

# ТЕХНОГЕННЫЕ ВОДЫ КОМСОМОЛЬКОГО, КАВАЛЕРОВСКОГО И ДАЛЬНЕГОРСКОГО ГОРНОРУДНЫХ РАЙОНОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ГИДРОСФЕРУ

В. П. Зверева<sup>а,б</sup>, Л. Т. Крупская<sup>в</sup>

<sup>а</sup> Дальневосточный федеральный университет, ул. Октябрьская 27, Владивосток, 690950 Россия

<sup>б</sup> Дальневосточный геологический институт ДВО РАН,  
пр. 100-летия Владивостока 159, Владивосток, 690022 Россия

<sup>в</sup> Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская 136, Хабаровск, 680035 Россия

Поступило в редакцию 11 сентября 2012 г.

Потенциальная нагрузка сточных вод токсичными металлами в техногенных системах высока и зависит от состава рудного вещества, минерализации окорудного ореола, гипергенных и техногенных процессов, которые формируют поровые растворы, рудничные, шламовые и дренажные воды. В результате поверхностные и подземные воды загрязняются токсичными элементами Cu, Zn, Pb, As, V, Fe и др., содержание которых в техногенных водах в большинстве значительно выше фоновых характеристик. Воздействие горнопромышленных техногенных систем привело к тому, что исследуемые районы характеризуются напряженной и кризисной экологической ситуацией.

*Ключевые слова:* отходы горнорудного производства, хвосты, техногенное загрязнение, горнопромышленная техногенная система, рудничные, шламовые, дренажные воды.

## ВВЕДЕНИЕ

Добыча и первичная переработка минерального сырья сопряжены с деградацией и частичной потерей земельных, водных и лесных ресурсов, ухудшением качества среды обитания в этих районах и возникновением ряда других экологических проблем.

Горная промышленность на Дальнем Востоке развивается давно. Более 70 лет активно отрабатываются открытым и закрытым способом касситеритовые и касситерит-сульфидные месторождения в Комсомольском (Хабаровский край) и Кавалеровском (Приморский край) районах и более 100 лет касситерит-сульфидные и полиметаллические в Дальнегорском (Приморский край). К настоящему времени большая часть запасов отработана, а рудники и горно-обогатительные фабрики в Комсомольском и Кавалеровском районах закрыты и только в Дальнегорском районе работы продолжаются, но

объемы добываемой и перерабатываемой руды сократились.

При разработке рудных тел открытым и закрытым способом на дневной поверхности остаются огромные горные выработки – карьеры, каналы, расчистки и отвалы вмещающих пород, накапливаются большие объемы отходов горнорудного производства – хвосты с высоким содержанием тяжелых металлов, которые складываются в хвостохранилищах. Все это приводит к появлению горнопромышленных техногенных систем, где сульфидные минералы становятся более доступными для агентов выветривания, что приводит к активизации их окисления, т. е. усилению гипергенных процессов и переходу системы на техногенную стадию. Наиболее активно техногенные процессы протекают в окисленных рудах зоны гипергенеза, где они в значительной степени (в 20 и более раз) способствуют расширению ее границы, ускорению процессов окисления и еще большему выносу за ее

пределы продуктов окисления и интенсивному техногенному загрязнению экосистем. Дождевая вода, попадающая на хвостохранилище, после окисления первых порций сульфидного материала превращается в кислый сульфатный раствор. Разрушение сульфидов – процесс длительный, например, пирит может окисляться в течение 800 лет [1]. На поверхности и в толще хвостов, особенно в засушливое время, появляются налеты, тонкие корочки и пленки техногенных минералов из классов: сульфатов, карбонатов, силикатов, арсенатов и др. [2, 3].

После обработки руды и извлечения полезного компонента ее остатки с содержанием ниже промышленного выносятся на хвостохранилища шламовыми водами, содержащими все реагенты, используемые при обогащении, и там складированы. В местах действующих фабрик хвостохранилища представляют собой объект для размещения отходов переработанной руды, закрытый сверху шламовыми водами в виде озер либо осушенный, если фабрики давно закрыты. Хвостохранилища в основном находятся в непосредственной близости с горно-обогатительной фабрикой и жилыми зонами.

В связи с этим цель работы состояла в экологической оценке влияния отходов горно-рудной промышленности на гидросферу района для обеспечения их экологической безопасности. Исходя из цели исследования, сформулированы задачи: (1) проанализировать и обобщить литературные данные по проблеме воздействия техногенных вод на гидросферу; (2) изучить состав рудничных, шламовых и дренажных вод в Комсомольском, Кавалеровском и Дальнегорском районах и оценить их влияние на поверхностные и грунтовые воды; (3) разработать предложения по снижению негативного воздействия техногенных вод на водные экосистемы.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В Комсомольском оловорудном районе с момента работы горно-обогатительных фабрик из руды добывались Sn, Cu, Pb, Zn, Ag и W, а в годы перестройки частично повторно перерабатывались хвосты первого хвостохранилища. В районе четыре крупных месторождения, две обогатительные фабрики и три хвостохранилища, общей площадью 90,8 га, где накоплено 41,49 млн. т. Содержание в хвостах (г/т): Sn до 0,2, Cu – 0,46, Zn – 0,094, Pb –

0,123, Ag – 1,227, As – 0,629. Два хвостохранилища осушены полностью, а одно частично закрыто шламовым озером.

В Кавалеровском районе основным и единственным добываемым элементом всегда было Sn, хотя в годы перестройки попутно извлекались In и Ag, а другие элементы Cu, Pb, Zn с промышленным содержанием уходили в хвосты. В исследуемом районе объекты горнорудного производства расположены главным образом в бассейне р. Зеркальная. Это пять рудников, четыре обогатительные фабрики и шесть хвостохранилищ. В долине пос. Фабричный находится три хвостохранилища, площадь которых 15 га, а объем накопленных хвостов 43,688 млн. т. Остальные три хвостохранилища располагаются в поселках Дубровский, Высокогорский и Таежка, где складировано 5,204 млн. т. Содержание Sn в хвостах изменяется от 0,122 до 0,183%, Cu до 0,26, Zn – 1. Три хвостохранилища из шести частично закрыты шламовыми озерами.

В Дальнегорском районе руды касситерит-сульфидного м. Смирновское перерабатывались на Краснореченской обогатительной фабрике (КОФ). Основными попутными компонентами в них являлись Ag, Sb, Cd, Bi, Cu и In. Отходы после извлечения полезного концентрата складировались на двух хвостохранилищах, расположенных в непосредственной близости от фабрики – старое и новое хвостохранилища КОФ. Площадь, занятая ими, составляет 2160 тыс. м<sup>2</sup>, где находится 6,8 млн. т хвостов. Руды полиметаллических место-рождений (около 20) перерабатывались на двух Центральных обогатительных фабриках (ЦОФ), а их отходы складированы на старом и новом хвостохранилищах ЦОФ, суммарной площадью 825 тыс. м<sup>2</sup> и объемом хвостов 32,2 млн. т. Старые хвостохранилища КОФ и ЦОФ осушены, а новые частично закрыты шламовыми озерами. Содержание Ag в хвостах КОФ 39,5 г/т. Химический состав хвостов ЦОФ представлен следующими химическими элементами (%): Zn – 0,27-0,29, Pb – 0,11-0,18, Cu – 0,01-0,03, Fe – 4,37-4,6 и Ag – 5-6 (г/т).

При формировании горнопромышленной техногенной системы происходит загрязнение атмосферы, почвенного и растительного покрова [4 и др.], нарушается рельеф, изменяются условия формирования водного стока и т. д. Рудничные и

дренажные воды в больших объемах выходят за пределы горного отвода и загрязняют поверхностные, грунтовые, родниковые и питьевые воды. Наиболее губительное воздействие на окружающую среду оказывает высокая агрессивность техногенных (рудничных, дренажных и шламовых) вод из-за их насыщенности продуктами техногенного разложения сульфидов и реагентами, поступающими вместе с пульпой. Техногенные воды (шламовые, дренажные и рудничные), содержащие Zn, Fe, Cu, Pb и др. элементы выше фоновых значений в десятки, сотни и даже тысячи раз, ничем не очищаемые сбрасываются круглосуточно в больших объемах и активно воздействуют на химический состав поверхностных и грунтовых вод. Это приводит к изменению природного геохимического фона в рассматриваемых районах [2, 3, 5–16].

Изучение техногенных вод проводилось в период с 2001 по 2011 гг. методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе марки Plasmaquant-110. В них определены следующие элементы: Cu, Pb, Zn, Sn, Co, Ni, Cr, Fe, Mn, Sr, Li, Ag, Al, B, Ba, Na, Ca и Mg (табл. 1–3). Содержание Sb, Se, Hg, Bi, Cd, Ag, Co, Cr, Ni, Pb и Cu в большинстве проб ниже предела определения.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При детальном рассмотрении полученных результатов можно заметить, что pH анализируемых вод изменяется от 1 до 7, а большинство исследуемых гидрохимических проб относятся к близонейтральным. Как известно, из литературных источников последние менее минерализованы по сравнению с кислыми водами [11, 12]. Кислые и сильнокислые воды (табл. 1–3) обнаружены в Комсомольском (рудничные воды, pH 3.8–4.2) и Дальнегорском (шламовые воды, pH 1–4) районах.

В Комсомольском оловорудном районе анализ состава гидрохимических проб показал (табл. 1), что в шламовых водах в 2002–2010 гг. содержание Zn превышает фоновые значения от 4 до 52 раз, Cu – 1.3–172, Pb – 91–31, Cd – 20–1020, Fe – 73–13, Mn – 152–2900, Al – 12–173, а их минерализация достигает 103 мг/л. Дренажные воды характеризуются превышением фоновых значений по содержанию Zn от 8 до 497 раз, Cu – 40–99, Pb – 15–30, Cd – до 108, Fe – 44–993, Mn – 167–5202, Al – 17–1375, а их минерализация находится в интервале от 58.2 до 370.7 мг/л. В рудничных

водах м. Перевальное (Sn–Pb–Zn руды) содержание Zn превышает фоновые значения от 1424 до 4320 раз, Cu – 5383–16100, Pb – 400–520, Cd – 1280–303000, Fe – 230–510, Mn – 57–2420, Al – 208–494, а их минерализация колеблется в пределах от 155.5 до 236.4 мг/л. В рудничных водах м. Фестивальное (Cu–Sn руды) выявлено превышение фоновых значений Zn от 568 до 1387 раз, Cu – 15503–51000, Pb до 4, Cd – 760–26600, Fe – 105–302, Mn – 2566–4160, Al – 928–2500, а их минерализация достигает величин от 217.1 до 405.6 мг/л. Содержание As в анализируемых пробах вод (табл. 1, примечание) выше фоновых значений от 10 до 300 раз. Высококонтрированные рудничные, шламовые и дренажные воды, попадая в речные и грунтовые, способствуют их интенсивному загрязнению.

В водах р. Холдами Комсомольского района содержание Cd превышает фоновые значения в 20 раз, Zn – 7–8, Cu – 14–28, Pb – 1.3–9.6. Воды р. Силинки характеризуются превышением содержания Cd по сравнению с фоновыми в 20 раз, Zn – 16–23, Cu – 8–17, Fe – 11, Mn – 11–39. Следует отметить, что в пос. Горный из нее производится водозабор питьевых вод. Минерализация речных вод в районе составляет от 11.8 до 20.7 мг/л.

Содержание ряда элементов в воде рек Силинка и Холдами (табл. 1) значительно превышает ПДК рыбохозяйственных нормативов: по Cu от 23 до 51 и 43–86 раз, соответственно, Zn – 14 и 30–43 и, Mn 2 и 5–19, Pb до 5 и Al до 2.

В Кавалеровском оловорудном районе анализ состава гидрохимических проб показал (табл. 2), что в шламовых водах пяти хвостохранилищ в 2001–2011 гг. превышение фоновых значений составило: Zn от 1.2 до 1130 раз, Cu – 3–3395, Pb – до 25, Cd – 2–7220, Fe – 3,6–194, Mn – 3–943, Al – 1.2–351. Их минерализация достигает 320.6 мг/л, причем наиболее минерализованы воды второго шламохранилища. В дренажных водах содержание Zn превышает фоновые значения от 78 до 177 раз, Cu – 28–6250, Pb – до 32, Cd – 40–60, Fe – 8–2186, Mn – 356–624, Al – 2–721, а их минерализация достигает 133 мг/л. Сравнение содержания химических элементов в рудничных водах м. Хрустальное показывает следующее превышение фоновых значений: Zn от 8 до 56 раз, Cu – 2.5–9, Pb – до 2, Cd – 20–130, Fe – 3.8–137, Mn – 82–546, Al – 12–23, а их минерализация находится в

**Таблица 1.** Химическая характеристика техногенных стоков Комсомольского района<sup>а</sup>

Характер и место отбора пробы	Микроэлементы, мг/л											
	pH	Zn	Cd	Li	Sr	Fe	Mn	Al	Cu	Pb	Ca	Mg
Содержание элементов в «эталонных» пресных водах <sup>б</sup>	–	0.005	0.0002	–	0.050	0.500	0.005	0.200	0.001	0.003	–	–
Фоновые условия <sup>в</sup>	7.2	0.018	0.00005	–	–	0.14	0.005	0.007	0.003	0.003	–	–
Пробы 2002 г.												
1. Ключ Долгий	5.0	0.012	0.002	–	0.023	0.067	17.100	0.011	0.031	<ПО	5.80	1.02
2. Дренажный сток 1-го хв.	5.0	3.160	0.022	–	0.623	139.00	8.740	9.630	0.216	0.089	103.0	25.20
3. Шламовые воды 3-го хв.	5.5	9.350	0.051	–	0.165	14.400	14.500	1.210	0.515	0.904	49.00	10.10
4. Рудничные воды м. Перевальное	5.5	77.500	0.514	–	0.085	71.400	0.286	1.890	36.60	1.320	35.60	11.20
Пробы 2004 г.												
5. Рудничные воды м. Фестивальное	4.0	24.970	0.133	–	0.554	14.800	20.800	17.50	153.00	0.002	143.0	30.80
6. Дренажные воды 2-го хв.	5.0	0.141	<ПО	–	0.191	0.612	0.857	0.351	0.297	<ПО	51.20	4.510
7. Шламовые воды 3-го хв.	5.5	0.076	0.001	0.187	0.256	<ПО	2.450	0.083	0.004	<ПО	89.10	10.60
8 Рудничные воды м. Перевальное	5.0	60.100	0.349	0.187	0.111	32.200	12.100	2.830	48.300	1.200	40.30	11.30
9 р. Холдами, 2 км от г. Солнечный	6.0	0.141	<ПО	–	0.097	0.085	0.017	0.085	0.086	0.029	17.10	3.29
10. р. Силинка ниже г. Солнечный	6.0	0.295	<ПО	0.214	0.079	0.078	0.053	0.081	0.023	<ПО	16.40	3.15
Пробы 2010 г.												
11. Рудничные воды м. Фестивальное	4.2	10.230	0.038	0.016	0.358	17.430	11.830	6.500	46.510	0.013	104.60	19.58
12. Рудничные воды м. Перевальное	3.4	25.64	16.150	0.005	0.088	42.300	5.090	1.460	16.150	1.560	38.140	8.61
13. Шламовые воды 3-го хв-ща	3.8	0.368	0.001	0.002	0.024	1.020	0.763	0.133	0.120	0.274	11.720	1.56
14. Дренажные воды 3-го хв-ща	4.6	8.940	0.005	0.019	0.568	87.200	26.010	0.120	0.384	0.045	206.50	40.92
15. р. Холдами, 2 км от г. Солнечный	4.9	0.137	0.001	0.001	<ПО	0.051	<ПО	0.077	0.043	0.004	14.83	2.79
16. р. Силинка ниже г. Солнечный	6.3	0.425	0.001	0.001	<ПО	0.161	0.194	0.104	0.051	0.002	8.73	2.17

<sup>а</sup> “–” – элемент не определялся, хв. – хвостохранилище; литературные данные: <sup>б</sup> [17]; <sup>в</sup> [18]; 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 изменяется от 0.02 до 0.60, а его фоновые содержания 0.002.

интервале от 167 до 282.5 мг/л. Анализ рудничных вод м. Дубровское свидетельствует о том, что содержание Zn превышает фоновые значения от 4.4 до 3414 раз, Cu – 2–111, Pb – 2–20, Cd – 10–1600, Fe – 7–207, Mn – 7–2422, Al – 1.2–8.4, а их минерализация составляет от 253.6 до 632.7 мг/л. Несколько иные показатели выявлены в рудничных водах м. Высокогорское. Здесь содержание Zn превышает фоновые значения от 1.3 до 59 раз, Cu – 3.5–21, Pb – до 3, Cd – 10–54, Fe – 3.3–70, Mn – 44–383, Al – до 35, а степень их минерализации колеблется от 12 до 51.9 мг/л. Наиболее минерализованы рудничные воды м. Дубровское. В них самые высокие содержания Zn, Cd, Mn, Cu и

Pb. Концентрация As в анализируемых гидрохимических пробах (табл. 2, примечание) выше фоновых значений от 10 до 310 раз. В речных водах Кавалеровского района отмечается превышение фоновых значений в содержании Zn от 1.1 до 568 раз, Cu – 5.5–46, Cd – 2–12, Fe – 3.3–65, Mn – 20–103, Al – 3.3–4.4, а их минерализация находится в интервале от 8.7 до 502.8 мг/л. Наиболее загрязненными Zn и Cd являются в воды кл. Силинского, а Fe, Mn, Al и Cu – кл. Ветвистого.

Концентрация некоторых химических элементов в водах рек Кавалеровского района (табл. 2), в границах объектов горнорудного производства,

**Таблица 2.** Химическая характеристика техногенных стоков на месторождениях Кавалеровского района<sup>а</sup>

Характер и место отбора пробы	Микроэлементы, мг/л											
	pH	Zn	Cd	Li	Sr	Fe	Mn	Al	Cu	Pb	Ca	Mg
Фоновые условия <sup>б</sup>	7.3	0.009	0.00005	–	–	0.011	0.003	0.010	0.002	0.001	7.000	0.120
Пробы 2001 г.												
1. Шламовые воды 1-го хв.	7.0	0.012	<ПО	0.051	0.478	0.099	0.582	0.052	<ПО	<ПО	127.00	13.90
2. Шламовые воды 2-го хв.	6.5	0.093	<ПО	0.015	0.110	1.190	0.034	0.822	<ПО	<ПО	22.70	4.67
3. Шламовые воды 3-го хв.	7.0	0.011	<ПО	0.002	0.068	0.355	0.014	0.142	<ПО	<ПО	12.20	2.47
4. Вода из ручья ниже хв.	6.0	0.036	<ПО	0.022	0.241	0.198	0.102	0.171	<ПО	<ПО	26.70	7.10
5. Вода из озера ниже штолен	6.0	0.692	<ПО	0.025	0.495	0.277	0.195	0.594	<ПО	<ПО	65.40	25.70
6. Рудничные воды м. Хрустальное	7.0	0.251	<ПО	0.283	2.410	0.824	0.851	1.090	<ПО	<ПО	165.00	60.00
Пробы 2003 г.												
7. Шламовые воды 1го хв.	6.0	0.078	<ПО	–	0.096	1.094	0.255	0.383	0.223	<ПО	14.90	2.71
8. Шламовые воды 2-го хв.	5.0	5.160	0.031	–	1.010	0.072	1.190	0.535	6.790	0.025	270.00	35.50
9. Шламовые воды 3-го хв.	6.5	0.398	<ПО	–	0.094	1.490	0.110	1.072	0.045	<ПО	18.60	3.52
10. Рудничные воды м. Хрустальное	6.5	0.072	<ПО	–	1.030	0.042	0.247	0.123	0.014	<ПО	126.00	41.30
Пробы 2006 г.												
11. Шламовые воды 2го хв.	5.0	0.059	<ПО	0.014	0.324	0.856	0.052	0.176	0.110	0.008	46.57	12.28
12. Шламовые воды 3-го хв.	5.0	0.650	0.004	0.015	0.118	0.250	0.683	0.126	1.000	<ПО	16.53	3.31
13. Рудничные воды м. Хрустальное	5.0	0.287	<ПО	0.157	2.164	1.513	1.296	0.146	0.005	<ПО	131.00	30.32
Пробы 2007 г. (декабрь)												
14. Дренаж хв. м. Высокогорское	5.0	0.698	0.003	0.006	0.074	0.097	1.874	0.023	0.056	<ПО	9.80	4.46
15. Рудничные воды м. Высокогорское	5.0	0.178	<ПО	0.013	0.189	0.037	0.382	0.004	0.001	<ПО	11.64	3.22
16. Левый приток кл. Силинского	5.0	0.963	0.001	0.036	0.496	0.129	0.0009	0.009	0.0008	<ПО	28.18	17.69
17. Ключ Силинский	4.5	0.135	0,0001	0.011	<ПО	0.037	0.0008	0.033	0.0005	<ПО	9.51	5.79
18. Рудничные воды м. Дубровское	5.0	0.129	0,0005	0.030	0.598	0.436	0.714	0.012	0.004	<ПО	230.34	27.80
19. Река Кавалеровка, ниже хв.	4.5	0.045	0,0001	0.018	<ПО	0.167	0.0006	0.001	0.001	<ПО	39.32	22.36
20. Река Высокогорка, п. Кавалерово	5.0	0.001	<ПО	0.003	0.049	0.023	0.003	0.008	0.0006	<ПО	6.56	2.00
Пробы 2008 г. (апрель)												
21. Дренаж хв. м. Высокогорское	5.0	1.579	0.002	0.004	0.059	24.050	1.070	7.520	12.500	0.032	84.46	2.05
22. Рудничные воды м. Высокогорское	5.0	0.175	0.0007	0.010	0.164	0.410	0.132	0.350	0.032	0.003	49.18	1.36
23. Левый приток кл. Силинского	5.0	0.615	0.0003	0.011	0.141	0.010	0.001	0.030	0.0002	<ПО	526.20	2.85
24. Ключ Силинский	5.0	5116	0.001	0.034	0.036	0.001	0.002	0.030	0.0001	<ПО	440.00	4.80

Таблица 2. (Продолж.)

Характер и место отбора пробы	рН	Микроэлементы, мг/л										
		Zn	Cd	Li	Sr	Fe	Mn	Al	Cu	Pb	Ca	Mg
Фоновые условия <sup>б</sup>	7.3	0.009	0.00005	–	–	0.011	0.003	0.010	0.002	0.001	7.00	0.12
Пробы 2008 г. (апрель)												
25. Рудничные воды м. Дубровское	5.5	30730	0.004	0.206	1.981	2.280	7.265	0.840	0.073	0.002	561.15	28.18
26. Река Кавалеровка, ниже хв.	4.5	0.014	0.0001	0.016	0.261	0.040	0.012	0.030	0.0006	<ПО	292.70	6.00
27. Река Высокогорка, п. Кавалерово	5.0	0.0002	<ПО	0.002	0.040	0.040	0.003	0.060	0.0004	<ПО	501.50	1.12
Пробы 2008 г. (июль)												
28. Ключ Ветвистый, ниже хв.	5.0	0.099	0.001	0.005	0.060	0.660	0.310	0.370	0.092	0.001	8.36	2.20
29. Рудничные воды м. Высокогорское	5.0	0.075	0.0005	0.009	0.080	0.080	0.130	0.040	0.007	0.001	9.59	2.01
30. Рудничные воды м. Хрустальное	5.5	0.078	0.0003	0.358	2.120	0.050	1.130	<ПО	0.004	0.001	145.20	50.15
31. Шламовые воды 3-го хв.	5.5	1.009	0.007	0.046	0.014	0.090	1.430	0.530	2.681	0.001	24.38	8.14
32. Шламовые воды 2-го хв.	5.5	10.170	0.041	0.072	0.430	0.100	2.830	3.510	0.221	0.001	95.51	23.93
33. Рудничные воды м. Дубровское	5.5	4.314	0.011	0.166	1.600	0.080	5.990	0.490	0.222	0.001	228.00	34.00
34. Река Партизанка ниже хв.	5.0	0.086	0.0006	0.016	0.270	0.060	0.060	0.020	0.011	0.001	42.60	6.87
35. Река Высокогорка, п. Кавалерово	5.0	0.014	0.0003	0.004	0.040	0.060	0.060	0.010	0.004	<ПО	7.53	1.86
36. Шламовые воды хв. м. Дубровское	5.0	0.043	0.0005	0.006	0.040	1.060	0.020	0.510	0.019	0.005	6.72	2.44
37. Шламовые воды хв. м. Высокогорское	5.0	0.015	0.0003	0.003	0.050	0.050	0.030	0.010	0.022	<ПО	9.15	2.41
38. Дренаж хв. м. Высокогорское	5.0	1.297	0.008	0.034	0.240	0.060	2.220	1.230	0.234	0.001	37.24	7.02
Пробы 2009 г. (июль)												
39. Ключ Ветвистый, ниже хв.	5.5	0.070	0.0006	0.002	0.050	0.720	0.260	0.490	0.080	0.001	7.46	1.37
40. Рудничные воды м. Высокогорское	5.0	0.120	0.0006	0.010	0.110	0.230	0.160	0.140	0.012	0.001	11.45	1.41
41. Рудничные воды м. Хрустальное	5.5	0.040	0.0001	0.450	2.220	0.030	0.600	0.060	0.002	<ПО	153.70	48.78
42. Шламовые воды 3-го хв.	5.0	0.450	0.0030	0.020	0.140	0.330	0.650	0.770	1.910	0.001	21.45	5.08
43. Шламовые воды 2-го хв.	6.0	4.850	0.0236	0.060	0.420	0.190	1.940	0.620	0.220	0.003	85.11	25.61
44. Рудничные воды м. Дубровское	6.0	2.290	0.0800	0.340	1.650	0.830	5.730	0.620	0.110	0.002	244.50	28.76
45. Река Высокогорка, п. Кавалерово	5.0	0.003	0.0001	0.002	0.040	0.260	0.010	0.160	0.002	<ПО	7.23	1.10
46. Шламовые воды хв. м. Дубровское	5.5	0.040	0.0014	0.010	0.050	0.410	0.010	0.190	0.037	0.006	6.73	1.97
47. Шламовые воды хв. м. Высокогорское	5.5	0.050	0.0006	0.004	0.050	0.190	0.110	0.170	0.230	0.001	8.93	1.58
Пробы 2009 г. (октябрь)												
48. Рудничные воды м. Дубровское	5.5	2.070	0.0058	0.185	1.480	0.130	4.910	0.360	0.107	0.001	239.90	29.50
49. Шламовые воды хв. м. Дубровское	6.0	0.070	0.0006	0.005	0.070	1.100	0.020	0.520	0.026	0.009	12.99	2.42
50. Рудничные воды м. Хрустальное	5.5	0.510	0.0010	0.321	2.500	0.210	1.640	0.210	0.018	0.002	205.00	72.05
51. Шламовые воды 2-го хв.	6.5	0.020	0.0001	0.002	0.100	0.750	0.020	0.430	0.022	0.005	26.02	3.31
52. Шламовые воды 3-го хв.	5.0	<ПО	<ПО	0.001	0.060	0.060	0.001	0.020	0.006	<ПО	10.40	2.07
53. Рудничные воды м. Высокогорское	5.0	0.080	0.0004	0.008	0.110	0.110	0.090	0.100	0.010	0.001	13.12	8.75
54. Река Высокогорка, п. Кавалерово	5.0	<ПО	0.0001	0.003	0.050	0.050	0.001	0.030	<ПО	0.002	8.75	1.38

<sup>а</sup> “–” – элемент не определялся, хв. – хвостохранилище; литературные данные: <sup>б</sup> [12]; содержание элементов ниже их предела определения (ПО): Cd – 0.001; Pb – 0.015; Cu – 0.0015; содержание As в рудничных и шламовых водах хвостохранилищ Кавалеровского района (по данным с 2003 по 2011 г.) изменяется от 0.02 до 0.62, а его фоновые содержания 0.002.

оказалась выше ПДК рыбохозяйственных нормативов: по Cu от 4 до 80 раз, Mn – 6–26, Zn до 8, Fe – 2, а иона  $\text{SO}_4^{2-}$  – 3–4 раза.

В Дальнегорском районе перерабатывались оловосульфидные (КОФ) и полиметаллические (ЦОФ) руды. Анализ состава гидрохимических проб показал (табл. 3), что в шламовых водах старого хвостохранилища КОФ в 2001–2011 гг. содержание Zn превышает фоновые значения от 3266 до 23587 раз, Cu – 1675–8225, Fe – 39766–287400, Mn – 44465–389000, Al – 508–4173, As 455–2530. Свинец в фоновых водах района не обнаружен. Сравнение полученных результатов с таковыми показателями для Кавалеровского района показывает превышение в 5–55 раз, а с эталонными пресных вод от 3 до 36. Их минерализация составляет от 775 мг/л до 4484. Шламовые воды нового хвостохранилища КОФ характеризовались превышением фоновых значений для Zn от 173 до 1132 раз, Cu – 37, Fe – 266–8723, Mn – 1060–4077, Al – 4–154, As до 21. Превышение содержания свинца по сравнению с фоновыми значениями Кавалеровского района составляет 412 раз, а с эталонными пресных вод 17. Минерализация данных вод изменяется от 42 до 553 мг/л. Анализ состава гидрохимических проб показал, что в шламовых водах старого хвостохранилища ЦОФ содержание Zn превышает фоновые значения в 53 раза, Cu до 42, Fe – 57–61, Mn – 25–30, Al – 11–14, As до 64, при этом их минерализация находится в пределах от 70 до 416 мг/л. Содержание Pb достигало 0.064 мг/л. Гидрохимический анализ проб шламовых вод нового хвостохранилища ЦОФ свидетельствует о превышении фоновых значений по Zn от 2.7 до 15 раз, Cu – 47–69, Fe – 10–299, Mn – 79–240, Al до 57, As – 17–410, их минерализация составляет от 41 до 94 мг/л. Содержание Pb достигало 0.04 мг/л. Концентрация элементов в гидрохимических пробах рудничных вод рудника Советский превышает фоновые показатели для Zn от 1.2 до 198 раз, Cu – 7–50, Fe – 33–3103, Mn – 8–203, Al – 4.6–37, As – 9–57, их минерализация изменяется от 30 до 78 мг/л при содержании Pb до 1.21, хотя в фоновых водах он не обнаружен.

Воды р. Рудной Дальнегорского района (табл. 3) содержат в своем составе следующие количества химических элементов, превышающие фоновые величины: Zn от 6.2 до 23.5 раза, Cu до 10, Fe – 3–23, Mn – 15–40, Al до 7, As – 11–55, их

минерализация изменяется от 30 до 85 мг/л, а содержание Pb достигает 0.011. Если учесть данные авторов по содержанию в водах этой реки бора (в районе ОАО “Бор”), концентрация которого достигает 30 мг/л, и сульфатного иона (59.4 и 73.3), то их минерализация составит 168 мг/л. Это выше, чем минерализация в рудничных водах в исследуемом районе.

Воздействие горнопромышленной техногенной системы способствует тому, что содержание большинства элементов в воде р. Рудной (табл. 3) превышает ПДК рыбохозяйственных нормативов: для Zn от 5 до 19 раз, B – 2–11, Fe до 5, Mn и Pb – 2, Al и Cu – 5 и иона  $\text{SO}_4^{2-}$  – 6–7.

Наиболее минерализованы дренажные воды в Комсомольском районе – 371 мг/л, шламовые на старом хвостохранилище КОФ – 4484 (Дальнегорский район), рудничные в Кавалеровском районе до 406 – м. Перевальное и до 633 – м. Дубровское, а речные в Кавалеровском районе (р. Высокогорка) до 503.

На основании проведенных исследований разработаны следующие мероприятия, направленные на обеспечение экологической безопасности техногенных вод: (1) срочная переработка отходов, складированных в хвостохранилищах; (2) рекультивация природной среды, в том числе и поверхности хвостохранилищ; (3) совершенствование нормативно-правовой базы; (4) разработка Стратегии экологической безопасности техногенных объектов на Дальнем Востоке.

## ВЫВОДЫ

Исследованиями установлено, что в Комсомольском, Кавалеровском и Дальнегорском районах Дальнего Востока сформировались горнопромышленные техногенные комплексы с ярко выраженной спецификой негативного воздействия на окружающую природную среду. Эти районы характеризуются напряженной и кризисной экологической ситуацией. Содержание Zn, Cu, Pb, Cd, Fe, Mn, As, Al и других элементов в рудничных, дренажных, шламовых и речных водах рассматриваемых районов в 2001–2011 гг. выше фоновых характеристик и “эталонных” пресных водах в десятки, сотни, тысячи и более раз. Разбавление этих вод должно быть проведено в сотни, тысячи и даже десятки тысяч раз, что практически невозможно. Из-за разрушения водных биоценозов

Таблица 3. Химическая характеристика техногенных стоков Дальнегорского района<sup>а</sup>

Характер и место отбора пробы	Микроэлементы, мг/л									
	pH	Zn	Fe	Mn	Al	Cu	Pb	As	Ca	Mg
Фоновые условия <sup>б</sup>	7.3	0.008	0.003	0.002	0.030	0.0004	не обн.	0.001	7.00	0.12
Пробы 2001 г.										
1. Шламовые воды нового хв. ЦОФ	6.0	0.036	0.276	0.279	0.158	<ПО	<ПО	-	62.90	2.63
2. Шламовые воды старого хв. ЦОФ	6.0	0.003	0.183	0.060	0.043	<ПО	<ПО	-	65.10	4.44
3. Рудничные воды рудник Советский	6.0	0.216	0.593	0.044	0.138	<ПО	0.123	-	25.50	2.56
4. Устье р. Рудной	6.0	0.078	0.155	0.030	0.066	<ПО	<ПО	-	28.70	2.75
Пробы 2003 г.										
5. Шламовые воды нового хв. ЦОФ	6.5	0.060	0.694	0.159	1.720	0.275	0.013	0.213	69.30	1.42
6. Шламовые воды старого хв. ЦОФ	6.0	0.424	0.171	0.050	0.331	0.017	0.017	0.064	376.00	38.90
7. Рудничные воды рудник Советский	6.5	0.614	0.918	0.111	0.412	0.015	0.200	0.018	39.60	4.32
Пробы 2006 г. (июль)										
8. Рудничные воды рудник Советский	5.8	1.281	2.895	0.406	0.694	0.011	0.584	0.056	67.82	4.79
9. Шламовые воды старого хв. КОФ	4.0	53.490	446.600	>10	24.790	0.723	0.026	1.531	166.50	72.04
10. Шламовые воды нового хв. КОФ	5.8	9.061	26.170	8.154	4.640	0.015	0.053	0.021	48.10	14.63
11. 26 км, р. Рудная	5.8	0.135	0.800	0.078	0.035	0.002	0.004	0.040	57.02	4.98
Пробы 2006 г. (сентябрь)										
12. Рудничные воды рудник Советский	6.0	0.687	1.252	0.256	0.251	0.003	0.262	0.029	39.36	2.96
13. Шламовые воды нового хв-ща ЦОФ	5.0	0.053	0.898	0.246	0.269	0.201	0.021	0.410	38.14	0.88
14. Шламовые воды хв-ща КОФ	4.0	51.740	524.100	>10	19.900	0.507	0.009	1.042	135.30	79.95
15. 26 км, р. Рудная	6.0	0.198	0.643	0.064	0.020	<ПО	0.002	0.037	53.02	3.64
16. Рудничные воды рудник Советский	5.8	0.937	9.309	0.267	0.978	0.008	1.033	0.033	61.68	7.29
17. Шламовые воды нового хв. ЦОФ	6.0	0.642	257.400	4.006	6.851	0.307	0.825	0.273	84.96	11.14
18. Шламовые воды хв. КОФ	4.0	89.110	119.300	491.500	238.50	0.752	0.015	1.935	292.70	274.40
19. 26 км, р. Рудная	6.0	0.189	0.549	0.041	0.073	0.005	0.011	0.016	49.18	13.00
Пробы 2008 г. (июль)										
20. Рудничные воды рудник Советский	5.0	0.217	0.100	0.100	<ПО	0.003	0.011	0.010	42.16	4.12
21. Шламовые воды нового хв. ЦОФ	5.5	0.022	0.060	0.220	0.060	0.155	0.002	0.031	65.69	3.28
22. Шламовые воды хв. КОФ	4.0	26.130	187.500	88.930	15.240	0.385	0.047	0.544	94.99	58.48
23. 26 км, р. Рудная	5.5	0.155	0.030	<ПО	<ПО	0.004	0.001	0.011	39.99	5.29
Пробы 2009 г. (июль)										
24. Рудничные воды рудник Советский	5.0	0.010	0.520	0.030	0.640	<ПО	0.003	0.018	27.17	1.79
22. Шламовые воды нового хв. ЦОФ	5.0	0.040	0.040	0.240	0.050	0.220	0.023	0.018	50.69	3.05
26. Шламовые воды хв. КОФ	3.5	44.220	480.80	505.80	24.480	0.670	0.010	0.455	159.60	147.50
27. 26 км, р. Рудная	5.0	0.140	0.370	0.070	0.210	0.001	0.010	0.011	58.12	3.87
Пробы 2010 г. (июль)										
28. Рудничные воды рудник Советский	6.7	0.390	0.330	0.160	0.180	0.003	0.121	0.015	43.64	4.21
29. Шламовые воды нового хв. ЦОФ	6.3	0.050	0.030	0.260	0.060	0.190	0.016	0.019	73.47	4.53



Таблица 3. (Продолж.)

Характер и место отбора пробы	Микроэлементы, мг/л									
	pH	Zn	Fe	Mn	Al	Cu	Pb	As	Ca	Mg
Фоновые условия <sup>б</sup>	7.3	0.008	0.003	0.002	0.030	0.0004	не обн.	0.001	7.00	0.12
Пробы 2010 г. (июль)										
30. Шламовые воды хв. КОФ	2.7	169.00	2079.0	688.30	69.300	1.260	0.009	1.610	381.80	356.40
31. 26 км, р. Рудная	6.4	0.120	0.060	0.030	0.030	<ПО	0.002	0.009	49.49	4.53
32. Водозабор г. Дальнегорска	5.8	0.080	0.200	0.080	0.140	0.010	0.002	0.002	12.80	1.54
33. Рудничные воды рудник Советский	5.0	0.080	<ПО	0.050	<ПО	<ПО	0.010	0.009	26.28	2.10
34. Шламовые воды нового хв. ЦОФ	5.5	0.030	<ПО	0.360	0.010	0.070	<ПО	0.578	56.48	1.83
35. 26 км, р. Рудная	5.0	0.050	<ПО	<ПО	0.010	<ПО	<ПО	0.055	51.64	4.96
Пробы 2011 г. (август)										
36. Рудничные воды рудник Советский	5.0	1.590	4.670	0.490	1.120	0.020	1.210	0.057	49.93	3.98
37. Шламовые воды нового хв. ЦОФ	5.0	0.120	0.250	0.480	0.070	0.220	0.040	0.017	89.20	3.52
38. Шламовые воды старого хв. КОФ	1.0	188.70	2874.0	778.00	125.20	3.290	0.110	2.530	550.90	361.80
39. Шламовые воды нового хв. КОФ	5.5	1.390	0.800	2.120	0.110	<ПО	<ПО	0.001	29.48	8.06
40. 26 км, р. Рудная	6.5	0.090	0.070	0.030	0.030	<ПО	<ПО	0.020	78.24	6.53

<sup>а</sup> “\_” – элемент не определялся, принятые сокращения: хв. – хвостохранилище, <sup>б</sup> литературные данные [13], содержание элементов ниже их предела определения (ПО): Mn, Al – 0.01; Pb – 0.015; Cu – 0.0015.

самоочищение вод происходит медленнее, чем поступление загрязненных рудничных и дренажных. Это приводит к разрушению водных экосистем, изменению гидрохимического фона района и качества природных вод в худшую сторону.

Техногенное загрязнение наносит также большой экономический ущерб объектам окружающей среды. Все это свидетельствует о необходимости проведения в самое ближайшее время ряда природоохранных, в том числе рекультивационных, мероприятий. Необходимо очищать рудничные воды, которые сбрасываются на протяжении столетий в речные воды и рекультивировать хвостохранилища. Прежде чем проводить рекультивацию, хвосты следует переработать вторично, чтобы извлечь широкий спектр полезных компонентов, который они содержат в промышленных количествах, пока процессы гипергенеза не приобрели масштабный характер и не окислили полностью тонкоизмельченные сульфидные руды. Иначе через 10–15 лет будет поздно, так как хвосты окислятся, а имеющиеся технологии не позволяют перерабатывать окисленные руды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бортникова, С.Б., *Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. Наук*, Новосибирск: НИЦ ЩИГТМ СЦ РАН, 2001, 48 с.
2. Зверева, В.П., *Экологические последствия гипергенных процессов на оловорудных месторождениях Дальнего Востока*, Владивосток: Дальнаука, 2008. 166 с.
3. Тарасенко, И.А., Зиньков, А.В., *Экологические последствия минерало-геохимических преобразований хвостов обогащения Sn–Ag–Pb–Zn руд*, Владивосток: Дальнаука, 2001. 184 с.
4. Крупская, Л.Т., Зверева, В.П., Новороцкая, А.Г., Дербенцева, А.М., *Вестник Российского университета. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности*, 2009, № 4, с. 81.
5. Костина, А.М., Зверева, В.П., Фролов, К.Р., Пятаков, А.Д., Лысенко, А.И., *Химическая технология*, 2012, № 5, с. 316.
6. Борисова, В.Н., Елпатьевский, П.В., *Тихоокеан. геол.*, 1992, № 3, с. 134.
7. 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.
8. Зверева, В.П., *Минералогия техногенеза*, Миасс: ИМин УрО РАН, 2004, с. 153.
  9. Зверева, В.П., *Геоэкология*, 2007, № 1, с. 51.
  10. Зверева, В.П., Зарубина, Н.В., *Геоэкология*, 2008, № 6, с. 500.
  11. Елпатьевский, П.В., *Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах*, М.: Наука, 1993. 252 с.
  12. Елпатьевский, П.В., *Металлоносность техногенных вод рудных месторождений Приморья, Геология и горное дело в Приморье в прошлом, настоящем и будущем*, Владивосток: Дальнаука, 2000. с. 26.
  13. Елпатьевский, П.В., Луценко, Т.Н., *Научные и практические аспекты добычи цветных и благородных металлов*, Хабаровск, т. 2, 2000, с. 407.
  14. Киселева, Е.А., *Водные ореолы рассеяния оловорудных месторождений Приморья, Современные методы исследования в гидрогеологии и инж. Геологии*, М.: ВСЕГИНГЕО, 1970, с. 28.
  15. 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.
  16. 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.
  17. Markert, B., Fresenius, J., *Anal. Chem.*, 1994, no. 349, p. 697.
  18. Елпатьевский, П.В., Аржанова, В.С., Власов, А.В., *Изв. АН СССР, Сер. География*, 1983, № 2, с. 42.

## Technogene Water of Komsomol'sk, Kavalеровskii and Dalnegorsk Mining Areas of Far East and Their Effect on Hydrosphere

V. P. Zvereva<sup>a,b</sup> and L. T. Krupskaya<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Far East Federal University, ul. Oktyabr'skaya 27, Vladivostok, 690950 Russia

<sup>b</sup> Far East Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

<sup>c</sup> Tikookeanskii State University, Khabarovsk, Россия

**Abstract**—A potential charge of sewages with toxic metals in the technogene systems is high and depends on the ore matter composition, mineralization of the ore aureole, hypergene and technogene processes that produce the pore solutions, and mine, slime, and drainage waters. As a result, the surface and underground waters are polluted with toxic elements: Cu, Zn, Pb, As, B, Fe, and others, whose content in technogene waters for the most part exceeds significantly the background values. The effect of the mining technogene systems made the ecological situation in the study districts tense and crisis.

**Key words:** mining waste, tailings, industrial pollution, mining technogene system, mine, slime, and drainage waters.