

УДК 553.41:553.065

И.В. Кемкин, Р.А. Кемкина

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ БИОСФЕРЫ ТОКСИЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА СТАДИИ РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: МЕТОДЫ И ВОЗМОЖНОСТИ

*Рассматриваются вопросы комплексного использования минералогических и геохимических методов исследования руд разведываемых месторождений и математического моделирования поведения рудных минералов в зоне гипергенеза для качественной и количественной оценки потенциальной экологической угрозы загрязнения токсичными элементами, что является одним из аспектов снижения риска техногенных катастроф, связанных с горнодобывающей деятельностью человека.
Ключевые слова: геоэкология, токсичные элементы, рудные месторождения.*

Неуклонный рост научно-технического прогресса влечет за собой неизбежное увеличение потребления минерального сырья. В этой связи в течение последнего столетия быстрыми темпами происходило масштабное развитие горной промышленности и рост объемов добычи полезных ископаемых. Вместе с тем, несмотря на очевидную пользу горнодобывающей деятельности во благо человечества, она, с другой стороны, является также и мощным источником экологической опасности для окружающей среды. Известно, что многие химические элементы, кроме промышленной ценности, характеризуются также и различной степенью токсического воздействия на биосферу, включая и человека, и животных и растительный мир [14]. Попадая в организм человека и животных с пищей, водой и воздухом, такие элементы являются причиной многих заболеваний, функциональных расстройств и, даже, смерти. Порой последствия токсического воздействия проявляются в следующем поколении. В настоящее время выделено несколько

различных групп или «рядов опасности» химических элементов по степени их токсичности. В основу одних [2] положено среднее их содержание в миллиграммах на килограмм живого веса, приводящее к гибели (т.е. смертельная доза). В других разделении на классы произведено в зависимости от характера и тяжести причиняемого организму вреда [3, 17]. В третьих, в качестве определяющего фактора приняты значения предельно допустимых концентраций в воде [6], в продуктах [18] и т.д. В соответствии с этими классификациями к числу наиболее опасных (токсичных) элементов сегодня относятся: свинец, кадмий, ртуть, мышьяк, хром, сурьма, висмут, медь, молибден, марганец, олово, теллур, вольфрам, кобальт, никель, селен, цинк, ванадий, барий, галлий, таллий, индий, германий, алюминий и ряд других.

Негативное воздействие горнодобывающей промышленности на окружающую среду проявляется в том, что в результате ее деятельности на поверхности Земли остаются многочисленные заброшенные карьеры, кана-

вы, расчистки, отвалы горных пород и некондиционных руд у штолен и отходы горнорудного производства (хвосты), складированные на хвостохранилищах. Все это приводит к формированию горнопромышленных техногенных систем, в пределах которых в результате гипергенных процессов происходит преобразование первичных минеральных веществ и высвобождение токсичных элементов и их соединений. Очевидно, что неустойчивая часть рудного вещества, оказавшись на земной поверхности подвергается окислению, растворению, преобразованию в другие минеральные формы и водные растворы, что существенно влияет на экологическую обстановку в прилегающих к месторождению территориях. Наиболее интенсивно эти процессы осуществляются при открытом способе добычи полезных ископаемых, когда забалансовые руды и минерализованные вскрышные породы в огромных количествах складированы на поверхности, превращаясь в мощный источник загрязнения почв и воды на десятки и сотни лет. Накапливающаяся в теле отвала атмосферная влага превращается в насыщенную металлами серную кислоту, которая, просачиваясь в виде дренажных вод, попадает в подстилающие отвалы почвы, грунтовые воды и далее в ручьи и реки.

В этой связи проблема оценки воздействия на окружающую среду и здоровье человека неустойчивой части минерального сырья в процессе отработки месторождений весьма актуальна, так как рудные месторождения представляют собой природные геохимические аномалии, являющиеся потенциальными и реальными источниками токсичных элементов. Однако вопросы, касающиеся методики оценки и прогноза экологической опасно-

сти техногенных рудно-породных систем пока еще остаются исследованными недостаточно.

Методы определения потенциальных загрязнителей окружающей среды

Несомненно, что минералогические исследования (детальное изучение вещественного состава руд) могут уже на ранних стадиях изучения месторождений способствовать определению важнейших качественных и технологических показателей руд (что важно для выбора технологии добычи и обогащения) и определению круга потенциальных токсичных элементов, содержащихся в них. Эта информация может быть получена в результате изучения особенностей состава и строения руд, и слагающих их отдельных минералов. Для руд, характеризующихся несложным минеральным составом, достаточно использовать традиционные методы минералогических исследований, основанных на выявлении физических, химических и оптических свойств минералов в образцах, прозрачных и полированных шлифах под микроскопом, а также в шлихах и протолочках.

Однако, большинство рудных месторождений это многокомпонентные системы, характеризующиеся сложными по составу и строению рудами, представленными несколькими типами, включающими различные минеральные ассоциации, а также несколько поколений одних и тех же минералов. При этом часть минеральных фаз образует тонкодисперсные включения в других рудных минералах, не видимых в обычных оптических микроскопах. К тому же многие минеральные фазы содержат в виде изоморфных примесей многие химические элементы, не входящие в состав их теоретической кристаллохи-

мической формулы. Очевидно, что использование традиционных минералогических методов для определения минерального и химического состава руд, а, соответственно, и выявление круга потенциальных токсичных элементов в них недостаточно. Для этого необходимы дополнительные прецизионные исследования, включающие комплекс оптических и физических методов, как-то электронная микроскопия, микрозондовый и рентгеноструктурный анализы, ИК-спектроскопия и др.

Следовательно, проведя комплекс минералогических и физических методов исследований рудного вещества, еще на стадии изучения месторождения (до передачи его в промышленную отработку) становится возможным определить состав потенциальных экологически опасных элементов, содержащихся в его рудах. А зная основной промышленный компонент руд месторождения, можно качественно оценить какие из токсичных элементов окажутся в отвалах и хвостохранилищах.

Очевидно, что степень воздействия токсичных элементов на биосферу находится в прямой зависимости от их концентрации в воде, воздухе, почве и пище, а последняя (концентрация), соответственно, от скорости мобилизации этих элементов (т. е. их подвижности). Скорость же мобилизации химических элементов определяется как физической и химической устойчивостью содержащих их минеральных фаз, так и формой нахождения их в рудах — собственные минералы, минеральные включения в других минералах или изоморфная примесь [16]. Например, такой токсичный элемент как теллур, находясь в минеральной фазе TeO_2 (теллурид) и (или) TeO_3 (теллуристый ангидрид), где его содержание составляет 80 % и 73 %

соответственно, характеризуется слабой подвижностью, поскольку данные минеральные фазы практически нерастворимы в воде, в кислотах и концентрированных щелочах. Вместе с тем, другая минеральная фаза теллура, например Bi_2SeTe_2 (селенсодержащий теллурид висмута), в условиях гипергенеза легко растворяется в воде с образованием теллурита (TeO_2) и ионов Bi^{+3} , BiO^+ , BiOH^{+2} , HSeO_3 , HBiO_2 , HTeO_3 , TeO_4^{-2} , что обуславливает высокую подвижность и висмута, и селена, и теллура.

В этой связи, для количественной оценки экологической опасности невогребованной части руд необходимо выяснить поведение рудных минералов в условиях гипергенеза применительно к тем климатическим условиям, где они складированы. Для месторождений, находящихся в стадии разработки, эта задача может быть решена детальными минералогическими исследованиями гипергенных (вторичных) минералов. Сопоставление данных химических составов гипогенных (первичных) и гипергенных минералов покажет, какие химические элементы мигрировали из техногенной системы в окружающую среду. Геохимический анализ дренажных вод, вытекающих из горных отвалов, хвостохранилищ, и почв, входящих в техногенную систему, позволит установить состав, ионные формы и концентрации токсичных элементов, выносимых в окружающую среду. Путем простых арифметических подсчетов, с учетом климатических особенностей районов складирования невогребованной части рудного вещества (главным образом среднегодовой нормой атмосферных осадков), нетрудно определить количества токсичных элементов, поступающих в природную среду и

оценить масштабы и степень экологической угрозы.

Для месторождений, находящихся в стадии разведки, эту задачу можно успешно решать с использованием методов математического моделирования физико-химических процессов преобразования исходных минеральных фаз и образования новых соединений, основанных на термодинамических расчетах химических реакций минералообразования в условиях стремления системы к физико-химическому равновесию. Известно, что при формировании рудных тел внутри массивов горных пород образуется изолированная равновесная система, где все химические элементы (кроме самородных металлов) находятся в связанной форме в виде минеральных образований, т. е. подвижность их крайне низка. При попадании руд в зону гипергенеза равновесие этой системы нарушается в результате окисления, растворения, гидратации и гидролиза рудных минералов при взаимодействии их с атмосферой, водой, микроорганизмами и некоторыми другими окислителями. Поэтому система снова стремится к равновесию, но уже в новых условиях, что реализуется в переходе части элементов в виде различных ионных форм в раствор и образовании новых минеральных фаз. Одним из средств такого математического моделирования является программа «Селектор-Windows» (адаптированная для операционных систем Windows версия продукта «Селектор-С», разработчики И.К. Карпов, К.В. Чудненко, В.А. Бычинский [7, 8]). Программа «Селектор-Windows» не рассчитывает реакции, а находит глобальный минимум того или иного термодинамического потенциала, т. е. минимум функции свободной энергии Гиббса и вычис-

ляет, на этой основе, минеральный парагенезис. При этом метод минимизации энергии Гиббса подразумевает как равновесие водного раствора с его компонентами и минералами, выпадающими из него, так и равновесие раствора и выпадающих из него минералов с первичной породой (минералом). Данный метод не требует дополнительных затрат, так как выяснение минерального и химического состава руд является неотъемлемой частью изучения любого месторождения, необходимого как для подсчета запасов, так и выбора технологии добычи и обогащения руд и т.д. Этот метод позволит еще до введения месторождения в эксплуатацию избрать более продуктивные технологии добычи и обогащения руд и грамотно разработать комплекс действенных природоохранных мероприятий для снижения степени негативного воздействия на природную среду. Естественно, что данная методика не отрицает необходимости проведения мониторинга в районах горнопромышленных техногенных систем в процессе отработки месторождений и после их закрытия, но очевидно, что затраты будут совсем несопоставимы.

Таким образом, комплексный подход с применением минералогических, физических и математических методов изучения руд месторождений позволит нам осуществить качественную и количественную оценку вероятного экологического загрязнения района разработки месторождения, что является одним из аспектов снижения риска и последствий техногенных катастроф, связанных с горнодобывающей деятельностью человека.

Продуктивность такого комплексного подхода можно проиллюстрировать на примере даже одной из не востребуемых групп рудных минералов, которые в процессе отработки и обогаще-

ния руд будут выведены из технологической цепочки. Рассмотрим, например, блеклые руды золото-серебряного Прасоловского месторождения.

Краткая характеристика блеклых руд Прасоловского месторождения

Согласно данным минералогического и физико-химического изучения руды Прасоловского месторождения содержат в виде минеральных образований более 20 элементов периодической системы. Они представлены как самородными формами, так и теллуридами, селенидами, сульфидами и сульфосолями различных металлов, наиболее распространенными из которых являются Zn, Pb, Cu, Mo, Fe, As, Sb, In, Bi, Cd, Te, Se, Ag, Au, и др. [12, 20]. Всего в рудах месторождения установлено около 50 минералов. Наиболее распространенные из них — самородные золото, серебро и теллур, пирит, халькопирит, галенит, акантит, прустит, калаверит, креннерит, сильванит, клаусталит, науманит, рокезит и блеклые руды. Последние являются вторыми (после пирита) по распространенности среди рудных минералов и наиболее распространенной группой минералов из числа сульфосолей. Блеклые руды присутствуют во всех установленных на месторождении А.Я. Данченко [4, 5] минеральных типах руд, но преобладают в золото-теллуридно-кварцевых [13].

Данные микроскопического изучения [19] показывают, что блеклые руды образуют разнообразие по форме (от изометричных и овальных, до удлиненных и ксеноморфных) выделения в кварце, размер которых изменяется от тысячных долей до 1—2 мм. Нередко минеральные выделения блеклых руд формируют относительно крупные скопления, состоящие из многочисленных зерен. Кроме самостоятельных выделений блеклые руды встречаются в сростании с другими

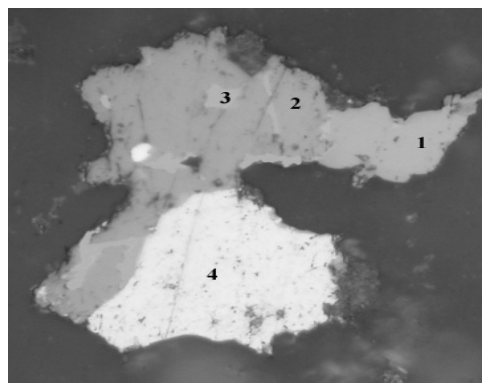


Рис. 1. Замещение блеклых руд (1) гесситом (2) с включениями петцита (3) и золотом (4)

минералами (рис. 1). Например, в золото-пирит (халькопирит)–кварцевом типе руд блеклые руды ассоциируют с самородным золотом, пиритом, сфалеритом и другими минералами. При этом в большинстве случаев они замещают отмеченные минералы, на что указывает характер их взаимоотношений, а также частое присутствие в блеклых рудах реликтов пирита, сфалерита, галенита и др. Для золото-полисульфидно-кварцевых руд наиболее характерны мирмекитовые сростания блеклых руд с халькопиритом. Реже отмечается ассоциация блеклых руд с золотом, которое присутствует в них в виде немногочисленных овальных включений. В отдельных шлифах наблюдается, что подобная золото-блеклорудная ассоциация развивается по зернам молибденита, корродируя их. Кроме того, отмечается замещение блеклыми рудами борнита и сфалерита. В золото-теллуридно-кварцевых рудах минеральные ассоциации с участием блеклых руд гораздо многообразнее и представлены они сростаниями блеклых руд с самородным золотом, теллуrom, селенсодержащим теллуридом висмута, сильванитом, клаусталитом, акантитом, гесситом, петцитом и некоторыми другими ми-

нералами. С одними из них они образуют тесные парагенезисы, т.е. кристаллизация их происходила близодновременно. Другие минералы имеют коррозионный характер границ с блеклыми рудами или развиваются по ним, что указывает на их одновременное выделение (более позднее по отношению к блеклым рудам). Среди них такие как гессит, петцит, клаусталит и др.

Согласно данным рентгеноспектральных анализов [13] блеклые руды характеризуются сложным химическим составом со значительными вариациями содержания слагающих их компонентов. Пересчет данных химических составов блеклых руд на кристаллохимические формулы показывает (рис. 2) наличие трех минеральных видов (тетраэдрит, теннантит и голдфиллит) и нескольких междувидовых разновидностей (т. е. блеклых руд смешанного состава). Среди последних теннантит-тетраэдрит, теннантит-голдфиллит, голдфиллит-тетраэдрит, теннантит-тетраэдрит-голдфиллит и их разности — Zn-теннантит-тетраэдрит, Ag-голдфиллит-тетраэдрит. Кроме того, выделяется целый ряд внутривидовых разновидностей [9, 10] как-то Zn-тетраэдрит, Zn-теннантит,

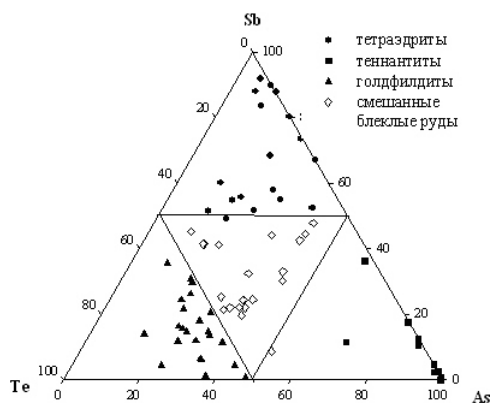


Рис. 2. Диаграмма Sb-As-Te, иллюстрирующая состав блеклых руд

Fe-теннантит, Ag-тетраэдрит и Ag-теннантит. При этом следует подчеркнуть относительно высокую селенистость всех выделенных видов и разновидностей и висмутистость блеклых руд смешанного состава.

Данные рентгеноспектральных анализов показывают, что теннантиты содержат серебра (до 2.06, здесь и далее приведены содержания в масс. %), сурьмы (до 9.83), селена (до 0.91), теллура (до 7.17), свинца (до 0.25), мышьяка (до 18.58), железа (до 6.70) и цинка (до 6.88). Тетраэдриты и их внутривидовые разновидности содержат серебра (до 8.45), сурьмы (до 27.41), селена (до 4.40), теллура (до 8.21), висмута (до 0.87), мышьяка (до 7.53), железа (до 2.68) и цинка (до 7.68). В голдфиллитах содержания элементов следующие: серебра (до 4.81), сурьмы (до 9.71), селена (до 4.17), теллура (до 25.91), висмута (до 0.54), мышьяка (до 9.03), железа (до 1.14) и цинка (до 0.90). И, наконец, для смешанных блеклых руд содержания серебра (до 15.03), сурьмы (до 13.75), селена (до 2.71), теллура (до 19.14), свинца (до 2.53), мышьяка (до 7.56), железа (до 1.67), цинка (до 3.29) и висмута (до 12.16).

Таким образом, блеклые руды Прасоловского месторождения содержат значительные количества некоторых химических элементов, относящихся, согласно различных классификаций [2, 17], к числу наиболее опасных (токсичных) металлов. Это свинец, мышьяк, сурьма, висмут, медь, теллур, железо, селен и цинк.

Физико-химические преобразования некоторых видов блеклых руд в условиях гипергенеза по данным компьютерного моделирования

Известно, что наибольший промышленный интерес на Прасоловском месторождении представляют мине-

ралы и минеральные фазы золота и серебра, средние содержания которых 15-25 г/т и 45 – 60 г/т соответственно. Весь спектр химических элементов других минеральных групп (сульфидов, теллуридов, селенидов, сульфосолей, в том числе и блеклых руд) имеет некондиционные содержания, или на сегодняшний день отсутствует технология их переработки. Естественно, что руды других металлов месторождения попадут в отвалы или, в лучшем случае, будут складироваться в хвостохранилищах. Очевидно, что не востребуемая часть рудного вещества, будучи извлеченной на поверхность и оказавшись в зоне гипергенеза, будет подвержена окислению, растворению, преобразованию в другие минеральные формы и водные растворы, что существенно повлияет на экологическую обстановку в прилегающих к месторождению территориях. Возможность наглядно представить процесс такого преобразования исходных минералов дает компьютерное моделирование на базе программного продукта «Селектор-Windows». Рассмотрим это на примере некоторых минералов группы блеклых руд. Следует отметить, что при моделировании процессов гипергенного преобразования нами рассматривались две системы – приповерхностная (резервуар 1), включающая природную воду, приведенную в равновесие с атмосферой + минерал и более глубинная (резервуар 2), состоящая из просачивающегося из первой системы раствора, обедненного растворенным кислородом, но обогащенного различными ионами + минерал. Для всех моделей были выбраны единые термобарометрические условия – $T = 25^{\circ}\text{C}$ и $P = 1$ атм.

Результаты моделирования показывают, что при окислении 1 моля

висмутсодержащего теннантита (т.е. $1635.14 \text{ г Cu}_{11.1}\text{Ag}_{0.1}\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_{0.3}\text{Pb}_{0.3}\text{As}_{2.2}\text{Sb}_{1.5}\text{Bi}_{0.3}\text{S}_{13}$) в 1 тонне воды, приведенной в равновесие с атмосферой, данный минерал полностью растворяется в воде с образованием новых минеральных фаз (табл. 1), представленных $\text{Bi}_2(\text{SO}_4)_3$ (сульфат висмута) – 105.92 г, Fe_2O_3 (гематит) – 23.95 г, PbSO_4 (англезит) – 90.18 г, Sb_2O_5 (оксид сурьмы) – 242.62 г и $\text{ZnSO}_4(\text{H}_2\text{O})_6$ (бианкит) – 53.91 г. Оставшаяся часть этого минерала (т.е. 1118.56 г или около 70 % исходного количества) переходит в раствор в виде таких ионов металлов как AgCO_3^- , Ag^+ , AgNO_3 , AgOH , AsO_4^{-3} , Bi^{+3} , BiO^+ , BiOH^{+2} , Cu^+ , Cu^{+2} , CuO , CuOH^+ , Fe^{+2} , Fe^{+3} , FeO^+ , FeOH^{+2} , H_2AsO_4^- , H_3AsO_4 , HAsO_4^{-2} , HBiO_2 , HFeO_2 , HSO_4^- , Pb^{+2} , PbO , PbOH^+ , SO_4^{-2} , суммарная концентрация которых составляет 2233.60 мг/л воды. При этом наибольшие значения приходятся на ионы (в мг/литр воды) Cu^{+2} (705.45), Ag^+ (4.382), AgNO_3 (10.09), Pb^{+2} (0.544), а также анионы мышьяковой и серной кислот — H_3AsO_4 (75.60 мг/л), H_2AsO_4^- (235.01 мг/л), HSO_4^- (142.27 мг/л) и SO_4^{-2} (1017.20 мг/л), что приводит к увеличению кислотности раствора, pH которого понижается до 2.7271 (сильнокислый раствор). Данные моделирования показывают, что в образовавшемся растворе концентрация ионов меди превышает ПДК для рыбохозяйственных водоемов [15] в **70545** раз, серебра в **245**, свинца в **544**, мышьяка **3293**. При моделировании процесса растворения селенсодержащего теннантита ($\text{Cu}_{10.38}\text{Ag}_{0.15} \text{Zn}_{0.87}\text{Pb}_{0.01}\text{Sb}_{0.50}\text{As}_{3.49}\text{S}_{13.42}\text{Se}_{0.17}$) новообразованные минеральные фазы представлены (см. табл. 2) PbSO_4 (англезит), Sb_2O_5 (оксид сурьмы) и $\text{ZnSO}_4(\text{H}_2\text{O})_6$ (бианкит), а состав поступающих в раствор ионов

Таблица 1

Результаты моделирования взаимодействия *Vi* - содержащего теннантита ($Cu_{11,1}Ag_{0,1}Zn_{0,2}Fe_{0,3}Pb_{0,3}As_{2,2}Sb_{1,5}Bi_{0,3}S_{13}$) с природными водами (резервуар 1) и ионным раствором (резервуар 2)

Резервуар — 1					
Температура, °C — 25,00		Давление, бар — 1,00		Масса, кг — 1101,635	
Объем мультисистемы, см ³ — 8,50261e+07			Плотность мультисистемы, г/см ³ — 0,012836		
G, кал — -149844480		H, кал — -3793628416		S, кал /K — 1124224,625	
U, кал — -3747895296		Cp, кал — 1021830,56		Ионная сила — 0,0460	
Eh, В — 1,0551		pe — 17,8705		pH — 2,7271	
Наименование фазы	Объем, см ³	Мольное количество	Масса, г	Плотность, г/см ³	Содержание, вес, %
Водный раствор	1002928,54534	5,55314e+04	1002132,1250	9,99206e-01	90,96772
Газ	84023125,97675	3,43613e+03	98986,2891	1,17808e-03	8,98540
Твердая фаза					
Bi ₂ (SO ₄) ₃	0,00000	1,50000e-01	105,9223	0,00000e+00	0,00962
Fe ₂ O ₃	0,10856	1,49945e-01	23,9450	2,20579e+02	0,00217
PbSO ₄	0,34078	2,97375e-01	90,1830	2,64639e+02	0,00819
Sb ₂ O ₅	0,00000	7,50000e-01	242,6227	0,00000e+00	0,02202
ZnSO ₄ (H ₂ O) ₆	0,00000	2,00000e-01	53,9091	0,00000e+00	0,00489
Водный раствор					
Состав фазы	Функция гГ, кал/моль	Мольное количество	Концентрация мг/кг H ₂ O		
AgCO ₃ ⁻	-109094	1,170126e-15	1,9646e-13		
Ag ⁺	20752	4,062000e-02	4,3822e+00		
AgNO ₃	-5357	5,937994e-02	1,0088e+01		
AgOH	-19519	2,035871e-11	2,5426e-09		
AsO ₄ ⁻³	-153049	4,200494e-13	5,8360e-11		
Bi ⁺³	24775	8,982516e-09	1,8774e-06		
BiO ⁺	-26975	6,215392e-07	1,3985e-04		
BiOH ⁺²	-30134	2,408387e-07	5,4434e-05		
CO ₂	-89869	9,814889e-03	4,3201e-01		
CO ₃ ⁻²	-124009	8,406276e-14	5,0452e-12		
Cu ⁺	14276	6,141255e-15	3,9030e-13		
Cu ⁺²	17841	1,109994e+01	7,0545e+02		
CuO	-18413	3,368383e-09	2,6797e-07		
CuOH ⁺	-27872	5,432576e-05	4,3767e-03		
Fe ⁺²	-19704	2,815926e-10	1,5728e-08		
Fe ⁺³	-2223	3,191587e-05	1,7826e-03		
FeO ⁺	-50771	1,000807e-05	7,1914e-04		
FeOH ⁺²	-55634	6,868610e-05	5,0047e-03		
H ₂ AsO ₄	-177677	1,667296e+00	2,3501e+02		
H ₃ AsO ₄	-180721	5,325033e-01	7,5595e+01		
HAsO ₄ ⁻²	-168609	2,001475e-04	2,8010e-02		
HBiO ₂	-76919	3,842088e-09	9,2985e-07		
HCO ₃	-137949	2,605390e-06	1,5899e-04		
HFeO ₂	-98719	2,125117e-09	1,8885e-07		
HNO ₂	-9720	3,311793e-10	1,5572e-08		
HNO ₃	-22351	2,673969e-01	1,6852e+01		
HSO ₄	-178298	1,465415e+00	1,4227e+02		
N ₂	6726	5,223500e-01	1,4635e+01		

Продолжение табл. 1

NO ₃ -	-8070	4,853999e-09	3,0101e-07
O ₂	6332	2,505805e-01	8,0193e+00
Pb+2	-3547	2,624451e-03	5,4386e-01
PbO	-36969	6,707287e-15	1,4973e-12
PbOH+	-51622	6,910999e-07	1,5497e-04
SO ₄ -2	-175750	1,058721e+01	1,0172e+03
OH-	-35259	5,886708e-09	1,0013e-07
H+	2323	2,061476e+00	2,0781e+00
H ₂ O	-56678	5,550287e+04	1,0000e+00

Газ			
CO ₂	-94263	1,011431e+00	0,04
N ₂	0	2,754555e+03	77,95
NO ₂	12420	4,792331e-07	0,00
N ₂ O	24767	8,587952e-16	0,00
O ₂	0	6,805660e+02	22,00

Твердая фаза			
Bi ₂ (SO ₄) ₃	-527820	1,499995e-01	20,50
Fe ₂ O ₃	-177366	1,499446e-01	4,64
PbSO ₄	-194362	2,973748e-01	17,46
Sb ₂ O ₅	-198208	7,499999e-01	46,97
ZnSO ₄ (H ₂ O) ₆	-612591	1,999999e-01	10,44

Резервуар — 2		
Температура, °C — 25,00	Давление, бар — 1,00	Масса, кг — 1003,767
Объем мультисистемы, см ³ — 1003979,562	Плотность мультисистемы, г/см ³ — 0,999789	
G, кал — -3148721920	H, кал — -3794564608	S, кал /K — 930275,688
U, кал — -3745617664	Ср, кал — 998246,75	Ионная сила — 0,0292
Eh, В — 0,2925	ре — 4,9551	pH — 1,7792

Наименование фазы	Объем, см ³	Мольное количество	Масса, г	Плотность, г/см ³	Содержание, вес. %
Водный раствор	1003111,76967	5,55297e+04	1001545,3750	9,98438e-01	99,77864
Газ	860,31150	3,51796e-02	0,9857	1,14571e-03	0,00010
Твердая фаза					
Bi ₂ (SO ₄) ₃	0,00000	1,50000e-01	105,9228	0,00000e+00	0,01055
Cu ₂ S	7,10215	1,08154e+01	1721,3552	2,42371e+02	0,17149
PbSO ₄	0,33526	2,92560e-01	88,7229	2,64639e+02	0,00884
Sb ₂ O ₄	0,00000	7,45970e-01	229,3839	0,00000e+00	0,02285
ZnSO ₄ (H ₂ O) ₆	0,00000	2,00000e-01	53,9091	0,00000e+00	0,00537
Ag	0,04912	1,99996e-01	21,5732	4,39220e+02	0,00215

Водный раствор			
Состав фазы	Функция гТ, кал/моль	Мольное количество	Концентрация мг/кг H ₂ O
Ag ⁺	20675	3,499955e-06	3,7766e-04
AsO ₂ ⁻	-81334	1,918535e-07	2,0520e-05
Bi ⁺³	24088	9,824152e-08	2,0537e-05
BiO ⁺	-27053	3,755307e-08	8,4515e-06
BiOH ⁺²	-30438	1,718779e-07	3,8855e-05
CO ₂	-89866	9,806705e-03	4,3174e-01
CO ₃ ⁻²	-124290	2,085141e-15	1,2517e-13
Cu ⁺	14200	1,762162e-03	1,1202e-01

Окончание таблицы 1

Cu ⁺²	17538	5,674660e-01	3,6072e+01
CuO	-18402	1,561958e-12	1,2429e-10
CuOH ⁺	-27945	2,336873e-07	1,8831e-05
Fe ⁺²	-20006	3,001106e-01	1,6766e+01
Fe ⁺³	-2906	7,899117e-09	4,4129e-07
FeO ⁺	-50844	1,354256e-11	9,7331e-10
FeOH ⁺	-63594	5,038232e-09	3,6718e-07
FeOH ⁺²	-55936	1,106300e-12	8,0600e-08
H ₂	6616	2,204823e-14	4,4461e-14
H ₂ AsO ₃ ⁻	-138017	1,931533e-07	2,4140e-05
H ₂ AsO ₄ ⁻	-177745	2,580777e-06	3,6384e-04
H ₃ AsO ₄	-180722	5,943433e-06	8,4391e-04
HAsO ₂	-93859	4,399991e+00	4,7504e+02
HAsO ₄ ⁻²	-168892	5,537470e-11	7,7510e-09
HBiO ₂	-76917	2,514966e-11	6,0879e-09
HCO ₃ ⁻	-138015	3,625454e-07	2,2129e-05
HSO ₃ ⁻	-123818	5,955554e-12	4,8299e-10
HSO ₄ ⁻	-178365	5,801709e+00	5,6337e+02
HSbO ₂	-95016	8,060280e-03	1,2478e+00
N ₂	6724	6,505660e-01	1,8231e+01
NH ₃	-4001	2,236758e-13	3,8106e-12
NH ₄ ⁺	-16689	6,743649e-06	1,2169e-04
Pb ⁺²	-3855	1,006448e-02	2,0861e+00
PbOH ⁺	-51694	2,210634e-07	4,9581e-05
SO ₂	-69601	5,733786e-12	3,6746e-10
SO ₄ ⁻²	-176033	7,492970e+00	7,2004e+02
SbO ₂ ⁻	-80080	6,005882e-12	9,2371e-10
OH ⁻	-35321	8,107240e-10	1,3793e-08
H ⁺	2243	1,903060e+01	1,9188e+01
H ₂ O	-56678	5,549142e+04	1,0000e+00
Газ			
CO ₂	-94263	1,042232e-05	0,05
H ₂	0	9,890537e-16	0,00
N ₂	0	3,516916e-02	99,95
O ₂ S	-71749	1,367225e-16	0,00
Твердая фаза			
Bi ₂ (SO ₄) ₃	-527820	1,500003e-01	4,77
Cu ₂ S	-20602	1,081539e+01	77,51
PbSO ₄	-194362	2,925604e-01	3,99
Sb ₂ O ₄	-190201	7,459699e-01	10,33
ZnSO ₄ (H ₂ O) ₆	-612591	2,000000e-01	2,43
Ag	0	1,999965e-01	0,97

токсичных металлов аналогичен предыдущей модели за исключением того, что вместо ионов висмута раствор обогащается ионами селена, суммарная концентрация которых достигает 22 мг/л.

Следует также отметить, что в данной модели концентрация ионов мышьяка почти в два раза превышает

таковую в предыдущей, а соответственно выше предельно допустимой нормы в **5460** раз.

Следует также отметить, что в данной модели концентрация ионов мышьяка почти в два раза превышает таковую в предыдущей, а соответственно выше предельно допустимой нормы в **5460** раз.

Таблица 2

**Результаты моделирования взаимодействия Se-содержащего теннантита
($Cu_{10,38}Ag_{0,15}Zn_{0,87}Pb_{0,01}Sb_{0,50}As_{3,49}S_{13,42}Se_{0,17}$) с природными водами
(резервуар 1) и ионным раствором (резервуар 2)**

Резервуар — 1		
Температура, °С — 25,00	Давление, бар — 1,00	Масса, кг — 1101,501
Объем мультисистемы, см ³ — 8,50112e+07		Плотность мультисистемы, г/см ³ — 0,012957
G, кал — -3149949184	H, кал — -3793903104	S, кал/К — 1123801,750
U, кал — -3748040704	Ср, кал — 1021793,06	Ионная сила — 0,0451
Eh, В — 1,0711	ре — 18,1422	pH — 2,4553

Наименование фазы	Объем, см ³	Мольное количество	Масса, г	Плотность, г/см ³	Содержание, вес, %
Водный раствор	1002906,21730	5,55273e+04	1002216,2500	9,99312e-01	90,98644
Газ	84008269,64038	3,43553e+03	98966,8516	1,17806e-03	8,98473
Твердая фаза					
PbSO ₄	0,00813	7,09620e-03	2,1520	2,64639e+02	0,00020
Sb ₂ O ₅	0,00000	2,50000e-01	80,8742	0,00000e+00	0,00734
ZnSO ₄ (H ₂ O) ₆	0,00000	8,70000e-01	234,5044	0,00000e+00	0,02129

Водный раствор			
Состав фазы	Функция гТ, кал/моль	Мольное количество	Концентрация мг/кг H ₂ O
Ag ⁺	20749	8,445085e-02	9,1119e+00
AgNO ₃	-5357	6,554915e-02	1,1138e+01
AgOH	-19519	2,249066e-11	2,8093e-09
AsO ₄ ⁻³	-153078	1,648173e-13	2,2902e-11
CO ₂	-89869	9,812611e-03	4,3196e-01
CO ₃ ⁻²	-124021	2,454530e-14	1,4733e-12
Cu ⁺	14273	3,018830e-15	1,9188e-13
Cu ⁺²	17827	1,037997e+01	6,5978e+02
CuO	-18412	8,791996e-10	6,9954e-08
CuOH ⁺	-27875	2,668461e-05	2,1501e-03
H ₂ AsO ₄ ⁻	-177680	2,188821e+00	3,0856e+02
HSeO ₃	-99472	1,700000e-01	2,1760e+01
H ₃ AsO ₄	-180721	1,301036e+00	1,8472e+02
HAsO ₄ ⁻²	-168622	1,428167e-04	1,9989e-02
HCO ₃ ⁻	-137952	1,399892e-06	8,5439e-05
HNO ₂	-9720	3,309349e-10	1,5562e-08
HNO ₃	-22351	2,671510e-01	1,6838e+01
HSO ₄ ⁻	-178300	2,545690e+00	2,4718e+02
HSeO ₄ ⁻	-105771	2,259309e-15	3,2535e-13
N ₂	6726	5,224184e-01	1,4639e+01
NO ₃ ⁻	-8073	2,606161e-09	1,6164e-07
O ₂	6332	2,504043e-01	8,0147e+00
Pb ⁺²	-3561	2,903378e-03	6,0174e-01
PbO	-36969	2,070962e-15	4,6236e-13
PbOH ⁺	-51625	4,013775e-07	9,0015e-05
SO ₄ ⁻²	-175762	9,997214e+00	9,6062e+02
SeO ₄ ⁻²	-103333	1,051986e-14	1,5043e-12
OH ⁻	-35261	3,161087e-09	5,3776e-08
H ⁺	2319	3,878994e+00	3,9108e+00

Продолжение табл. 2

H₂O	-56678	5,549564e+04	1,0000e+00
Газ			
CO₂	-94263	1,011435e+00	0,04
N₂	0	2,754553e+03	77,97
NO₂	12420	4,788494e-07	0,00
N₂O	24767	8,584886e-16	0,00
O₂	0	6,799613e+02	21,99
Твердая фаза			
PbSO₄	-194362	7,096205e-03	0,68
Sb₂O₅	-198208	2,500000e-01	25,47
ZnSO₄(H₂O)₆	-612591	8,700000e-01	73,85

Резервуар — 2			
Температура, °C — 25,00		Давление, бар — 1,00	
Объем мультисистемы, см ³ — 1003893,938		Плотность мультисистемы, г/см ³ — 0,999824	
G, кал — -3148737536	H, кал — -3794615040		S, кал /K — 930111,375
U, кал — -3745620224	Cp, кал — 998055,56		Ионная сила — 0,0305
Eh, В — 0,2406	pe — 4,0758		pH — 1,7103

Наименование фазы	Объем, см ³	Мольное количество	Масса, г	Плотность, г/см ³	Содержание, вес. %
Водный раствор	1003033,94514	5,55246e+04	1001687,0625	9,98657e-01	99,79774
Газ	853,21350	3,48893e-02	0,9775	1,14571e-03	0,00010
Твердая фаза					
As ₂ S ₂	0,00000	9,36652e-03	2,0042	0,00000e+00	0,00020
As ₂ Se ₃	0,00000	6,33333e-02	24,4925	0,00000e+00	0,00244
Cu ₂ S	6,81624	1,03800e+01	1652,0590	2,42371e+02	0,16459
PbSO ₄	0,00252	2,19513e-03	0,6657	2,64639e+02	0,00007
ZnSO ₄ (H ₂ O) ₆	0,00000	8,70000e-01	234,5044	0,00000e+00	0,02336
Ag ₂ Se	0,00000	1,50000e-01	44,2044	0,00000e+00	0,00440
Sb ₄ O ₆	0,00000	1,22044e-01	71,1513	0,00000e+00	0,00709

Водный раствор			
Состав фазы	Функция гТ, кал/моль	Мольное количество	Концентрация мг/кг H ₂ O
Ag ⁺	20665	2,399651e-10	2,5899e-08
AsO ₂ ⁻	-81338	2,576747e-07	2,7566e-05
CO ₂	-89866	9,803354e-03	4,3168e-01
CO ₃ ⁻²	-124322	1,623677e-15	9,7488e-14
Cu ⁺	14191	2,961044e-07	1,8826e-05
Cu ⁺²	17501	1,319487e-05	8,3894e-04
CuOH ⁺	-27954	4,446430e-12	3,5837e-10
H ₂	6616	1,714729e-12	3,4586e-12
H ₂ AsO ₃ ⁻	-138021	2,595924e-07	3,2450e-05
H ₂ AsO ₄ ⁻	-177752	4,478718e-08	6,3155e-06
H ₂ S	-4292	1,046884e-09	3,5699e-08
H ₂ S ₂ O ₃	-125622	1,225130e-15	1,3992e-13
H ₃ AsO ₄	-180723	1,186929e-07	1,6857e-05
HAsO ₂	-93859	6,834600e+00	7,3805e+02
HAsO ₄ ⁻²	-168925	8,612877e-13	1,2058e-10
HCO ₃ ⁻	-138022	3,152194e-07	1,9244e-05
HS ⁻	5171	6,890750e-15	2,2803e-13

Окончание табл. 2

HS ₂ O ₃ ⁻	-124892	2,030890e-14	2,2990e-12
HSO ₃ ⁻	-123823	5,413292e-10	4,3911e-08
HSO ₄ ⁻	-178373	6,809433e+00	6,6136e+02
HSbO ₂	-95015	1,182315e-02	1,8307e+00
N ₂	6724	6,511641e-01	1,8251e+01
NH ₃	-4001	1,534144e-10	2,6141e-09
NH ₄ ⁺	-16695	5,450744e-03	9,8376e-02
Pb ⁺²	-3893	1,070844e-02	2,2200e+00
PbOH ⁺	-51703	1,920812e-07	4,3089e-05
S ₂ O ₃ ⁻²	-122826	3,527865e-14	3,9579e-12
SO ₂	-69601	6,024264e-10	3,8615e-08
SO ₃ ⁻²	-114222	2,818622e-15	2,2579e-13
SO ₄ ⁻²	-176066	7,882550e+00	7,5764e+02
SbO ₂ ⁻	-80083	7,612602e-12	1,1711e-09
OH ⁻	-35327	7,031192e-10	1,1965e-08
H ⁺	2232	2,254764e+01	2,2739e+01
H ₂ O	-56678	5,547988e+04	1,0000e+00
Газ			
CO ₂	-94263	1,033744e-05	0,05
H ₂ S	-7905	2,931318e-13	0,00
H ₂	0	7,631349e-14	0,00
N ₂	0	3,487900e-02	99,95
O ₂ S	-71749	1,424992e-14	0,00
Твердая фаза			
As ₂ S ₂	-33604	9,366516e-03	0,10
As ₂ Se ₃	-24283	6,333333e-02	1,21
Cu ₂ S	-20602	1,037999e+01	81,42
PbSO ₄	-194362	2,195129e-03	0,03
ZnSO ₄ (H ₂ O) ₆	-612591	8,700000e-01	11,56
Ag ₂ Se	-10612	1,500000e-01	2,18
Sb ₄ O ₆	-303107	1,220442e-01	3,51

Моделирование процесса окисления 1 моля селенсодержащего тетраэдрита (т.е. 1595.926 г Cu_{10,94}Zn_{0,29}Fe_{0,21}Sb_{2,44}As_{1,40}S_{13,12}Se_{0,60}), в 1 тонне воды, находящейся в равновесии с воздухом, показывает, что данный минерал преобразуется в новые минеральные фазы, а именно – 78.17 г ZnSO₄(H₂O)₆ (бианкит), 394.67 г Sb₂O₅ (оксид сурьмы) и 16.75 г Fe₂O₃ (гематит), а водный раствор обогащается ионами AsO₄⁻³, Cu⁺, Cu⁺², CuO, CuOH⁺, Fe⁺², Fe⁺³, FeO⁺, FeOH⁺², H₂AsO₄⁻, HSeO₃, H₃AsO₄⁻², HAsO₄⁻², HFeO₂, HSO₄⁻, HSeO₄⁻, SO₄⁻² и SeO₄⁻², суммарная концентрация которых составляет 2204.47 мг/л воды. При этом, наибольшие значения при-

ходятся на катионы Cu⁺² (695.29 мг/л) и селенистую (HSeO₃ = 76.79 мг/л), мышьяковую (H₂AsO₄⁻ + H₃AsO₄ = 197.75 мг/л) и серную (HSO₄⁻ + SO₄⁻² = 1234.61 мг/л) кислоты, что приводит к образованию сильноокислого раствора (pH = 2.5993). Таким образом, в данном растворе концентрация ионов токсичных металлов превышает предельно допустимые нормы: по меди в **69529** раз, по селену – **47609**, а по мышьяку – **2096**. Аналогичная картина наблюдается и при растворении висмутсодержащего тетраэдрита [13].

Таким образом, результаты моделирования убедительно показывают, что блеклые руды, будучи извлеченными и

складированными на земной поверхности, будут представлять собой серьезную экологическую опасность для окружающей среды. Часть их преобразуется в новые минеральные формы, формируя так называемые руды вторичного обогащения. Другая же часть (от 50 % до 70 % для разных видов) перейдет в раствор и с дренажными водами проникнет в местную гидросеть, обусловив в ней высокие концентрации токсичных элементов. Попадая с растворами или в виде коллоидных частиц в водоемы, токсичные металлы включаются в трофические цепи от планктона до зообентоса и свободно плавающих организмов [1], создавая тем самым серьезную экологическую угрозу биосфере.

Для большей наглядности степени потенциальной экологической угрозы окружающей среде можно рассчитать примерное количество каждого из токсичных металлов, которое поступит в результате самопроизвольной миграции из техногенных тел в гидросеть района за год, например, только лишь из висмутсодержащего теннантита. Так, содержание H_2AsO_4^- , согласно данным моделирования, составляет 235.01 мг/л или на 0.235 кг/т воды. Если принять площадь хвостохранилища 10000 м² (100x100 м) при условии, что среднегодовая норма осадков на о. Кунашир составляет 1000-1300 мм, то количество воды, выпавшей на эту площадь равняется порядка 10000 т (1 м³ = 1 т). Соответственно количество H_2AsO_4^- , вынесенное этим объемом воды будет составлять порядка 2.350 т. В пересчете на чистый мышьяк это составит **1.246 т** (в соединении H_2AsO_4^- мышьяк составляет 53 %). Но H_2AsO_4^- не единственная ионная форма мышьяка в образовавшемся растворе. Из таблицы 1 видно, что есть и другие ионные формы как-то

H_3AsO_4 , HAsO_4^{-2} и AsO_4^{-3} . Концентрация AsO_4^{-3} незначительна (5.8360 x 10⁻¹¹ мг/л) и ей можно пренебречь. А концентрация H_3AsO_4 и HAsO_4^{-2} 75.595 и 0.02801 мг/л соответственно. Применяв вышеприведенные расчеты можно видеть, что это добавляет еще **0.393 т** и **0.0002 т**. Итого, количество мышьяка, которое поступит в раствор, затем в дренажные воды и, далее, в гидросеть, составит **1640 кг**. Аналогичным образом рассчитаем прогнозируемые количества остальных токсичных элементов, которые поступят в гидросеть в течение года. Они составят: для свинца – **5.44 кг**, меди – **7054.5 кг**, железа – **0.06 кг**, висмута – **0.002 кг**, серной кислоты – **11594.7 кг**.

Напомним, что приведенные количества токсичных элементов рассчитаны только для одного минерального вида блеклых руд, исходный вес которого, в соответствии с экспериментом, составил всего 16.3514 т (1635.14 г x 10000). Очевидно, что степень токсического воздействия на окружающую среду возрастет на несколько порядков, если окислению и растворению подвергается не один минерал, а вся их естественная ассоциация, включающая остальные минеральные виды блеклых руд, а также теллуриды, селениды, сульфиды и другие минеральные группы, присутствующие в рудах Прасоловского месторождения. Используя данную методику, легко рассчитать количества токсичных элементов, образующихся при одновременном гипергенном преобразовании всех рудных минералов месторождения. А чтобы получить истинные цифры, необходимо полученные количества умножить на содержания этих минералов в рудах и на объем рудного вещества.

Заключение

Приведенные выше данные убедительно показывают, что при изучении вещественного состава руд месторождений комплексный подход, включающий минералогические и физико-химические исследования, а также компьютерное моделирование поведения рудных минералов в зоне гипергенеза (в условиях повышенной аэрации и обводненности), должен стать обязательным для оценочных и разведочных работ. Это позволит нам осуществлять качественную и количественную оценку вероятного токсического загрязнения биосферы еще до начала ввода месторождения в стадию разработки и добычи полезных ископаемых.

Естественно, что полученные данные компьютерного моделирования по количеству выносимых токсичных веществ являются лишь первым приближением в оценке реальной геохимической картины и призваны показать качественную и, с некоторой долей условности, количественную сторону потенциальной экологической угрозы извлеченного на поверхность, но не востребованного рудного вещества. Очевидно, что при раз-

работке моделей для компьютерного моделирования гипергенного преобразования рудных минералов невозможно учесть всех обстоятельств, влияющих на направленность и скорость химических реакций, которые, в конечном счете, определяют какие элементы, и в каких количествах, будут выноситься дренажными водами. Например, такой маленький нюанс как количество и состав промывочной жидкости, которой пропитывается рудная масса при забурировании шпуров при проходке горных выработок или технические жидкости (масла), утекающие из горного оборудования (и те и другие могут выступать либо в роли катализатора некоторых химических реакций, либо, наоборот, буферировать их).

В заключении следует отметить, что предложенная методика оценки и прогноза потенциальной экологической угрозы районам разработки рудных месторождений позволит более грамотно разрабатывать комплекс природоохранных мероприятий для каждого конкретного месторождения и выбирать технологии добычи и обогащения руд.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Гранта Президента РФ (№ НШ-245.2008.5) и ДВО РАН (№ 09-III-A-08-398).


СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортникова С.Б. Геохимия тяжёлых металлов в техногенных системах (вопросы формирования, развития и взаимодействия с компонентами экосферы) // Автореф. дис. ... докт. геол. — минерал. наук. Новосибирск, 2001. 48 с.
2. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. М.: Изд-во стандартов, 1985. 383 с.
3. Давыдова С.Л. О токсичности ионов металлов // Химия, 1991. №3. С. 48-57.
4. Данченко В.Я. Золото-серебряная минерализация Большой Курильской гря-

ды. /Препринт. Южно-Сахалинск. ИМГиГ ДВО РАН. 1990. 63 с.

5. Данченко В.Я. Соотношение разных типов золото-серебряной минерализации в рудном поле островодужного вулканического пояса. /Соотношение разных типов оруденения вулкано-плутонических поясов Азиатско-Тихоокеанской зоны сочленения. Владивосток. ДВО РАН. 1991. С. 24-42.

6. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. — Свердловск: Изд-во Уральского университета, 1991. 254 с.

7. Карпов И.К., Киселев А.И., Летников Ф.А. Моделирование природного минералообразования на ЭВМ. М.: Недра, 1976. 256 с.
8. Карпов И.К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии. Новосибирск: Наука, 1981. 247 с.
9. Кемкина Р.А. Новые минеральные разновидности блеклых руд и особенности их химического состава Au-Ag месторождения о. Кунашир // Закономерности строения и эволюции геосфер. Материалы IV международного междисциплинарного научного симпозиума. Хабаровск: ИТИГ ДВО РАН, 1998_а. С.218-220.
10. Кемкина Р.А. Особенности химического состава блеклых руд золото-серебряного месторождения о. Кунашир // Проблемы геологии и освоения недр. Материалы докладов II Международной конференции им. Академика М.А. Усова. Томск: Изд-во НТЛ, 1998_б. С. 13-15.
11. Кемкина Р.А. Прогнозная оценка потенциальной экологической опасности руд Прасоловского месторождения // Проблемы экологии, безопасности жизнедеятельности и рационального природопользования Дальнего Востока и стран АТР. Материалы II Международной конференции. Владивосток: ДВТГУ, 2006. С. 186-190.
12. Кемкина Р.А., Севериненко А.П. Блеклые руды Прасоловского месторождения как потенциальный источник загрязнения прилегающей территории и акватории Кунаширского пролива // Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России. Тезисы докладов региональной конференции молодых ученых. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 82-83.
13. Кемкина Р.А., Кемкин И.В. Вещественный состав руд и минералогическая методика оценки потенциального загрязнения окружающей среды токсичными элементами (на примере Прасоловского Au-Ag месторождения). Владивосток: Дальнаука, 2007. 212 с.
14. Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. – М.: Мир, 1987. 288 с.
15. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде. Изд. 2-е. пер. и доп. Л.: Химия. 1975. 456 с.
16. Сахарова М.С., Китаенко А.Э., Рябов А.Н. Формы нахождения и особенности накопления экологически потенциально вредных элементов на месторождениях золото-серебряной формации Северо-Востока России // Вестник Московского университета, 1994. Серия 4. № 2. С. 55-62.
17. Токсичные металлы. По материалам статьи доктора Лауры Томпсон: Toxic Metals. // http://adhd-kids.narod.ru/articles/heavy_metal_toxicity.html. 2005.
18. Шеннон С. Питание в атомном веке, или как уберечь себя от малых доз радиации. — Минск: Изд-во Беларусь, 1991. 246 с.
19. Кемкина Р.А., Белова А., Рыбакова А. Mineral composition and texture-structure features of Au-Ag ore deposits. /Fourth International Young Scholars* Forum of the Asia-Pacific Regional Countries. Vladivostok. 2001. P. 116.
20. Кемкина Р.А., Севериненко А.П. Chemical composition of ores of the Praslovka deposit as potential factor of pollution of nature environment by toxic metals // Study of natural catastrophes on Sakhalin and Kuril islands. Proceedings of the I (XIX) International Conference. Yuzhno-Sakhalinsk, 2006. P. 143-145. 

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кемкин И.В. — доктор геолого-минералогических наук

Кемкина Р.А. — кандидат геолого-минералогических наук

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, e-mail: kemkin@fegi.ru

