

УДК 502.55:622(571.6)

В.П. Зверева, А.М. Костина, О.В. Коваль

**ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕХНОГЕННАЯ
СИСТЕМА КАВАЛЕРОВСКОГО РАЙОНА
ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И ЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ
НА ЭКОСФЕРУ***

Кавалеровский оловорудный район (Хрустальненского ГОКа) расположен в основном в бассейне р. Зеркальная. Это пятнадцать месторождений (Хрустальное, Силинское, Арсеньевское, Высокогорское, Дубровское и др.) и четыре обогатительные фабрики. Руды месторождений относятся к касситерит-силикатным и касситерит-сульфидным жильным и прожилково-вкрапленным морфологическим типам.

Среднее содержание олова в рудах эксплуатировавшихся месторождений составляет около 0,38%. Кроме олова, на Дубровском и Верхнем месторождениях в качестве попутных элементов отмечается In (в касситерите), на Силинском — Pb, Zn, Cd и Ag, на Арсеньевском — Pb, Zn, Sb, As, Bi, Cd и In, на Высокогорском — Cu и Ag, а на Тернистом Ag и In. Наиболее высокие содержания сульфидных минералов отмечаются в рудах месторождений Силинское и Арсеньевское 16,4%, а самое высокое по In отмечается в касситерите м. Тернистое 61,4 г/т.

Оловорудная промышленность в Кавалеровском районе развивается около семидесяти лет. Комбинат начал свое существование в 1941 г. с рудника Центральный (м. Дубровское). Остальные рудники и вторая фабрика вступили в строй в 1960-1970-х годах. Месторождения разрабатывались в основном закрытым способом. Карьер имеется только на м. Дубровское. В доперестроичный период с 1976 по 1988 г. ежегодно перерабатывалось 1135-1300 тыс. т руды. В 1989 г. общий объем вскрышных пород составлял 8867 тыс. т, а некондиционной

*Работа выполнена при поддержке ДВО РАН, проект № 09-2-СО-08-008.
руды — 664. Среднее содержание Sn во вскрышных отвалах 0,04%,
а в некондиционной руде 0,12.

В Кавалеровском районе основным и единственным добываемым элементом было Sn, а сульфиды, содержащие Cu, Pb и Zn в промышленных количествах всегда уходили в хвосты и складировались на хвостохранилищах. Большинство месторождений в районе отработано и закрыто. В годы перестройки перерабатывались медно-оловянные руды м. Искра и повторно хвосты первого хвостохранилища, из которых кроме Sn попутно извлекались In и Ag. В 2003 г. оловорудная промышленность в Кавалеровском районе прекратила свое существование, хотя полностью запасы руд не отработаны.

Отходы четырех фабрик — хвосты складировались на хвостохранилищах в непосредственной близости от них и населенных пунктов (100-500 м). Долина пос. Фабричный, в которой находится большой и сложный комплекс сооружений первой фабрики и три ее огромных хвостохранилища несет основную техногенную нагрузку. На первом хвостохранилище складировались отходы с 1948 по 1968 г. Его площадь 4 га, а объем хвостов 9,847 млн. т. Второе шламохранилище действовало с 1968 по 1988 г. Его площадь 7 га, объем хвостов 21,6 млн. т. Отходы третьего хвостохранилища накапливались с 1989 по 1997 г. Площадь 4 га, а объем хвостов 12,241 млн. т. Общая площадь, хвостохранилищ первой фабрики 15 га, а объем хвостов 43,688 млн. т.

На второй фабрике (пос. Рудный) перерабатывались руды м. Дубровское. Объем хвостов составляет 2,055 млн. т. Третья фабрика находится в пос. Высокогорск. Здесь складировано 0,9 млн. т хвостов. Четвертая фабрика расположена в пос. Таежка, где накоплено 2,249 млн. т хвостов. Пять хвостохранилищ из шести имеют шламовые озера, которые в настоящее время закрывают не более одной пятой части их поверхности, а одно — третье хвостохранилище пос. Фабричный осушено полностью. Хвосты представлены тонкодисперсной массой серого цвета и состоят из сульфидов: пирита, пирротина, галенита, сфалерита, арсенопирита и халькопирита. Местами хвосты окрашены в коричневые цвета разных оттенков гидроксидами железа, которые образуются за счет окисления сульфидов. К числу нерудных минералов хвостов относятся кварц, флюорит, хлорит и другие. Среднее содержание рудных элементов

в хвостах изменяется в следующих пределах (%): Sn — 0,10-0,23, Cu — 0,05-0,18, Pb — 0,01-0,09 и Zn — 0,05-0,13. Содержание Au и Ag в хвостах третьей фабрики составляет 0,6 и 18 г/т. Суммарный объем накопленных хвостов шести хвостохранилищ составляет 48,897 млн. т. Запасы олова и попутных компонентов на хвостохранилищах Хрустальненского ГОКа достаточно велики и составляют (т): по Sn 64929, Cu 19460, Pb 32395 и Zn 47950. Хвостохранилища являются техногенными месторождениями.

Вместе с пульпой в хвостохранилища попадают практически все применяемые на фабрике реагенты (цианистые соединения, ксантогенаты, фенолы, известь, кислоты, жидкое стекло, сосновое масло и другие вещества). Во время аварий на горнообогатительной фабрике, прорыва дамбы в период снеготаяния и сильных ливневых дождей размер шламовых озер увеличивается и происходит сброс хвостов и слив шламовых вод в речную сеть. Подобные ситуации на хвостохранилищах данного района наблюдаются довольно часто. Так в конце 1960 г. в Кавалеровском районе шламовое озеро и практически все накопленные хвосты были смыты в р. Зеркальную. При попадании шламовых и дренажных вод в поверхностные и грунтовые воды они не только изменяют их химический состав, но и убивают органическую жизнь водоемов.

Длительное развитие оловорудной промышленности, в результате которой на поверхности остались многочисленные канавы, расчистки, карьеры, штольни и хвостохранилища, привело к появлению горнопромышленной техногенной системы, в которой гипергенные процессы активизируются, благодаря увеличению поверхности соприкосновения тонкоизмельченных сульфидов с агентами выветривания. Когда находишься на хвостохранилищах или в непосредственной близости от них, то чувствуется сильный запах сернистых газов, что свидетельствует об активности гипергенных процессов в настоящее время. Отвалы и хвосты постоянно находятся в стадии интенсивного взаимодействия с окружающей средой и активно воздействуют на экосферу. Трансформация окружающей среды в пределах горнопромышленной техногенной системы носит явно негативный характер. Происходит ухудшение качества основных компонентов биосферы на территории значительно большей, чем занятая ими площадь.

Гипергенные процессы на хвостохранилищах происходят как на поверхности, так и в толще хвостов. Основой для окисления и

проявления гипергенных и техногенных процессов являются сульфиды перечисленные выше. Процесс окисления сульфидов может продолжаться столетиями. Пирит, например, окисляется на протяжении 800 лет [2] и все это время горнопромышленные техногенные системы воздействуют на экосферу и загрязняют ее. Замещение сульфидов происходит по схеме окисления в разбавленном сернокислом растворе [1]. При этом кристаллизуются гипергенные минералы: гипс, халькантит, сидеротил, алуноген и многие другие. Некоторые из них являются сезонными. В засушливое время они образуются, а в период дождей растворяются и исчезают. Корки этих минералов мощностью до 1 см в виде выцветов покрывают борта расчистки, повторно обрабатываемых хвостов. На поверхности хвостохранилищ эти процессы выражены слабее, а в горных выработках активно. Минералы кристаллизуются из концентрированных растворов рудничных вод мощностью до 0,5 м на стенах и кровле штолен. Среди них отмечаются халькантит, глоккерит, гизингерит, гидрагиллит, пиккеренгит и многие другие [1].

Анализ экспериментальных данных окисления сульфидов, минерального состава как самих гипергенных минералов, так и примесей показывает, что их химический состав, включающий: Cu, Pb, Zn, Sn, Co, Ni, Bi, Cr, As, Sb, Cd, W, Fe, Mn, Ag, B, Ba, Li, Sr, Ga, Ge, Al, Ca, Mg, K, Na, C, P и S, является показателем широкого спектра элементов, выносимых из зоны гипергенеза и горнопромышленной техногенной системы в природные воды [3]. Все перечисленные элементы, как широко распространенные, так и редкие, достаточно активно и в больших количествах просачиваются и выносятся из техногенной системы с помощью рудничных, дренажных, шламовых и поровых вод в поверхностные и грунтовые, что приводит к изменению геохимического фона района [4-6]. По данным Хрустальненского ГОКа жидкие стоки рудничных вод месторождений за 1988 г. составили: на Арсеньевском 1748,5, Юбилейном 1207,8, Центральном 895, Тернистом 757,5, Силинском 296,2, а общий объем равен 5221,2 тыс. м³. Максимальное содержание выносимых ими токсичных элементов отмечается на м. Арсеньевское и достигает по Cu 62,4, Zn 3221,5 и Fe 859 кг, а суммарное количество с выше перечисленных месторождений: по Cu 66,1, Zn 4178,8 и Fe 1104,5 кг. Дебет рудничного водоотлива в районе непостоянен, и значительно колеблется для разных рудников, достигая 3600 м³ в сутки. Откачиваемая вода обычно сбрасывается на отвал пус-

той породы и, дренируясь через него, поступает в поверхностные водоотводы, и только в период эксплуатации месторождений она частично проходила через отстойники. Следовательно, рудничные воды на протяжении многих десятилетий ничем ни сдерживаемые круглосуточно выносят широкий спектр элементов в огромных количествах в поверхностные и грунтовые воды.

Авторами с 2001 по 2008 год были отобраны и проанализированы гидрохимические пробы вод: шламовых озер, дренажные, рудничные, из ключей ниже хвостохранилищ и речные (табл. 1, 2). Пробы проанализированы методом элементного анализа на ИСП-МС – спектрометре «Agilent 7500с» с квадрупольным масс-анализатором фирмы «Agilent Technologies» США и ИСП-АЭС – спектрометре Plasmaquant 110 фирмы Jena, Германия. В них определялось содержание следующих элементов: Cu, Pb, Zn, Sn, Co, Ni, Cr, Fe, Mn, Sr, Li, Ag, Al, B, Ba, Na, Ca и Mg. Результаты показали, что содержание Sb, Se, Hg, Bi, Cd, Ag, Co, Cr, Ni, Pb и Cu в ряде проб оказались ниже предела определения. Отобранные гидрохимические пробы относятся к числу близонейтральных (pH = 4,5-7).

Самые высокие содержания рудных элементов в шламовых водах хвостохранилищ составляют (мг/л): Zn — 10,17, Cu — 6,79, Pb — 0,025, Cd — 0,041 и Ca — 270, в дренажных водах Fe — 24,05, Zn — 1,579, Cu — 12,5, Al — 7,52, Pb — 0,032 и в рудничных водах Zn — 30,73, Cu — 0,222, Sr — 2,41, Fe — 2,28, Mn — 5,99, Ca — 561,15 и Mg — 60,0 (табл. 1). Содержание элементов в шламовых водах хвостохранилищ (пос. Фабричный) превышает фоновые характеристики: в первом (строки 1-2) по Cu, Fe до 100 раз и Zn — 10, во втором (строки 3-6) по Cu — 55-3395, Fe — 6-108 и Zn — 6-1130, а в третьем (строки 7-10) по Cu — 26-1340, Fe — 9-135 и Zn — 44-112. Содержание Cd в шламовых водах в отдельные годы превышает фоновые значения в 620-820 раз, Mn до 280, Pb — 25. Шламовые воды хвостохранилища м. Дубровское (строка 11) содержат выше фоновых значений: Cu в 10 раз, Zn — 4, Pb — 5, Fe — 100 и Cd — 10. Дренажные воды хвостохранилища м. Высокогорское (строки 12-14) обогащены следующими элементами выше фоновых характеристик: Cu от 28 до 6250 раз, Zn — 77-175, Cd — 40-160, Fe — 6-2186, Pb до 32 и Al — 75.

В рудничных водах м. Хрустальное (строки 15-18) концентрация элементов превышает фоновые характеристики по Cu от 2 до 7 раз, Zn — 8-32, Mn — 82-432, Al — 12-100, Fe — 4-137, Ca — 18-23

и Mg до 500. В рудничных водах м. Дубровское (строки 19-21) концентрация элементов превышает фоновые данные по Cu от 2 до 100 раз, Zn — 14-3436, Cd — 10-220, Mn — 238-2421, Al до 84, Fe — 8-207, Mg — 230-280, Ca — 32-80. Гидрохимические пробы, взятые в — устье штольни № 28 м. Высокогорское (строки 22-24), содержат Cu в 3-16, Zn — 8-20, Fe — 3-44 раза больше, чем фоновые воды. Самые высокие содержания Sr — 1,981-2,41 и Li — 0,358 мг/л отмечаются в рудничных водах.

В пробах речных вод содержание определяемых элементов также во много раз выше фоновых значений (табл. 2): левый приток кл. Силинского (строки 1, 2) Zn в 66-106, Cd — 6-20, Fe до 10, Mn — 3-10, Mg — 23-147 и Ca — 4-355; кл. Силинский (строки 3, 4) Zn — 15-586, Cd — 2-20, Mg — 40-48, Ca до 63; кл. Партизанка (строки 5-7) Zn — 6-9, Cd — 2-12, Fe — 4-20, Mg — 57-157 и Ca — 6-8; р. Кавалеровка (строки 8, 9) Zn до 5, Cd — 2, Fe — 10, Mg — 50-186 и Ca — 5-41 и кл. Ветвистый (строка 10) Cu — 46, Zn — 11, Pb — 10, Cd — 220, Fe — 60, Mn — 100.

В гидрохимических пробах 2003-2008 гг. определялся As, содержание которого находится в пределах — 0,02-0,64 мг/л, что превышает его фоновые значения от 10 до 310 раз.

Максимальная суммарная концентрация определяемых элементов отмечается в шламовых водах второго хвостохранилища в 2003 г. и составляет 325,432 мг/л, а в 2008 г. — 136,852, в рудничных водах м. Дубровское в 2008 г. — 601,872 и в водах кл. Силинского в 2008 г. — 450,047.

Из табл. 1 видно, что гидрохимические пробы, отобранные как в период работы горно-обогатительной фабрики (2001 и 2003 г.), так и после ее закрытия (2006 г.) обогащены токсичными элементами тяжелых металлов и выносят их постоянно за пределы техногенной системы, загрязняя поверхностные и грунтовые воды.

Интенсивное окисление сульфидов в процессе гипергенеза приводит не только к изменению минерального состава руд, хвостов и вмещающих оруденение пород, но и к образованию агрессивной гидрохимической среды и нарушению гидрохимического фона района. К числу токсичных элементов, выносимых за пределы горнопромышленной техногенной системы, относятся следующие: халькофильные — Cu, Zn, Pb, Cd, As, Sb, Bi, Ag, S, литофильные — Al, Si, Ca, Mg, Na, K, Li, Ba и сидерофильные — Fe, Mn, Co, Ni, P, C.

В результате самопроизвольного стока техногенных вод в природные водоемы, а также выноса тонкодисперсной составляющей хвостохранилищ происходит загрязнение не только вод, но и донных осадков. Из речных вод в донные осадки попадают многие металлы, среди которых основным является Al (6,5-9,95), содержание Zn (0,1-0,4) и других халькофильных элементов (0,0n-0,00n%) ниже, но тоже значительное. Содержание металлов в осадках рек горнопромышленных районов Приморского края следующее (мг/л): Fe — 0,9-1,0, Mn — 0,02-0,15, Zn — 0,007-0,11, Cu — 0,0003-0,008, Pb — 0,005-0,23, Cd до 0,001 [7]. В донных осадках илов дальневосточных рек [6] содержание ряда элементов достигает (%): Pb до 1-3, Zn — 3, As — 0,1, Cd — 0,03, Sn — 0,6, что сопоставимо с промышленным содержанием руд. По данным ряда авторов [8] донные осадки и почвы принимают на себя до 70% техногенных нагрузок.

Исследования, проведенные в атмосфере в пределах горнопромышленных предприятий, показали, что, они активно воздействуют и на атмосферу. По данным микроскопии и микрозондирования, в макро- и микродифракциях пыли присутствуют следующие минеральные формы: силикат железа и свинца, оксид титана и цинка, халькопирит, галенит, сфалерит, церуссит, англезит и др. [9]. Наблюдения, проведенные в Приморье, показывают, что имеет место превышение ПДК в воздухе на границе санитарно-защитной зоны хвостохранилищ. Среднегодовой выброс фиксируемых загрязняющих веществ в атмосферу Хрустальненским ГОКом после очистки составляет (т/год): Pb — 0,02, As — 0,25, твердых — 62, газообразных — 2003, сажи вместе с пылью — 60 и всего — 2065, в то время как расчетные показатели очистки должны составлять: Pb — 0,0006, сернистого газа — 0,41, окиси углерода — 0,23, двуокиси азота — 0,0065, сажи и пыли — 0,002 и всего по норме — 0,67 [5].

Таблица 1
Химическая характеристика техногенных стоков
на месторождениях Кавалеровского район

Характер и место отбора пробы	рН	Микроэлементы, мг/л												
		Zn	Cd	Li	Sr	Ba	Fe	Mn	Al	Cu	Pb	B	Ca	Mg
Фоновые условия*	7,3	0,009	0,00005	-	-	-	0,011	0,003	0,010	0,002	0,001	-	7,00	0,12
1. Шламовые воды 1-го хв. (2001 г.)	7,0	0,012	<ПО	0,051	0,478	0,018	0,099	0,582	0,052	<ПО	<ПО	<ПО	127,00	13,90
2. Шламовые воды 1-го хв. (2003 г.)	6,0	0,078	<ПО	-	0,096	0,006	1,094	0,255	0,383	0,223	<ПО	0,453	14,90	2,71
3. Шламовые воды 2-го хв. (2001 г.)	6,5	0,093	<ПО	0,015	0,110	0,013	1,190	0,034	0,822	<ПО	<ПО	<ПО	22,70	4,67
4. Шламовые воды 2-го хв. (2003 г.)	5,0	5,160	0,0310	-	1,010	0,019	0,072	1,190	0,535	6,790	0,025	0,321	270,00	35,50
5. Шламовые воды 2-го хв. (2006 г.)	5,0	0,059	<ПО	0,014	0,324	0,025	0,856	0,052	0,176	0,110	0,008	<ПО	46,57	12,28
6. Шламовые воды 2-го хв. (2008 г.)	5,5	10,170	0,0410	0,072	0,430	0,037	0,100	2,830	3,510	0,221	0,001	<ПО	95,51	23,93
7. Шламовые воды 3-го хв. (2001 г.)	7,0	0,011	<ПО	0,002	0,068	0,024	0,355	0,014	0,142	<ПО	<ПО	<ПО	12,20	2,47
8. Шламовые воды 3-го хв. (2003 г.)	6,5	0,398	<ПО	-	0,094	0,014	1,490	0,110	1,072	0,045	<ПО	0,198	18,60	3,52
9. Шламовые воды 3-го хв. (2006 г.)	5,0	0,650	0,0040	0,015	0,118	0,007	0,250	0,683	0,126	1,000	<ПО	0,040	16,53	3,31
10. Шламовые воды 3-го хв. (2008 г.)	5,5	1,009	0,0070	0,046	0,014	0,017	0,090	1,430	0,530	2,681	0,001	<ПО	24,38	8,14
11. Шламовые воды хв. Дубровское (2008 г.)	5,0	0,043	0,0005	0,006	0,040	0,011	1,060	0,020	0,051	0,019	0,005	<ПО	6,72	2,44
12. Дренаж хв. м. Высокогорское (2007 г., д.)	5,0	0,698	0,0030	0,006	0,074	0,013	0,097	1,874	0,023	0,056	<ПО	0,002	9,80	4,46

13. Дренаж хв. м. Высокогорское (2008 г., а.)	5,0	1,579	0,0020	0,004	0,059	0,001	24,050	1,070	7,520	12,500	0,032	<ПО	84,46	2,05	
14. Дренаж хв. м. Высокогорское (2008 г., и.)	5,0	1,297	0,0080	0,034	0,240	0,029	0,060	2,220	1,230	0,234	0,001	<ПО	37,24	7,02	
15. Рудничные воды м. Хрустальное (2001 г.)	7,0	0,251	<ПО	0,283	2,410	0,027	0,824	0,851	1,090	<ПО	<ПО	<ПО	165,00	60,00	
16. Рудничные воды м. Хрустальное (2003 г.)	6,5	0,072	<ПО	-	1,030	0,013	0,042	0,247	0,123	0,014	<ПО	0,177	126,00	41,30	
17. Рудничные воды м. Хрустальное (2006 г.)	5,0	0,287	<ПО	0,157	2,164	0,027	1,513	1,296	0,146	0,005	<ПО	0,170	131,00	30,32	
18. Рудничные воды м. Хрустальное (2008 г.)	5,5	0,078	0,0003	0,358	2,120	0,028	0,050	1,130	<ПО	0,004	0,001	0,020	145,20	50,15	
19. Рудничные воды м. Дубровское (2007 г., д.)	5,0	0,129	0,0005	0,030	0,598	0,013	0,436	0,714	0,012	0,004	<ПО	0,005	230,34	27,80	
20. Рудничные воды м. Дубровское (2008 г., а.)	5,5	30,730	0,0040	0,206	1,981	0,011	2,280	7,265	0,840	0,073	0,002	<ПО	561,15	28,18	
21. Рудничные воды м. Дубровское (2008 г., и.)	5,5	4,340	0,0110	0,166	1,600	0,015	0,080	5,990	0,490	0,222	0,001	<ПО	228,00	34,00	
22. Устье штольни (2007 г., д.)	28	5,0	0,178	<ПО	0,013	0,189	0,009	0,037	0,382	0,004	0,001	<ПО	0,002	11,64	3,22
23. Устье штольни (2008 г., а.)	28	5,0	0,175	0,0007	0,010	0,164	0,006	0,410	0,132	0,359	0,032	0,003	<ПО	49,18	1,36
24. Устье штольни (2008 г., и.)	28	5,0	0,075	0,0005	0,009	0,080	0,011	0,080	0,130	0,040	0,007	0,001	<ПО	9,59	2,01

Примечание. Прочерк – элемент не определялся, хв. – хвостохранилище; (2007 г., д.) – (2007 г., декабрь); (2008 г., а.) – (2008 г., апрель); (2008 г., и.) – (2008 г., июль); литературные данные: * – Борисова, Елпатьевский, 1992; содержание элементов ниже их предела определения (ПО): В – 0,01; Cd – 0,001; Pb – 0,015; Cu – 0,0015; содержание As в рудничных и шламовых водах хвостохранилищ Кавалеровского района (по данным с 2003 по 2008 г.) изменяется от 0,02 до 0,62, а его фоновые содержания 0,002.

Таблица 2

Химическая характеристика речных вод на месторождениях Кавалеровского район

Характер и место отбора пробы	рН	Микроэлементы, мг/л												
		Zn	Cd	Li	Sr	Ba	Fe	Mn	Al	Cu	Pb	B	Ca	Mg
Фоновые условия*	7,3	0,009	0,00005	-	-	-	0,011	0,003	0,010	0,002	0,0011	-	7,00	0,12
1. Левый приток кл.. Си-линского (2007 г., д.)	5,0	0,963	0,0010	0,036	0,496	0,014	0,129	0,001	0,009	0,001	<ПО	0,002	28,18	17,69
2. Левый приток кл.. Си-линского (2008 г., а.)	5,0	0,615	0,0003	0,011	0,141	0,005	0,010	0,001	0,030	<ПО	<ПО	<ПО	526,20	2,85
3. Ключ Силинский (2007 г., д.)	4,5	0,135	0,0001	0,011	<ПО	0,006	0,037	0,001	0,033	0,001	<ПО	0,001	9,51	5,79
4. Ключ Силинский 28 (2008 г., а.)	5,0	5,116	0,0010	0,034	0,036	0,008	0,001	0,002	0,030	<ПО	<ПО	<ПО	440,00	4,80
5. Река Партизанка ниже хв. (2007 г., д.)	4,5	0,010	0,0001	0,010	0,431	0,013	0,236	0,001	0,011	0,001	<ПО	0,004	52,11	18,89
6. Река Партизанка ниже хв. (2008 г., а.)	5,0	0,055	0,0003	0,012	0,434	0,010	0,040	0,026	0,030	0,001	<ПО	<ПО	61,68	8,31
7. Река Партизанка ниже хв. (2008., и.)	5,0	0,086	0,0006	0,016	0,270	0,012	0,060	0,060	0,020	0,011	0,001	<ПО	42,60	6,87
8. Река Кавалеровка, ниже хв. (2007 г., д.)	4,5	0,045	0,0001	0,018	<ПО	0,022	0,167	0,001	0,001	0,001	<ПО	0,003	39,32	22,36
9. Река Кавалеровка, ниже хв. (2008 г., а.)	4,5	0,014	0,0001	0,016	0,261	0,010	0,040	0,012	0,030	0,001	<ПО	<ПО	292,70	6,00
10. Ключ Ветвистый, ниже хв. (2008., и.)	5,0	0,099	0,0110	0,005	0,060	0,020	0,660	0,310	0,370	0,092	0,011	<ПО	8,36	2,20

Примечание. Прочерк – элемент не определялся, литературные данные: * – Борисова, Елпатьевский, 1992; содержание элементов ниже их предела определения (ПО): В – 0,01; Рb – 0,015; Cu – 0,0015.

Очистка атмосферы происходит дождевыми и снеговыми осадками. Результаты анализа осадков в районе олово-сульфидного м. Смирновское показали, что наиболее высокие поступления тяжелых металлов связаны с начальной фазой морозящих дождей. Содержание Pb, Fe и Zn в них достигает 100-200 мкг/л, а Cu, Mn и Al — 30-60 [6]. По данным опробования снегового покрова в пределах пос. Кавалерово в составе атмосферных пылевых выпадений зафиксированы Zn 0,1-0,3, Cu 0,01-0,03 и Sn 0,1-0,3%. Талые воды техногенных систем также подвергаются воздействию хвостов [4].

В районах развития горнорудной промышленности, благодаря ветровому переносу хвостов на значительные расстояния, происходит загрязнение и накопление тяжелых металлов руд в почве и растениях. В почвах дальневосточных оловорудных месторождений [10-11] независимо от генетического типа оруденения содержание Sn, в том числе и в биогенном гумусовом горизонте, зависит от интенсивности оловянной минерализации и варьирует в широких пределах: от 0,0001 до 0,6%, превышая кларк до 600 раз [12]. В нижележащих генетических горизонтах его содержание выше, что свидетельствует о биогенном накоплении Sn с глубиной. Известно, что техногенное накопление ряда металлов (Pb, Zn, Cu, Cd, Fe, Mn) происходит в листьях, коре, древесине и корнях деревьев, а также в грибах, ягодах и овощах. В хвое и ветвях ели аянской может содержаться металлов в 2-50 раз больше, чем в соответствующих органах растений фоновых территорий [13]. Олово содержится в растениях более 40 видов в количестве от 0,002 до 0,1%, т. е. в 4-200 раз больше кларка [10].

Появление горнопромышленной техногенной системы и активно происходящие в ней гипергенные процессы привели к тому, что большая часть территории Кавалеровского района по показателям почв и донных осадков имеет умеренно опасный и опасный экологические уровни [14].

В заключение следует отметить, что проведенный предыдущими исследователями и авторами данной статьи анализ шламовых, дренажных, рудничных и речных вод показал, что на протяжении 25 лет содержание в них широкого спектра элементов практически постоянно в десятки и тысячи раз выше фоновых характеристик. Для ряда рассматриваемых элементов отмечается даже некоторая тенденция увеличения их концентрации во времени. Высокая активность гипергенных процессов в техногенных системах

оловорудных месторождений Дальнего Востока привела к значительному загрязнению экосферы в целом. Далее на протяжении многих десятков лет состояние экосферы будет изменяться главным образом в худшую сторону, так как сульфиды окисляются на протяжении столетий. Следует учесть, что запасы коренных руд в районе полностью не отработаны, а хвостохранилища представляют собой фактически комплексные техногенные месторождения широкого спектра элементов Sn, Cu, Pb, Zn, Cd, In и др. Ситуация, создавшаяся в рассматриваемом районе, требует проведения соответствующих мероприятий по рекультивации хвостохранилищ в самое ближайшее время. Прежде, чем хвостохранилища рекультивировать хвосты необходимо переработать повторно, чтобы извлечь широкий спектр полезных компонентов, который они содержат в промышленных количествах, пока процессы гипергенеза не зашли столь далеко и не окислили полностью тонкоизмельченные сульфидные руды. Вероятно, через 10-15 лет это уже будет сделать поздно, т. к. хвосты окислятся, а имеющиеся технологии не позволяют перерабатывать окисленные руды. До тех пор пока проблемы охраны окружающей среды не будут решены, а техногенные системы рекультивированы они будут активно воздействовать на экосферу, т. к. самопроизвольно гипергенные процессы не прекратятся. Повторная же переработка хвостов, со значительным сокращением их объема, не только выгодна с экономической и экологической стороны, но также упростит проведение рекультивационных мероприятий и снизит их себестоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Постникова В.П., Яхонтова Л.К.* Минералогия зоны гипергенеза оловорудных месторождений Комсомольского района. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. 122 с.
2. *Бортникова С.Б.* Геохимия тяжёлых металлов в техногенных системах (вопросы формирования, развития и взаимодействия с компонентами экосферы): Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Новосибирск: НИЦ ЦИГГМ СЦ РАН, 2001. 48 с.
3. *Зверева В.П.* Гипергенные и техногенные минералы как показатель экологического состояния оловорудных районов ДВ // *Геоэкология*. 2005. № 6. С. 533-538.
4. *Грехнев Н.И.* Эколого-геохимические аспекты оценки техногенного загрязнения геосистем горнорудных районов юга Дальнего Востока // *Влияние процессов горного производства на объекты природной среды*. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 32-45.

5. Долговременная программа охраны природы и рационального использования природных ресурсов Приморского края до 2005 года. Владивосток: Дальнаука, 1992. Ч. 1. 352 с; Ч. 2. 188 с.
6. *Елпатьевский П.В.* Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, 1993. 252 с.
7. *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 пром-сть, 1983. С. 103-119.
8. *Крупская Л.Т., Саксин Б.Г.* К вопросу о месте геоэкологии в системе наук и научных дисциплин // Добыча и переработка минерального сырья Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2002. С. 161-167.
9. *Турасбеков А.Х., Джураев А.Д., Климанов Е.В. и др.* Экологическая минералогия эндогенных, экзогенных и техногенных систем // Роль минералогических исследований в решении экологических проблем: Мат-лы к Годичному собранию ВМО 2002 г. Москва, 2002. С. 179-181.
10. *Иваилов П.В.* Ландшафтно-геохимические исследования на базальтовых массивах. Владивосток: Дальнаука, 2003. 323 с.
11. *Крупская Л.Т.* Оценка воздействия горного производства на почвы Дальнего Востока // Влияние процессов горного производства на объекты природной среды. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 80-86.
12. *Виноградов А.П.* Поиски рудных месторождений по растениям и почвам // Тр. Биохим. лаб. АН СССР. 1954. Вып. 10. С. 3-27.
13. *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.
14. *Бураго А.И., Шлыков С.А.* Комплект геохимических карт южной половины Приморского края. Масштаб 1:1000000 и объяснительная записка к ним: Пром. отчет ТОО МИФ «Экоцентр» по объекту участок Приморский за 1994-1997 г. Владивосток, 1997. 156 с. **ИДБ**

Коротко об авторах

Зверева В.П. – доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник,
Костина А.М. - аспирантка,
 Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Е
 – mail: zvereva@fegi.ru
Коваль О.В. – аспирантка,
 Дальневосточный государственный университет, г. Владивосток.