

ОПАСНОСТЬ ОТХОДОВ, НАКОПЛЕННЫХ ГОРНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ, ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ РИСКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАТАСТРОФ*

Аннотация. Изложены результаты длительных экспериментальных исследований проблемы экологической опасности горнопромышленных отходов для экосистем Дальневосточного федерального округа. Цель работы заключается в создании научных основ комплексной оценки влияния на экосферу отходов переработки оловорудного сырья горных предприятий для разработки методологии практических мероприятий по улучшению экологической ситуации в районе исследования. Установлена высокая экологическая токсичность отходов переработки оловорудного сырья, которая, несомненно, может способствовать загрязнению объектов окружающей среды. Об этом свидетельствуют показатели кислотности отходов (рН 4–5), определяющие большую подвижность металлов. Экспериментальные исследования в границах влияния хвостохранилища свидетельствуют о глубоком вовлечении в геохимический круговорот токсичных химических элементов, содержащихся в его отходах. На основе комплексной оценки влияния отходов на экосистемы предложены мероприятия и способы по обеспечению экологической и социальной их безопасности, новизна которых подтверждена патентами РФ.

Ключевые слова: окружающая среда, экологическая опасность, хвостохранилище, горнопромышленные отходы, экосистемы.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-102-112

Введение

Интенсивное развитие экономики из-за неуклонного роста научно-технического прогресса влечет за собой неизбежное увеличение потребления минерального сырья. В этой связи увеличение объемов добычи полезных ископаемых в течение последнего столетия, резкая активизация освоения человечеством земных недр способствовали накоплению горнопромышленных отходов и техногенному загрязнению экосистем. И, несмотря на очевидную пользу горно-

добывающей деятельности во благо человека, она, с другой стороны, является также мощным источником экологической опасности для окружающей среды и человека. Известно, что многие, содержащиеся в отходах переработки, химические элементы, кроме промышленной ценности, характеризуются также и различной степенью токсического воздействия на биосферу — растительность и живые организмы, включая и человека. Они, попадая в организм животных и человека с пищей, водой и воздухом,

* Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №15-17-10016), ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет».

являются причиной многих заболеваний, функциональных расстройств и, даже, смерти.

Экологическая ситуация значительно ухудшилась в связи с тем, что после развала СССР в конце прошлого столетия многие крупные оловорудные горные предприятия не справились с экономическими трудностями переходного периода и прекратили свою деятельность.

К сожалению, содержащие большое количество токсичных отходов, складированных в хвостохранилища, остались бесконтрольными, консервация и рекультивация которых не была проведена. Произошло интенсивное загрязнение компонентов биосферы, связанное с длительным их воздействием на окружающую среду. Усиление техногенного воздействия на среду обитания обусловило напряженную экологическую обстановку в окрестностях горнодобывающих предприятий Дальневосточном федеральном округе (ДФО), что очевидно способствовало возникновению экологически обусловленных заболеваний населения горняцких поселков. В связи с этим целью исследования явилось создание научных основ комплексной оценки влияния на экосферу отходов переработки оловорудного сырья горных предприятий для разработки методологии практических мероприятий по улучшению экологической ситуации в районе исследования для снижения риска экологических катастроф.

Исходя из цели исследования, определены следующие задачи:

1. Проанализировать, обобщить и систематизировать литературные источники и материалы патентного поиска по названной проблеме;

2. Изучить хвостохранилища как реальные объекты потенциальной угрозы экологических катастроф;

3. Комплексно оценить влияние токсичных отходов переработки оловоруд-

ного сырья на объекты окружающей среды;

4. Предложить мероприятия по снижению риска техногенных катастроф.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования явились природно-горнопромышленные техногенные системы, сформировавшиеся в процессе освоения оловорудного сырья горными предприятиями «Дальполиметалл» и закрытым «Хрустальненским ГОКом».

В их состав входят отходы обогащения, складированные в хвостохранилища в виде пульпы, вскрышные отвалы, отвалы некондиционных руд и пустых пород, также объекты окружающей среды.

В процессе исследования использовались современные инструментальные, традиционные физико-химические и биологические методы, а также атомно-эмиссионной спектроскопии, картографического моделирования, научного прогнозирования, систематизации и научной классификации, районирования (металлогеническое, ландшафтно-геохимическое), статистической обработки данных с использованием компьютерных программ.

Результаты и обсуждение

Анализ, обобщение и систематизации литературных данных и материалов патентного поиска по проблеме создания научных основ оценки современного состояния техногенной системы позволили сделать следующие выводы:

1. При освоении минерального сырья тяжелые металлы, поступившие в природные экосистемы из отходов переработки минерального сырья, активно вовлекаются в круговорот веществ и принимают участие в обменных процессах живых организмов. Мигрируя по пищевым цепям, они накапливаются в объектах природной среды [1—4] и пред-

ставляют собой угрозу для жизни человека [5–8];

2. Специфика биогеохимической ситуации в ландшафтах и экосистемах обуславливает поведение токсичных химических элементов в компонентах биосферы [9–11];

3. На современном этапе основные закономерности миграции загрязняющих веществ в объектах природной среды исследованы недостаточно;

4. Техногенная нагрузка на ландшафты, обусловленная негативным влиянием отходов переработки минерального сырья на состояние здоровья человека, способствует возникновению экологически обусловленных заболеваний [5–9].

Наиболее чувствительными к техногенному загрязнению являются дети, требующие особого внимания в решении комплексной проблемы «Техногенное загрязнение — Окружающая среда — Здоровье нации» для обеспечения экологической и социальной безопасности горнопромышленных отходов.

Оловосульфидные месторождения в Комсомольском, Кавалеровском и Дальнегорском районах Дальневосточного региона разрабатывались открытым и закрытым способами. В Комсомольском районе горнорудная промышленность существовала с 1957 по 2005 г. В районе имеется две фабрики и три хвостохранилища. Два из них осушены, а третье — частично закрыто шламовым озером. Хвостохранилища занимают площадь 80,8 га, а масса хвостов обогащения 41,5 млн т. Они состоят из (%): жильного кварца — 37,5, турмалина — 12,1, роговиково-осадочных пород — 45 и сульфидов (пирит, пирротин, арсенопирит, халькопирит, галенит и сфалерит) — 3,8. Они содержат следующие полезные компоненты (г/т): Sn — 0,2, Cu — 0,46, Zn — 0,094, Pb — 0,123, Ag — 1,227, Bi — 0,03, As — 0,629.

Объекты Кавалеровского района — это шесть рудников и четыре обогатительные фабрики, которые существовали с 1941 по 2001 г. В районе пять хвостохранилищ общей площадью 17,7 га, где накоплено 37,72 млн т хвостов обогащения, состоящих из: пирита, пирротина, галенита, сфалерита, арсенопирита, халькопирита, кварца, флюорита, турмалина, хлорита и других минералов. Количественный и полуколичественный спектральный анализы образцов показали, что содержание рудных элементов в них изменяется в следующих пределах (в процентах): Sn — 0,04–0,10; Cu — 0,0062–0,2600; Pb — 0,0039–0,0760; Zn — 0,08–1,00; As — 0,01–0,05; Ni — 0,0014–0,0033; Co — 0,0002–0,0009; Cr — 0,0019–0,0030; V — 0,0043–0,0100; Ag — 0,0003–0,0030; Ga — 0,0011–0,0016; B — 0,01–0,05; Bi — 0,0001–0,0003; Sr — до 0,01, Ca — до 0,1.

Оловосульфидные руды Краснореченского месторождения Дальнегорского района перерабатывались с 1956 по 1995 г. на одноименной обогатительной фабрике. Отходы обогащения складировались на старом и новом хвостохранилищах КОФ, площадью 300 тыс. м², а их масса 6,8 млн т. Минеральный состав хвостов обогащения представлен рудными минералами — пирротином, пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом и др. К числу нерудных минералов относятся кварц, кальцит, флюорит, хлорит и др. Химический состав хвостов (%): Zn — 0,27–0,29; Pb — 0,11–0,18; Cu — 0,01–0,03; Fe — 4,37–4,60; Ag — 5–6 (г/т).

Развитие горнорудной промышленности в рассматриваемых районах привело к появлению в них горнопромышленных техногенных систем, в которых в результате увеличения поверхности соприкосновения сульфидов с агентами выветривания (водой, кислородом, углекислым газом и т.д.) активизировались

гипергенные процессы. В их основе лежат реакции окисления и гидролиза. В результате формируются техногенные воды: рудничные, шламовые и дренажные.

В большинстве своем они высоко концентрированы и из них кристаллизуются техногенные минералы Cu, Pb, Zn, Fe и других элементов из класса оксидов и гидроксидов, сульфатов, карбонатов, арсенатов, силикатов и т.д. Техногенные минералы: халькантит, брошантит, познякит, роуволфит, вудвардит, глоккерит, гизингерит и другие отмечаются повсеместно в карьерах, на стенах и кровле в горных выработках (штольнях), на поверхности и бортах хвостохранилищ [12–13].

Нашими исследованиями подтверждена реальная эколого-геохимическая опасность, связанная с разработкой месторождения, и накопленными отходами горного производства (шламо- и хвостохранилищами, отвалами убогих руд и вскрышных пород). Именно отходы, часто представляющие собой мелко раздробленные высокодисперсные грунты, интенсивно окисляющиеся в зоне аэрации и содержащие остатки химических реагентов флотационного обогащения руд, являются источниками токсичных химических элементов и их соединений, загрязняющих окружающую природную среду. Хвосты (отходы) представлены тонкодисперсной массой серого цвета, иногда окрашены в коричневые цвета разных оттенков гидроксидами железа, которые образуются за счет окисления сульфидов. По результатам наших расчетов, класс опасности отходов закрытых горных предприятий «Солнечного (Хабаровский край) и Хрустальненского (Приморский край)» равен 2.

Детальное изучение специфики техногенных геохимических потоков, которые формируются вокруг хвостохранилища, позволило установить: идентичность геохимического спектра руд месторождений и формируемых техногенных потоков в

разных средах; соотношение сульфидов в рудах и вариации их состава определяют характер негативного воздействия на компоненты природной среды; влияние местных природных условий на дальность переноса химических элементов и на формирование вторичных источников загрязнения. Сульфиды в гипергенных условиях являются наиболее неустойчивыми и легко разрушаются, в результате чего образуются подвижные соли металлов и серной кислоты, способствующих химическому разрушению, как самих сульфидов, так и других минералов.

Несмотря на то, что закрыты горные предприятия, такие, например, как: «Солнечный ГОК», «Хрустальненский ГОК», в настоящее время (после их обанкрочивания) продолжает активизироваться формирование воздушных и водных техногенных геохимических потоков, которые, согласно общей модели миграции загрязняющих веществ с континента, имеют преобладающее направление перемещения по схеме: водораздел — денудационный речной бассейн — седиментационный морской бассейн. Наши исследования подтверждаются данными М.Б. Бубновой [14], свидетельствующими о том, что в бассейнах водосбора (денудации) миграция вещества происходит закономерно-направленно и субкоординатно природно-естественным механизмам, от высоких отметок к низким по сопряженным руслам водотоков и в соответствии с господствующим направлением ветров, их продолжительностью и интенсивностью.

Во многом определяется расположением хвостохранилища в бассейне водосбора характер, интенсивность и морфология загрязнения окружающей среды. Их расположение в приустьевой части бассейна является наиболее экологически благоприятным, а в приводораздельной части — худшим для окружающей среды в пределах данного

бассейна, поскольку в последнем случае роль площадного геохимического загрязнения намного больше [14].

Ниже дана характеристика формируемых техногенных потоков по данным В.П. Зверевой и др. [12–13], Л.Т. Крупской [8 и др.] и др.

Воздушные потоки. Очень мало выполнено работ, посвященных специальному изучению этого вопроса на примере горных предприятий цветной металлургии в ДФО. Установлено, что состояние воздуха вблизи этих объектов определяется содержанием пыли и аэрозольей в приземном слое атмосферы. 70% техногенной нагрузки в горнорудных районах принимают на себя почвы. Именно они занимают центральное место во взаимосвязях компонентов биосферы, способны накапливать информацию по современным и прошлым процессам техногенеза.

Содержание соединений тяжелых металлов в почвах пгт. Солнечный изменяется в следующих пределах (в %): Pb — 0,040–0,006, Zn — 0,073–0,085, Cu — 0,004–0,104, Cd до 0,0003, что превышает фоновые для Pb в 30–45, Cu в 5–50 и Cd в 30 раз и Zn в 10 раз.

Водные техногенные потоки в Комсомольском горнорудном районе изучены намного лучше, чем воздушные, поскольку результат этого вида загрязнения более очевиден.

Данные анализа по минеральному составу гипергенных и техногенных минералов показывают, что в границах влияния хвостохранилища бывшего горного предприятия «Солнечный ГОК» в природные воды привносятся следующие соединения тяжелых металлов: Zn, Cu, Sn, Pb, Mn, Fe, Ag, As, Co, Ni, Bi, Cr, Sb, Cd, W, B, Li, Sr, Al, Ca, Mg, K, Na, S, P, Si, Ga и Ge. К настоящему времени наиболее полная информация имеется по рудничным дренажным и шламовым водам оловорудных месторождений в работах В.П. Зверевой.

Проанализированные пробы дождевых и снежных осадков [12–13], а также растительности в оловорудном районе показали, что наиболее высокие поступления соединений тяжелых металлов связаны с начальной фазой морозящих осадков, в которых содержания Zn, Pb, Fe могут достигать 100–200 мкг/л, а Cu, Mn, Al — до 30–60 мкг/л.

Для техногенной геосистемы содержание Pb в водах местного стока в 2,5 раза выше, чем в фоновых условиях, Al — в 3 раза, а остальных металлов (Cu, Cd, Zn, Fe, V, Ti) — в 1,5–1,8 раза. Увеличение концентрации соединений тяжелых металлов в водах местного стока указывает на явно выраженное техногенное влияние, хотя концентрация соединений тяжелых металлов невысока. Рудничные и шламовые воды, в том числе и исследуемого оловорудного месторождения, обогащены как главными (Sn, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, Al и т.д.), так и редкими элементами (As, Sb, Cd, In, Sr и т.д.).

На основе анализа собственных материалов, а также систематизации литературных данных по вопросам детального изучения закономерностей миграции химических элементов от отходов сформулированы следующие концептуальные положения:

- геохимическое техногенное загрязнение различных компонентов природной среды от хвостохранилища, по площади всегда больше, чем любые другие ее нарушения (особенно это справедливо по отношению к региональным, длительно существующим во времени, природно-горнопромышленным системам);
- морфология зон негативного воздействия зависит от способа отработки месторождения и местных условий (рельефа, лесистости, водного режима, преобладающего направления ветров и т.п.);
- масштабы воздействия закрытых горных предприятий «Солнечный ГОК»,

«Хрустальненский ГОК» и др. в основном определяются методами, объемами и способами разработки в прошлом конкретного месторождения или их группы, составом руд и горных пород, технологией их добычи, обогащения и переработки, а также спецификой природных условий, в т.ч. способностью почв к самоочищению;

- на месторождениях цветных металлов определяют состав и соотношение сульфидных минералов масштабы, скорость и характер химического загрязнения компонентов окружающей среды при эксплуатации данных объектов.

При выполнении площадных исследований в качестве объектов опробования использовались почвы, донные осадки и поверхностные воды. Эти же объекты опробовались при изучении техногенных потоков в горнорудных районах. С этих позиций выявилась следующая картина исследования техногенного загрязнения окружающей среды в границах влияния закрытых горных предприятий «Солнечный ГОК» и «Хрустальненский ГОК»:

1. Почвы являются основным объектом окружающей среды, депонирующим различные виды загрязнения и выполняющим при этом роль как буфера, так и детоксиканта;

2. Донные отложения местных водотоков, формирующихся в условиях активного водообмена, также обладают высокой способностью к накоплению многих соединений химических элементов. Их переход в осадок осуществляется механическим осаждением взвесей, отложением на дне водоемов обогащенных металлами органических осадков, соосаждением при выпадении солей и непосредственно сорбцией. Одной из главных особенностей воздействия хвостохранилища исследуемого района на характер миграции элементов в водных системах является резкое увеличение доли взвешенных форм;

3. Формирование контрастных и протяженных литохимических потоков рассеяния рудных и сопутствующих им химических элементов в донных отложениях являются особенностью водной миграции в горнопромышленных районах. Переход химических элементов в водные потоки обусловлен природно-климатическими особенностями ДФО с характерным для этого региона влажным муссонным климатом. Важное значение имеют температурные контрасты, предопределяющие усиление процессов окисления сульфидных руд в зоне гипергенеза и формирование ионных растворов металлов.

Комплексная оценка влияния отходов на объекты окружающей среды (воздушный бассейн, снежный покров, почвы, растительность, поверхностные и подземные воды) позволила сделать вывод о том, что экологическое состояние в границах хвостохранилищ оценивается как критическое на расстоянии 7–8 км от них, не удовлетворительное — 12–13 км и частично удовлетворительное — 20–22 км. Выявлено, что содержание соединений тяжелых металлов и мышьяка превышает фоновые показатели от 2 до 45 раз не только в воде, донных отложениях, снежном покрове, но и в почвогрунтах (как валовая, так и подвижна форма) и растениях. Причем самые высокие их концентрации обнаружены в объектах окружающей среды вблизи хвостохранилищ (до 7–8 км). Суммарный показатель загрязнения (Zс) оказался в пределах от 149 до 157, а коэффициент концентрации (Кс) в селитренной зоне (на расстоянии до 2–3 км от хвостохранилища) не соответствует допустимой категории загрязнения. По нашим исследованиям, экологическая система здесь сильно нарушена, период ее восстановления не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия.

Очевидно, что горнопромышленные системы, и протекающие в них гипергенные и техногенные процессы приводят к загрязнению всех природных составляющих: воздуха, почвы, воды и живых организмов, включая человека. Изучение этих процессов было выполнено с помощью программного комплекса «Селектор-Windows», разработанного в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск), который основан на термодинамическом методе с расчетом равновесного состава растворов и твердых фаз — гипергенных и техногенных минералов, образующихся при окислении сульфидных руд в горных выработках и хвостах обогащения. Моделирование проводилось в интервале температур от -25 до $+45$ °C при разных соотношениях в системе сульфидов: пирита, пирротина, халькопирита, арсенопирита, галенита и сфалерита с учетом минералов зоны цементации (Cu самородная, ковеллин, борнит и халькозин). Соотношение между сульфидами и вмещающими породами в хвостах обогащения: 5:95, 10:90, 20:80, 40:60, 60:80 и 80:20.

Моделирование процессов окисления хвостов обогащения в Комсомольском районе показало, что Eh-pH параметры систем изменяются от 0,75 до 1,1 В и 1,32—8,04. Установлено, что из высококонцентрированных растворов кристаллизуются: минералы Fe и Al из класса оксидов и гидроксидов (гетит и гиббсит), сульфаты Cu, Fe, Pb, K, Al, Ca (антлерит, ктенасит, вудвардит, фиброферрит, плюмбоярозит, ярозит, алуноген, и гипс), арсенаты Fe, Cu и Pb (питтицит, скородит, оливинит, дюфтит, клиноклаз и байлдонит), карбонаты Ca, Mg, Fe, Zn (кальцит, магнезит, сидерит и смитсонит), фосфат Fe — вивианит, силикаты Al, Na, Fe (аллофан и нонтронит). Арсенат Fe (скородит), а также Cu и Pb (байлдонит) выпадают только при температуре ниже 0 °C. При

моделировании процессов окисления сульфидов в хвостах обогащения с учетом минералов зоны цементации Eh-pH параметры систем изменяются от 0,75 до 1,1 В и 1,3—8,0. В них отмечаются минералы Fe и Al из классов оксидов и гидроксидов (гетит, гиббсит), сульфаты Cu, Fe, Pb, Al, Mg, Ca (халькантит, вудвардит, англезит, фиброферрит, алуноген, старкеит, гипс) карбонаты Ca, Mg, Zn (кальцит, магнезит, смитсонит), арсенаты Cu, Pb (оливинит, байлдонит), силикаты Na, Al, Fe (аллофан и нонтронит). Сульфаты Mg и Cu (старкеит и халькантит) выпадают только при температуре ниже 0 °C, а Pb (англезит) — выше [12—13].

Окисление сульфидной составляющей хвостов обогащения хвостохранилищ Кавалеровского района приводит к формированию растворов с Eh-pH параметрами от 0,42 до 1,0 В и 2,7—13,3. Из моделируемых растворов кристаллизуются минералы: Fe, Cu, Pb, Ca, Al и Mg из класса оксидов и гидроксидов, сульфатов, карбонатов, арсенатов и силикатов (гетит, тенорит, фиброферрит, алуноген, вудвардит, англезит, гипс, магнезит, дюфтит, байлдонит, аллофан и монтмориллонит), а Zn полностью переходит в раствор. Исключение из моделируемых систем арсенопирита приводит к кристаллизации техногенных сульфатов Cu (антлерита, познякита и роуволфита), в системах без пирита, сфалерита, пирротина и галенита выпадают арсенаты Cu (оливинит, дюфтит и байлдонит), причем оливинит — только в отсутствии двух последних сульфидов, а сульфат Pb — англезит отмечается в моделях исключаящих пирит, сфалерит, арсено- и халькопирит [4—6].

Окисление сульфидной составляющей хвостов Краснореченской обогатительной фабрики Дальнегорского района Приморского края способствует формированию растворов с Eh-pH параметрами в интервале от 0,98 до 0,6 В и

3,7—9,7, из которых кристаллизуются гипергенные минералы Fe, Pb, Zn, Sb и Ca из классов сульфатов, оксидов и гидроксидов (фиброферрит, плюмбоярозит, англезит, адамин, гипс, гетит, гидрогетит и валентинит) [12—13].

Характеристики моделируемых систем показали, что в результате техногенеза формируются высококонцентрированные растворы, содержащие как элементы сульфидных руд (Fe, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Ag и S), так и вмещающих их пород (K, Na, Ca, Mg, Al, Si и др.), которые до и после выпадения из них техногенных минералов (общей массой до 233 г) попадают в поверхностные и грунтовые воды района и негативно на них воздействуют. Превышение фоновых показателей в них достигает десятков тысяч раз, что хорошо верифицируется данными по изучению гидрохимических проб техногенных вод в рассматриваемых районах [12—13].

Таким образом, основным источником загрязнения объектов окружающей среды исследуемых районов являются отходы хвостохранилищ закрытых горных предприятий «Солнечного и Хрустальненского ГОКов» и действующего —

«Дальполиметалл», потому что в них накоплено огромное количество токсичных химических элементов. Они, несомненно, оказывают негативное влияние на экосферу и человека.

На основе проведенных исследований разработаны способы снижения отрицательного влияния токсичных отходов на объекты окружающей среды, новизна которых подтверждена Патентами РФ [15—18 и др.]. Подготовлены рекомендации по снижению риска экологических катастроф на закрытых горных предприятиях ДФО.

Заключение

Результаты исследования свидетельствуют о том, что большую опасность для окружающей среды и человека представляют токсичные отходы переработки оловорудного сырья, накопленных в хвостохранилищах как закрытыми, так и действующим горными предприятиями в Дальневосточном федеральном округе.

Предложены мероприятия и способы по снижению риска экологических катастроф в исследуемом районе, новизна которых подтверждена Патентами РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П. Устойчивость биологических сообществ и экологическая безопасность технологий освоения земных недр // Горный вестник. — 1998. — № 5. — С. 3—9.
2. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. — М.: Недра, 1972. — 288 с.
3. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Бурцев Л. И. Охрана окружающей среды при освоении недр // Вестник РАН. — 1998. — Т. 68. — № 7. — С. 629—637.
4. Nedialkov S., Baeva R., Bratanova S. Dendrochronological methods to establish the dynamics of heavy metals accumulation in trees // Regional Resource Management: Collaborative Paper / Ed. L. Kairinkstis; ASA. Laxenburg (Austria), 1986, vol. 1, pp. 245—251.
5. Крупская Л. Т., Растинина Н. К. Оценка риска для здоровья населения, связанного с загрязнением атмосферного воздуха в районе хвостохранилища ЦОФ Солнечного ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — ОВ 15. — С. 318—323.
6. Крупская Л. Т. Охрана и рациональное использование земель на горных предприятиях Приамурья и Приморья. — Хабаровск: Приамур. рус. геогр. о-во, ИГД ДВО РАН, 1992. — 175 с.
7. Крупская Л. Т., Саксин Б. Г., Бубнова М. Б. Прогноз экологического риска горного производства: концептуальное направление, картографическое выражение / Экологический риск: анализ, оценка, прогноз. Материалы Всероссийской конференции. — Иркутск, 1998. — С. 13—14.

8. Крупская Л. Т., Зверева В. П., Бубнова М. Б., Чумаченко Е. А., Голубев Д. А. Особенности экологического мониторинга изменения экосистем под воздействием отходов золото- и оловодобычи в Дальневосточном федеральном округе // Экологическая химия. — 2014. — № 3. — С. 125—134.

9. Елпатьевский П. В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. — М.: Наука, 1993. — 252 с.

10. Елпатьевский П. В., Аржанова В. С., Власов А. В. Миграция тяжелых металлов в растворах аномальной техногеосистемы // Известия АН СССР. Серия географическая. — 1983. — № 2. — С. 42—50.

11. Siccama T. G., Smith W. H. Lead accumulation in a northern hardwood forests. Environ. Sci. And Technol., 1978, vol. 12, 5. Pp. 593—594.

12. Zvereva V. P., Krupskaya L. T. Rare Earth Elements in Mine, Slime, and River Waters in the Kavalеровskii and Dalnegorsk Districts of the Russian Far East // Russian Journal of General Chemistry, 2015a, Vol. 85, No. 13, pp. 2867—2873.

13. Zvereva V. P., Pyatakov A. D., Kostina A. M., Lysenk A. I., Frolov K. R. Physico-Chemical Parameters of the Formation of Supergene and Technogenic Minerals in the Mining Technogenic Systems of Russian Far East // Russian Journal of General Chemistry, 2015b, Vol. 85, No. 13, pp. 2956—2960.

14. Бубнова М. Б., Саксин Б. Г. Мониторинг природно-горнотехнических систем регионального уровня — актуальная задача для территорий с сырьевым профилем экономики // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — Об 15. — С. 205—213.

15. Крупская Л. Т., Кириенко О. А., Майорова О. А., Голубев Д. А., Огищенко М. С. Патент РФ № 2569582. Способ рекультивации поверхности хвостохранилища, содержащего токсичные отходы с использованием фототрофных бактерий. Заявка № 2014133339/13 от 12.08.2014. Оpubл. 27.11.2015. Бюл. № 33. МПК В 09 С 1/00, А 01 В 79/02.

16. Крупская Л. Т., Майорова Л. П., Орлов А. М., Зверева В. П., Изотов Д. В., Морин В. А., Леоненко А. В., Голубев Д. А. Патент РФ 2486733. Способ рекультивации земель, нарушенных токсичными отходами, складированными в хвостохранилище, в условиях муссонного климата. 2013. Заявка № 2011145846 от 10.07.2013. МПК А01 В 79/02, В 09 С 1/00. Оpubл. 10.07.2013. Бюл. № 19.

17. Андроханов В. А., Крупская Л. Т., Беланов И. П. Патент РФ № 2628581. Способ закрепления поверхности хвостохранилища. Заявка № 20161500344 от 20.12. 2016. Оpubл. 21.08.2017, бюл. № 24. МПК В0 9С 1/08.

18. Шевкун Е. Б., Гула К. Е., Крупская Л. Т., Майорова Л. П., Зверева В. П. Патент РФ № 2504519. Способ биологической доочистки сточных вод и система для его осуществления: Заявка № 2012146102 от 29.10.2012, опубл. 20.01.2014, Бюлл. № 2. МПК С0 2F 3/32, С0 2F 11/02. **ПАТ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Крупская Людмила Тимофеевна^{1,2} — доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: ecologiya2010@yandex.ru,

Мелконян Рубен Гарегинович — доктор технических наук, профессор, e-mail: mrg-kanazit@mail.ru, МГИ НИТУ «МИСиС»,

Зверева Валентина Павловна — доктор геолого-минералогических наук, профессор, Дальневосточный федеральный университет, главный научный сотрудник,

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН,

Растанина Наталья Константиновна¹ — кандидат биологических наук, доцент, e-mail: n.rastanina@yandex.ru,

Голубев Дмитрий Андреевич^{1,2} — преподаватель, научный сотрудник,

Филатова Мария Юрьевна^{1,2} — аспирант, младший научный сотрудник,

¹ Тихоокеанский государственный университет,

² Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства.

Ecological hazard of accumulated mining waste and recommendations on risk reduction in the Far Eastern Federal District

Krupskaya L.T.^{1,2}, Doctor of Biological Sciences, Professor,
Chief Researcher, e-mail: ecologya2010@yandex.ru,

Melkonyan R.G., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: mrg-kanazit@mail.ru,

Zvereva V.P., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Far East Federal University, 600091, Vladivostok, Russia,
Chief Researcher, Far Eastern Geological Institute,

Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, 680022, Vladivostok, Russia,

Rastanina N.K.¹, Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor,
e-mail: n.rastanina@yandex.ru,

Golubev D.A.^{1,2}, Lecturer, Researcher,

Filatova M.Yu.^{1,2}, Graduate Student, Junior Researcher,

¹ Pacific National University, 680035, Khabarovsk, Russia,

² Far Eastern Research Institute of Forestry, 680020, Khabarovsk, Russia.

Abstract. The article presents the results of the long-term experimental studies into the ecological hazard of accumulated mining waste in the Far Eastern Federal District. The studies are aimed to develop a scientific framework for the integrated assessment of influence exerted by tin mining and processing waste on ecosystem towards elaboration of practical procedures on improvement of ecological situation in the studied region. It is found that tin processing waste is highly toxic, which undoubtedly contributes to contamination of the environment. This inference is backed with the acid value of the waste (pH 4–5), which governs extensive mobility of metals. The experimental studies carried out within the limits of influence zone of a tailings pond prove deep involvement of toxic chemical elements from waste in the geochemical circulation. Based on the integrated assessment of influence exerted by mining and processing waste on ecosystems, the methods and means towards ecological and social safety are proposed, and their novelty is proved by the Russian Federation patent.

Key words: environment, ecological hazard, tailings pond, mining waste, ecosystems.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-102-112

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 15-17-10016, and by the Pacific State University.

REFERENCES

1. Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P. Ustoychivost' biologicheskikh soobshchestv i ekologicheskaya bezopasnost' tekhnologiy osvoeniya zemnykh nedr [Stability of biocommunities and environmental safety of subsoil management technologies]. *Gornyy vestnik*. 1998, no 5, pp. 3–9.
2. Perel'man A.I. *Geokhimiya elementov v zone gipergeneza* [Geochemistry of elements in the zone of hypergenesis], Moscow, Nedra, 1972, 288 p.
3. Trubetskoy K.N., Galchenko Yr.P., Burtsev L.I. Okhrana okruzhayushchey sredy pri osvoenii nedr [Environmental protection in subsoil management], *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*. 1998. Vol. 68, no 7, pp. 629–637.
4. Nedialkov S., Baeva R., Bratanova S. Dendrochronological methods to establish the dynamics of heavy metals accumulation in trees. *Regional Resource Management: Colaborative Paper*. Ed. L. Kairinkstis; ASA. Laxenburg (Austria), 1986, vol. 1, pp. 245–251.
5. Krupskaya L.T., Rastanina N.K. Otsenka riska dlya zdorov'ya naseleniya, svyazannogo s zagryazneniem atmosfernogo vozdukh v rayone khvostokhranilishcha TSOF Solnechnogo GOKa [Estimation of health risk due to air contamination in the area of tailings ponds at the Central Processing Factor of Solnechny Mining and Processing Works], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2007. Special edition 15, pp. 318–323.
6. Krupskaya L.T. *Okhrana i ratsional'noe ispol'zovanie zemel' na gornykh predpriyatiyakh Priamur'ya i Primor'ya* [Protection and efficient use of land by mining companies in the Priamurye and Primorye territories], Khabarovsk, Priamur. rus. geogr. o-vo, IGD DVO RAN, 1992, 175 p.

7. Krupskaya L. T., Saksin B. G., Bubnova M. B. Prognoz ekologicheskogo riska gornogo proizvodstva: kontseptual'noe napravlenie, kartograficheskoe vyrazhenie [Prediction of ecological risk of mining: Concept, cartographic representation], *Ekologicheskii risk: analiz, otsenka, prognoz. Materialy Vserossiyskoy konferentsii*. Irkutsk, 1998, pp. 13–14.

8. Krupskaya L. T., Zvereva V. P., Bubnova M. B., Chumachenko E. A., Golubev D. A. Osobennosti ekologicheskogo monitoringa izmeneniya ekosistem pod vozdeystviem otkhodov zloto- i olovodobychi v Dal'nevostochnom federal'nom okruge [Features of ecological monitoring of ecosystem alteration under impact of gold and tin mining waste in the Far Eastern Federal District]. *Ekologicheskaya khimiya*. 2014, vol. 23, no 3, pp. 125–134.

9. Elpat'evskiy P. V. *Geokhimiya migratsionnykh potokov v prirodnykh i prirodno-tekhnogennykh geosistemakh* [Geochemistry of migration flows in natural and nature-and-mine systems], Moscow, Nauka, 1993, 252 p.

10. Elpat'evskiy P. V., Arzhanova V. S., Vlasov A. V. Migratsiya tyazhelykh metallov v rastvorakh anomal'noy tekhnogeosistemy [Migration of heavy metals in solutions of an abnormal techno-geo-system], *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya*. 1983, no 2, pp. 42–50.

11. Siccama T. G., Smith W. H. Lead accumulation in a northern hardwood forests. *Environ. Sci. And Technol.*, 1978, vol. 12, 5. Pp. 593–594.

12. Zvereva V. P., Krupskaya L. T. Rare Earth Elements in Mine, Slime, and River Waters in the Kavalerovskii and Dalnegorsk Districts of the Russian Far East. *Russian Journal of General Chemistry*, 2015a, Vol. 85, No. 13, pp. 2867–2873.

13. Zvereva V. P., Pyatkov A. D., Kostina A. M., Lysenk A. I., Frolov K. R. Physico-Chemical Parameters of the Formation of Supergene and Technogenic Minerals in the Mining Technogenic Systems of Russian Far East. *Russian Journal of General Chemistry*, 2015b, Vol. 85, No. 13, pp. 2956–2960.

14. Bubnova M. B., Saksin B. G. *Monitoring prirodno-gornotekhnicheskikh sistem regional'nogo urovnya – aktual'naya zadacha dlya territorii s syr'evym profilem ekonomiki* [Monitoring regional nature-and-mine systems is an urgent objective in the territories with the mineral-driven economy], *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2007. Special edition 15, pp. 205–213. [In Russ].

15. Krupskaya L. T., Kirienko O. A., Mayorova O. A., Golubev D. A., Ogishchenko M. S. *Patent RU 2569582*, 27.11.2015.

16. Krupskaya L. T., Mayorova L. P., Orlov A. M., Zvereva V. P., Izotov D. V., Morin V. A., Leonenko A. V., Golubev D. A. *Patent RU 2486733*, 10.07.2013.

17. Androkhonov V. A., Krupskaya L. T., Belanov I. P. *Patent RU 2628581*, 21.08.2017.

18. Shevkun E. B., Gula K. E., Krupskaya L. T., Mayorova L. P., Zvereva V. P. *Patent RU 2504519*, 20.01.2014.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЫРЬЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ, НЕ ДОМИНИРУЮЩИХ НА РЫНКЕ ВТОРИЧНЫХ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ (№ 1162/12–18 от 24.09.2018, 8 с.)

Кружкова Галина Викторовна – старший преподаватель, e-mail: galkrzhkova@mail.ru, НИТУ «МИСиС».

Рассмотрен экономический механизм обеспечения ресурсами предприятия вторичной металлургии. Для построения обобщенного показателя эффективности используется функция желательности Харрингтона. Корректировка закупочных цен велась последовательно, учитывая состав предлагаемого сырья, финансовые возможности предприятия. Предложена схема формирования оплаты поставок электронного лома для предприятия, использующего технологическую схему комплексной переработки сырья, учитывающая особенности состава лома, ситуацию на рынке и изменение цены на золото.

Ключевые слова: электронный лом, экономический механизм, функция желательности Харрингтона, комплексная переработка сырья, алгоритм формирования оплаты.

ECONOMIC MECHANISM OF PROVIDING RAW MATERIALS OF ENTERPRISES IS NOT DOMINANT IN THE MARKET OF SECONDARY PRECIOUS METALS

Krzhkova G. V., Senior Lecturer, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

The economic mechanism of providing with resources of the enterprise of secondary metallurgy which. To build a generalized indicator of the efficiency of function of desirability of Harrington. Adjustment of purchase prices is carried out consistently, taking into account the composition of the proposed raw materials, financial capabilities of the enterprise. The scheme of formation of payment for the supply of electronic scrap for secondary metallurgy, using the technological scheme of complex processing of raw materials, taking into account the peculiarities of the scrap, the situation in the market and the change in the price of gold.

Key words: electronic scrap, economic mechanism, the function of desirability Harrington, complex processing of raw materials, the algorithm of formation of payment.