
ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 502.55:622(571.6)

ТЕХНОГЕННЫЕ ВОДЫ ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

© 2007 г. В. П. Зверева

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН

Поступила в редакцию 31.01.2005

Потенциальная нагрузка сточных вод токсичными металлами зависит от состава рудного вещества, минерализации околорудного ореола, гипергенных и техногенных процессов, которые формируют поровые растворы и рудничные стоки, загрязняющие поверхностные и подземные воды. Содержание токсичных элементов – Cu, Zn, Pb, As, Cd, Fe, S и др. – в рудничных, шламовых и дренажных водах оловорудных и оловосульфидных месторождений в большинстве своем значительно выше фоновых характеристик. Разбавление этих вод должно быть проведено в сотни и даже тысячи раз, что практически невозможно. Из-за разрушения водных биоценозов самоочищение вод происходит медленнее, чем поступление загрязненных рудничных и шламовых.

Добыча и первичная переработка минерально-го сырья сопряжены с деградацией и частичной потерей земельных, водных и лесных ресурсов, возникновением ряда природоохранных проблем, ухудшением качества среды обитания людей в этих районах. Горная промышленность на Дальнем Востоке развивается очень давно. Более 60 лет обрабатываются открытым и закрытым способом касситеритовые и касситерит-сульфидные месторождения в Кавалеровском и не менее 50 лет в Комсомольском районах. К настоящему моменту большая часть запасов отработана, много рудников и горно-обогачительных фабрик закрыты. При разработке рудных тел открытым и закрытым способами на дневной поверхности остаются огромные горные выработки – карьеры, каналы, расчистки и отвалы вмещающих пород. В результате работы горно-обогачительных фабрик образуются огромные объемы отходов горнорудного производства – хвосты, что приводит к появлению горнопромышленных техногенных систем, включающих карьеры, каналы, расчистки, штольни и хвостохранилища.

В отработанных карьерах, штольнях и хвостохранилищах остатки руды становятся более открытыми для свободного доступа агентов выветривания, что приводит к активизации окисления сульфидов, т. е. к усилению гипергенных процессов и переходу их на техногенную стадию. Наиболее активно техногенные процессы протекают в окисленных рудах зоны гипергенеза. По существу они переформируют сформированную прежде зону гипергенеза, расширяя ее границы, значительно (в 20 и более раз), ускоряя процессы окисления и осуществляя вынос за пределы месторождений продуктов окисления руд. С началом отработки резко меняются зональность про-

филя окисленных руд, а также естественный ход интенсивно протекающих химических реакций. В результате этого формирование гипергенного профиля оказывается в непосредственной зависимости от соотношения кинетических параметров “геологического” и “технологического” гипергенеза.

При обработке руды используются токсичные реагенты: серная кислота, бутиловый ксантогенат, оксаль Т-80 или Т-92 (флотационные масла), жидкое стекло, известковое молоко и керосин, которые попадают в шламовые и подземные воды в виде органических соединений. После обработки руды и извлечения рудного концентрата остатки руды с содержанием олова ниже промышленного выносятся на хвостохранилища шламовыми водами, содержащими все реагенты, и там складываются. Хвостохранилища представляют собой отходы переработанной руды, закрытые сверху шламовыми водами в виде озер в местах действующих фабрик; либо осушенные, если фабрики давно закрыты. Хвосты отработанной руды складываются либо рядом, либо в непосредственной близости с горно-обогачительной фабрикой.

Объекты Кавалеровского района (Хрустальненский ГОК) расположены в основном в бассейне р. Зеркальная пять рудников и две обогачительные фабрики. В 1941 г. вступил в строй рудник Центральный (Дубровское месторождение), остальные рудники и вторая фабрика в 1960–1970-х годах, а к 1992 г. разрабатывалось уже 15 месторождений в основном закрытым способом. В Кавалеровском районе основным и единственным добываемым элементом всегда было Sn, хотя в последние годы попутно извлекались In и Ag, а такие элементы, как Cu, Pb, Zn, содер-

жания которых в руде промышленные, всегда уходили в хвосты. Большинство месторождений давно отработаны и закрыты. В последние годы разрабатывалось только медно-оловянное рудопроявление Искра, и повторно перерабатывались хвосты первого хвостохранилища с содержанием олова от 0.5 до 1.0%.

Вся долина пос. Фабричный (Кавалеровский район), в которой находится большой и сложный комплекс сооружений второй фабрики и три огромных хвостохранилища, несет соответствующую техногенную нагрузку. На первом хвостохранилище складировались отходы с 1948 по 1968 г. Его площадь 4 га, а объем 8 млн. т. Среднее содержание олова в хвостах 0.183%. Второе шламохранилище действовало с 1968 по 1988 г. и по размерам несколько превосходит первое: площадь 7 га, объем 21.6 млн. т; среднее содержание олова в хвостах 0.14%. Отходы третьего хвостохранилища накапливались с 1989 по 1997 г. Его площадь 4 га, объем 5.2 млн. т, содержание олова в хвостах 0.122%. Оно находится выше уровня фабрики и первого хвостохранилища примерно на 50 м.

Все три хвостохранилища имеют шламовые озера, которые закрывают более половины их поверхности. Понятно, что во время аварий на горно-обогатительной фабрике, прорыва дамбы, в период снеготаяния и сильных ливневых дождей размер шламовых озер увеличивается и может происходить слив или сброс этих вод в речную сеть района. При этом сами хвосты могут сползать, затягивая и закрывая растительный покров, в таких случаях через некоторое время растительность погибает. Подобные ситуации на хвостохранилищах Кавалеровского района наблюдаются довольно часто.

Хвосты представлены тонкодисперсной массой серого цвета, иногда окрашены в коричневые цвета разных оттенков гидроксидами железа, которые образуются за счет окисления сульфидов. Хвосты состоят из пирита, пирротина, галенита, сфалерита, арсенопирита, халькопирита, кварца, флюорита, турмалина, хлорита и других минералов.

Количественный и полуколичественный спектральный анализ семи образцов, взятых на трех хвостохранилищах, показали, что содержание рудных элементов в хвостах изменяется в следующих пределах (%): 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.

В Комсомольском оловорудном районе с момента работы горно-обогатительных фабрик из руды добывали Sn, Cu, Pb, Zn, Ag и W. В последние годы только на олово повторно перерабаты-

вались хвосты первого хвостохранилища карьерным способом, так как все рудники закрыты, хотя запасы руды не отработаны. Здесь, как и в других рудных районах, хвосты отработанной руды складировались рядом с горно-обогатительными фабриками. В районе две фабрики и три хвостохранилища. Первое хвостохранилище находится рядом с фабрикой и в непосредственной близости с пос. Горный. Отходы там накапливались с 1963 по 1997 г., его площадь 20 га, объем 10.4 млн. т, среднее содержание олова в хвостах 0.13%. Второе – расположено около другой фабрики и вблизи г. Солнечный. Здесь складировались отходы с 1969 по 2001 г. Оно по площади самое большое: 40.3 га, объем 24.09 млн. т, среднее содержание олова в хвостах 0.207%. Хвосты на этих хвостохранилищах находятся в сухом виде. Самое молодое 3-е хвостохранилище, оно закрыто сверху шламовыми водами. Объем его составляет 6.8 млн. т, площадь 30.5 га, а находится в 5 км от пос. Горный в направлении к г. Солнечный. Размеры площадей хвостохранилищ в Комсомольском районе фактически в 6 раз больше, чем в Кавалеровском, а объемы накопленных хвостов близки, хотя период существования оловорудной промышленности в Кавалеровском районе больше на 10 лет. Близкие объемы накопленных хвостов объясняются не меньшими масштабами горнорудного производства, а прорывом дамбы и сбросом больших объемов хвостов в речную сеть в Кавалеровском районе в конце 1960-х годов.

Содержание всех полезных компонентов в хвостохранилищах Комсомольского района следующее (г/т): Sn – 0.2, Cu – 0.46, Zn – 0.094, Pb – 0.123, Ag – 1.227, Bi – 0.03, As – 0.629. Тонкодисперсная масса хвостов серого цвета состоит (%) из: жильного кварца – 37.5, турмалина – 12.1, роговиково-осадочных пород – 45 и сульфидов (пирит, пирротин, арсенопирит и др.) – 3.8.

В изучаемых районах на хвостохранилищах или в непосредственной близости от них чувствуется сильный запах сернистых газов. Следовательно, отвалы находятся в стадии интенсивного взаимодействия с окружающей средой, возможно горения, и активно формируются (литифицируются), а значит воздействуют на все природные составляющие.

В массе хвостов окисление сульфидов приводит к появлению таких техногенных минералов, как гипс, халькантит, галотрихит, мелантерит, сидерит, алуноген, старкеит и др., в состав которых входят Cu, Fe, Mg, Al, Ca и S. В засушливую погоду корка этих техногенных минералов в виде выцветов покрывает борта карьера в повторно отработываемых хвостах. На поверхности хвостохранилищ эти явления выражены слабее. В толще хвостов техногенные процессы протекают

значительно активнее, а поэтому образуются более мощные прожилки техногенных минералов.

В заброшенных горных выработках из насыщенных растворов рудничных вод кристаллизуется более 30 техногенных минералов: глоккрит, гизингерит, роценит, питтицит, познякит, серпиерит, ксенасит, вудвардит, роуволфит и др. [9, 18, 21]. Техногенные образования представлены мощными (иногда до 50 см) корками, натеками, сталактит-сталагмитовыми образованиями, прожилками, развитыми в рудной массе, во вмещающих породах, на крепи, кровле и стенках горных выработок. Макроскопически среди них выделяются образования белого, желтого, зеленого, голубого и коричневого цвета разных оттенков, которые могут быть как моно-, так и полиминеральными. В составе рудничных вод высоки концентрации следующих элементов Cu, Zn, Fe, As, Al, Ca и Si, что позволяет кристаллизоваться из них техногенным минералам. Рудничные воды, содержащие широкий спектр тяжелых металлов, вытекая круглосуточно из горных выработок, выносят их в поверхностные и грунтовые воды, что приводит к изменению геохимического фона района.

Трансформация окружающей среды в пределах техногенных систем носит явно негативный характер, поскольку происходит не только отчуждение части территории под необходимые технические сооружения, но и резкое ухудшение качества основных компонентов ландшафта (почвы, растительности и др.) на территории, значительно большей, чем площадь, занятая самими отвалами и хвостохранилищами. Наиболее масштабны изменения в химическом составе поверхностных и грунтовых вод, вызванные поступлением вод техногенных (рудничных, дренажных и шламовых). Данные уральских ученых свидетельствуют о том, что качество воды в современных условиях формируется главным образом под влиянием антропогенной деятельности. В настоящее время чистые воды сохраняются только в верховьях рек, а ниже первого крупного населенного пункта [19] или горнопромышленного комплекса [20] оно резко ухудшается. Все, что связано с гипергенными процессами, техногенезом и рудничными водами, не проходит безрезультатно для окружающей среды. Гидрохимическое рассеяние неизбежно сопровождается биохимическим захватом тяжелых металлов растениями из почвенных вод, а также поступлением их по трофическим цепочкам в организм человека и животных, что приводит к высокой заболеваемости населения [1, 5].

Отрицательное воздействие техногенных систем различных рудных месторождений на природные воды показано в работах ряда авторов [3, 4, 6–8, 10–14, 16, 17 и т.д.]. Гидрохимические про-

бы техногенных вод (шламовых, дренажных и рудничных), отобранные автором в Кавалеровском и Комсомольском оловорудных районах, проанализированы методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе марки Plasmеquant-110. В пробах (таблица) определены следующие элементы: Cu, Pb, Zn, Sn, As, Co, Ni, Cr, Fe, Mn, Sr, Li, Ag, Al, B, Ba, Na, Ca и Mg, причем содержание Sb, Se, Hg, Bi, Cd, Ag, Co, Cr, Ni, Pb и Cu в большинстве из них оказалось ниже предела определения.

При детальном рассмотрении полученных результатов можно заметить, что почти все исследуемые образцы как шламовых, так и рудничных вод, кроме вод м. Фестивальное, относятся к числу близейтральных, рН которых изменяется от 6.0 до 7.0, а, как показано предыдущими исследователями, такие воды менее минерализованы, чем кислые. Однако содержание в них практически всего спектра элементов значительно выше фоновых. Гидрохимический фон грунтовых вод Комсомольского района [15] для рассматриваемого спектра элементов близок к данным по Кавалеровскому району (см. таблицу).

Следует заметить, что отбор гидрохимических проб в Кавалеровском районе (строки 1–6) осуществлялся в июле, когда отмечались ежедневные грозовые (ливневые) дожди, которые, вероятно, способствовали разбавлению этих вод и увеличению их щелочности. Из таблицы (строки 5, 6) видно, что содержание Zn в рудничных водах, взятых из штольни м. Хрустальное и озера, которое расположено ниже горных выработок (штолен), выше фоновых в 30–80 раз, а Mn – 30–60. Содержание Fe, Mn и Al во всех гидрохимических пробах шламовых вод Кавалеровского района (строки 1–3) выше фоновых, “эталонных” и кларковых в 10–120 раз, Zn – 10–80. Следует заметить, что фоновые, “эталонные” и кларковые данные для рассматриваемых элементов близки. Повторно отобранные гидрохимические пробы в Кавалеровском районе (август 2003 г. – более засушливое время), рН которых немного ниже предыдущих – 5.0–6.5 (строки 7–9), показали, что содержание большинства определяемых элементов них выше, чем в предыдущих (2001 г.), и превышают фоновые значения: Pb до 50 раз, Zn, Cu, Cd, Fe, Al – 10–1000, Mn – 100–500. В пробах 2003 г. (строки 7–10) и 2004 г. (строки 15–20) определялся также As, содержание, которого находится в пределах 0.02–0.06% и 0.15–0.64, что превышает фоновые в 10–300 раз.

Гидрохимические пробы рудничных и озерных вод обогащены Li, и Sr, но, к сожалению, данных по содержанию Li в литературных источниках нет, а поэтому сравнивать имеющиеся результаты не с чем. Сравнение данных по Sr в рудничных (строки 6, 10, 14, 15 и 18), озерных и дренажных

Характер и место отбора пробы	рН	Микроэлементы, мг/л												
		Zn	Cd	Li	Sr	Ba	Fe	Mn	Al	Cu	Pb	B	Ca	Mg
Содержание элементов в “эталонных” пресных водах	–	0.005	0.0002	–	0.050	0.010	0.500	0.005	0.200	0.001	0.003	–	–	–
Кларк речной воды*	–	0.002	0.00001	–	0.070	0.020	0.040	0.007	0.050	0.007	0.001	–	–	–
Фоновые условия**	7.3	0.009	0.00005	–	–	–	0.011	0.003	0.010	0.002	0.001	–	7.000	0.120
Кавалеровский район, 2001 г.														
1. Шламовые воды 1-го хв.	7.0	0.012	<ПО	0.051	0.478	0.018	0.099	0.582	0.052	<ПО	<ПО	<ПО	127.000	13.900
2. Шламовые воды 2-го хв.	6.5	0.093	<ПО	0.015	0.110	0.013	1.190	0.034	0.822	<ПО	<ПО	<ПО	22.700	4.670
3. Шламовые воды 3-го хв.	7.0	0.011	<ПО	0.002	0.068	0.024	0.355	0.014	0.142	<ПО	<ПО	<ПО	12.200	2.470
4. Вода из ручья ниже хв.	6.0	0.036	<ПО	0.022	0.241	0.001	0.198	0.102	0.171	<ПО	<ПО	<ПО	26.700	7.100
5. Вода из озера ниже штолен	6.0	0.692	<ПО	0.025	0.495	0.013	0.277	0.195	0.594	<ПО	<ПО	<ПО	65.400	25.700
6. Рудничные воды м. Хрустальное	7.0	0.251	<ПО	0.283	2.410	0.027	0.824	0.851	1.090	<ПО	<ПО	<ПО	165.000	60.000
Кавалеровский район, 2003 г.														
7. Шламовые воды 1-го хв.	6.0	0.078	<ПО	–	0.096	0.006	1.094	0.255	0.383	0.223	<ПО	0.453	14.900	2.710
8. Шламовые воды 2-го хв.	5.0	5.160	0.031	–	1.010	0.019	0.072	1.190	0.535	6.790	0.025	0.321	270.000	35.500
9. Шламовые воды 3-го хв.	6.5	0.398	<ПО	–	0.094	0.014	1.490	0.110	1.072	0.045	<ПО	0.198	18.600	3.520
10. Рудничные воды м. Хрустальное	6.5	0.072	<ПО	–	1.030	0.013	0.042	0.247	0.123	0.014	<ПО	0.177	126.000	41.300
Комсомольский район, 2002 г.														
11. Руч. Долгий	5.0	0.012	0.002	–	0.023	0.011	0.067	17.100	0.011	0.031	<ПО	1.820	5.800	1.020
12. Дренажный сток 1-го хв.	5.0	3.160	0.022	–	0.623	0.027	139.000	8.740	9.630	0.216	0.089	1.390	103.000	25.200
13. Шламовые воды 3-го хв.	5.5	9.350	0.051	–	0.165	0.025	14.400	14.500	1.210	0.515	0.904	0.786	49.000	10.100
14. Рудничные воды м. Перевальное	5.5	77.500	0.514		0.085	0.011	71.400	0.286	1.890	36.600	1.320	0.550	35.600	11.200
Комсомольский район, 2004 г.														
15. Рудничные воды м. Фестивальное	4.0	24.970	0.133	–	0.554	<ПО	14.800	20.800	17.50	153.00	0.002	0.089	143.000	30.800
16. Дренажные воды 2-го хв.	5.0	0.141	<ПО	–	0.191	<ПО	0.612	0.857	0.351	0.297	<ПО	0.247	51.200	4.510
17. Шламовые воды 3-го хв.	5.5	0.076	0.001	0.187	0.256	0.0336	<ПО	2.450	0.083	0.004	<ПО	–	89.100	10.600
18. Рудничные воды м. Перевальное	5.0	60.100	0.349	0.187	0.111	0.0003	32.200	12.100	2.830	48.300	1.200	–	40.300	11.300
19. р. Холдами, 2 км от г. Солнечный	6.0	0.141	<ПО	–	0.097	<ПО	0.085	0.017	0.085	0.086	0.029	0.017	17.100	3.290
20. р. Силинка ниже г. Солнечный	6.0	0.295	<ПО	0.214	0.079	<ПО	0.078	0.053	0.081	0.023	<ПО	–	16.400	3.150

Примечание. Прочерк – элемент не определялся, хв. – хвостохранилище; литературные данные: * – Markert, Fresenius, 1994; Иванов, 1994; ** – Борисова, Елпатьевский, 1992; содержание элементов ниже их предела определения (ПО): B – 0.01; Cd – 0.001; Pb – 0.015; Cu – 0.0015; содержание As в рудничных и шламовых водах хвостохранилищ Кавалеровского района (по данным 2003 г.) изменяется от 0.02 до 0.60, а его кларк равен 0.002.

(строки 5, 4), а также в шламовых водах (строки 1, 2, 7–9, 13 и 17) показывает, что в исследуемых образцах содержание элемента превышает значения “эталонных” и кларковых в 2–50 раз.

Гидрохимические пробы в Комсомольском районе также отбирались дважды в сентябре 2002 г. (строки 11–14) и в июле 2004 г. (строки 15–20). Как отмечает ряд исследователей [2, 8], рудничные и шламовые воды наиболее обогащены рудными элементами именно осенью – в более засушливое время. Величины рН этих проб близки между собой (5.0–5.5) и немного ниже значений в Кавалеровском районе. При детальном рассмотрении результатов видно, что самые высокие концентрации токсичных элементов Cu и Mn в рудничных водах медно-оловянного месторождения Фестивальное (строка 15), превышают фоновые в 75000 и 7000 раз, а – Zn, Cd, Fe и Al в 2700, 2600, 1300 и 1000 раз соответственно. В рудничных водах олово-полиметаллического месторождения Перевальное (строка 14) содержания Cd превышает фоновые в 10280 раз Zn – 8600, Cu – 1830 и Pb – 1320 раз. Содержания большинства определяемых элементов в повторно отобранных в 2004 г. рудничных водах м. Перевальное (строка 18) близки к данным, полученным в пробах 2002 г. (строка 14). Содержание Fe (71.4 мг/л) в данной пробе превышает фоновые в 6500 раз, а в дренажном стоке ниже шламохранилища (строка 12), из которого выпадают гидроксиды железа, еще выше и составляет 139.0 мг/л. В этих водах отмечаются также белесые осадки гидроксидов алюминия, причем содержание элемента превышает фоновые почти в 1000 раз. Содержания других элементов в дренажных водах (строка 12) также значительно повышены: Zn – в 1000, Cu и Cd – в 100 и Pb в 10 раз. В шламовых водах третьего, действующего в настоящее время хвостохранилища (строка 13) содержания Zn, Pb и Cd в 1000, а Cu в 250 раз выше фоновых.

Даже в водах ручья Долгий, протекающего вблизи хвостохранилища (строка 11), содержание Cu, Zn и Cd выше фоновых в 10 раз. Полученные данные по Mn для большинства (строка 11–13) гидрохимических проб Комсомольского района превышают фоновые в 10000 раз и только в рудничных водах м. Перевальное – в 100 раз. Повышенные содержания марганца в водах ручья Долгий и рудничных можно связать с поступлением его из зон дробления эффузивов вмещающих пород или с гипергенными процессами и минералами марганца, которые отмечаются на данном участке. Увеличение Mn в шламовых водах действующего хвостохранилища и дренажных, ниже отработываемых хвостов, происходит за счет искусственного дробления тех же эффузивов при получении оловянного концентрата. Повышенные содержания бора в пробах Комсомольского района (строки 11–13) по сравнению с Кавалеров-

скими связаны с высокими концентрациями этого элемента в турмалине – основном минерале турмалинитов вмещающих пород в данном районе, а при дроблении и окислении этого минерала бор попадает в шламовые и дренажные воды. Практически во всех отобранных пробах повышены содержания Ca и Mg (таблица). Содержание Mg превышает фоновые значения в 2–40 раз, а Ca – в 10–500.

Следует отметить, что в гидрохимических пробах Комсомольского района содержания большинства определяемых элементов выше на порядок и более, чем Кавалеровского района, и значительно превышают фоновые характеристики (см. таблицу). Содержание Sn, главного добываемого элемента изучаемых районов, в исследуемых пробах ниже чувствительности метода: 0.2 мг/л. Олово определялось методом атомно-адсорбционной спектроскопии на приборе марки HITACHI 180-50. Повышенные содержания олова более характерны для кислых вод, а рН исследуемых гидрохимических проб ближе к щелочным.

По степени обогащения рудничных вод элементы в Комсомольском районе можно расположить в следующем порядке: Zn>Fe>Cu>Ca>Mg>Al>Pb>Cd>B>Mn (м. Перевальное, 2002–2004 г.) и Cu>Ca>Mg>Zn>Mn>Al>Fe (м. Фестивальное), а в Кавалеровском (м. Хрустальное) – Ca>Mg>Sr>Al>Mn>Fe>Li>Zn (2001 г.) и Ca>Mg>Sr>Mn>B>Al (2003 г.). В последнем ряду содержание Zn, Cu и Fe ниже большинства элементов и близки между собой. По степени обогащения шламовых и дренажных вод элементы располагаются следующим образом: Ca>Mg>Al>Fe>Mn>Sr>Li>Zn (Кавалеровский р-н, 2001 г.) и Ca>Mg>Zn>Cu>Fe>Mn>Al>Sr (2003 г.) или Fe>Mn>Zn>Al (Комсомольский р-н). В последнем ряду содержания Sr, Cu, Pb ниже перечисленных элементов, но близки между собой.

ВЫВОДЫ

Потенциально токсичная металлическая нагрузка сточных вод зависит от вещественного состава руд, минерализации околорудного ореола, гипергенных и техногенных процессов, которые формируют поровые воды и несут соответствующую нагрузку металлов в рудничные, дренажные и шламовые воды, а затем с помощью последних – в грунтовые и питьевые воды.

Рудничные воды высокосульфидных месторождений, особенно тех, которые подверглись гипергенным процессам, выносят значительно больше металлов, чем малосульфидных или не затронутых процессами окисления. Кислые рудничные воды содержат больше рудных элементов, чем щелочные.

Прекращение разработки месторождений сопровождается увеличением мощности гидрогеохимического потока и увеличением выноса токсичных элементов в природные воды. Шламовые воды, просачиваясь в грунтовые и родниковые воды, несут в себе не только всю гипергенную, но и технологическую (в виде органических соединений) нагрузку этих вод.

К числу элементов, выносимых за пределы техногенной системы, относятся:

- 1) халькофильные – Cu, Zn, Pb, Cd, As, Sb, Bi, Ag, Fe, S;
- 2) литофильные – Al, Si, Ca, Mg, Na, K, Li, Ba;
- 3) сидерофильные – P, C, Ni, Co, Mn.

Содержания токсичных элементов – Cu, Zn, Pb, As, Cd, Fe, S и др. – в рудничных, шламовых и дренажных водах оловорудных и оловосульфидных месторождений в большинстве своем значительно выше фоновых характеристик. Разбавление этих вод должно быть проведено в сотни и даже тысячи раз, что практически невозможно. Из-за разрушения водных биоценозов самоочищение вод происходит медленнее, чем поступление загрязненных рудничных и шламовых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондарев Л.Г.* Ландшафты, металлы и человек. М.: Мысль, 1976. 72 с.
2. *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: компл. НИИ, 1987. С. 104–110.
3. *Борисова В.Н., Елпатьевский П.В.* Возможность решения некоторых экологических вопросов при геологоразведочных работах // Тихоокеан. геол. 1992. № 3. С. 134–139.
4. *Бортникова С.Б.* Геохимия тяжёлых металлов в техногенных системах (вопросы формирования, развития и взаимодействия с компонентами экосферы): Автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 2001. 48 с.
5. Вредные вещества в промышленности. Т. 3 / Под ред. Н.В. Лазарева, И.Д. Гадаскиной. Л.: Химия, 1977. 607 с.
6. *Грехнев Н.И., Остапчук В. И., Кислицин Л.Ф.* Тяжелые металлы в геосистемах районов добычи и переработки оловянно-полиметаллических руд юга Дальнего Востока // Влияние процессов горного производства на объекты природной среды. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 12–31.
7. Долговременная программа охраны природы и рационального использования природных ресурсов Приморского края до 2005 года. Владивосток: Дальнаука, 1992. Ч. 1. 352 с. Ч. 2. 276 с.
8. *Елпатьевский П.В., Луценко Т.Н.* Горнопромышленный комплекс как фактор формирования химического состава вод // Научные и практические аспекты добычи цветных и благородных металлов: Тез докл. междунар. совещ. Хабаровск, 2000. Т. 2. С. 407–415.
9. *Зверева В.П.* Техногенная минерализация зоны гипергенеза оловорудных месторождений // Новые данные по магматизму и металлогении Дальнего Востока. Владивосток: ДВО РАН, 1998. С. 145–153.
10. *Иваилов П.В.* Геохимические процессы трансформации касситерита в зоне гипергенеза // Геохимические и биогеохимические процессы в экосистемах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1999. Вып. 9. С. 6–51.
11. *Киселева Е.А.* Водные ореолы рассеяния оловорудных месторождений Приморья // Современные методы исследования в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: ВСЕГИНГЕО, 1970. С. 28–35.
12. *Киселева Е.А., Асланян М.В., Тимирев А.М., Соломин Г.А.* Гидрогеохимические исследования при обосновании прогноза последствий рудного техногенеза // Вопросы формирования химического состава подземных вод. М.: ВСЕГИНГЕО, 1979. С. 61–66.
13. *Колотов Б.А., Вагнер Б.Б., Миначева Л.И., Спасская Т.С., Соколовская Л.А.* Особенности формирования химического состава вод рудных месторождений северо-востока СССР // Вопросы формирования химического состава подземных вод. М.: ВСЕГИНГЕО, 1979. С. 20–37.
14. *Колотов Б.А., Рубейкин В.З., Малоглавец В.Г., Киселева Е.А., Малков И.И.* Гидрохимические поиски в условиях Приморского края. Владивосток: Приморское геологическое управление, 1970. 345 с.
15. Критерии и методика комплексной оценки рудных районов. М.: Недра, 1982. 181 с.
16. *Морозов Н.П.* Некоторые предпосылки разработки методики расчета предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ в природные зоны морей // Экологические аспекты химического и радиоактивного загрязнения водной среды. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. С. 103–119.
17. *Остапчук В.И., Грехнев Н.И.* Методика эколого-геологических исследований рудных районов масштаба 1:50 000. Хабаровск: ДВИМС, 1995.
18. *Постникова В.П., Яхонтова Л.К.* Минералогия зоны гипергенеза оловорудных месторождений Комсомольского района. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. 122 с.
19. *Черняев А.М., Напримеров В.В.* Водные ресурсы Урала // Изв. высш. учеб. завед. Горный журн. 1995. № 5. С. 13–49.
20. *Шахов И.С.* Запасы воды и водообеспеченность на Урале // Изв. высш. учеб. завед. Горный журн. 1995. № 5. С. 1–13.
21. *Яхонтова Л.К., Зверева (Постникова) В.П.* Основы минералогии гипергенеза. Владивосток: Дальнаука, 2000. 331 с.