплуатации месторождений // Современные проблемы природопользования (региональные аспекты). — Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 1987. — С. 104–110.
13. **Зверева В. П.** Техногенные воды оловорудных месторождений ДВ // Геоэкология.— 2007. — № 1.— С. 51–56.
14. **Растанина Н. К., Крупская Л. Т.** О роли экологических факторов в изучении здоровья населения горняцких поселков на юге Дальнего Востока // Экология и промышленность. — 2008. — Декабрь. — С. 56–57.
15. **Ивашов П. В.** Ландшафтно-геохимические исследования на базальтовых массивах. — Владивосток: Дальнаука, 2003. — 323 с.

Поступила в редакцию 25 мая 2011 г.