

РАЗДЕЛ I. ГЕОЛОГИЯ. СЕЙСМИКА. ГИС [GEOLOGY. SEISMOLOGY. GIS]

УДК 504.75; 556.3

О.И. КАЛЬНАЯ, О.Д. АЮНОВА

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)

ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНЕ АРСЕНИДНО-КОБАЛЬТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ХОВУ-АКСЫ

В статье рассматривается гидрохимическое и экологическое состояние подземных вод в районе арсенидно-кобальтового месторождения Хову-Аксы. В процессе разработки месторождения было создано пять карт-накопителей, где размещались отходы ГОКа «Тувакобальт». Отходы представляют собой хвосты тонко измельченной переработанной руды. В результате неполного извлечения из руд полезных компонентов в хвостохранилищах скопились такие элементы, как кобальт, никель, висмут, медь, сурьма, мышьяк, которые при взаимодействии с водой способны образовывать токсичные соединения. С целью выяснения степени загрязнения подземных вод в районе хвостохранилищ комбината «Тувакобальт» мышьяком и тяжёлыми металлами было проведено их опробование и обследование. В статье приведены результаты работ.

Ключевые слова: комбинат Тувакобальт, хвостохранилища, мышьяк, тяжёлые металлы, гидрохимическое и экологическое состояние подземных вод.

Рис. 2. Табл. 1. Библ. 4. назв. С. 9–14.

Работа выполнена при поддержке РФФИ: Грант № 17–45–170588-р_а «Эко-геохимическая модель трансформации вещества Co-Ni-Cu-арсенидных отходов обогащения руд месторождения Хову-Аксы (комбинат «Тувакобальт», Республика Тыва) с разработкой схемы рекультивации территорий»

O.I. KALNAYA, O.D. AYUNOVA

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)

ECOLOGICAL-HYDROCHEMICAL STATE OF GROUNDWATER IN THE AREA OF THE KHOVU-AKSY ARSENIDE-COBALT DEPOSIT

The article considers the hydrochemical and ecological state of groundwater in the Khovu-Aksy arsenide-cobalt deposit area. Five sedimentation tanks for wastes of «Tuvakobalt» mining and processing plant were created during the development of the deposit. Wastes are the tails of finely detailed processed ore. As a result of incomplete extraction of useful components from ores such elements as cobalt, nickel, bismuth, copper, antimony, arsenic accumulated in the tailings which can form toxic compounds when interacting with water. They were tested and examined in order to determine the degree of groundwater contamination in the area of tailings of the Tuvakobalt plant with arsenic and heavy metals. The article presents the results of the work.

Keywords: Tuvakobalt plant, tailings, arsenic, heavy metals, hydrochemical and ecological state of groundwater.

Figures 2. Table 1. References 4. P. 9–14.

Разработка месторождений руд цветных металлов, содержащих в составе сульфидных, окисных или арсенидных минералов такие элементы как железо (Fe^{3+}), кобальт (Co^{2+}), медь, никель, сурьма (Sb^{3+}), цинк и мышьяк (As^{3+}), сопряжена с увеличением подвижности этих элементов и выносом в окружающую среду образованных на их основе токсичных веществ. Среди них особую опасность представляет мышьяк. Чрезвычайно ядовитыми являются все соединения мышьяка, растворимые в воде или в слабокислых средах, при этом наиболее опасны вещества на основе As^{3+} (Бортникова и др., 2006). Одной из наиболее сложных и нерешённых остаётся проблема связывания и захоронения в отходах переработки руд цветных металлов и мышьяка. Это относится и к последствиям деятельности ГОКа «Тувакобальт», который работал на базе Хову-Аксынського арсенидно-кобальтового месторождения. Месторождение разрабатывалось с 1970 по 1991 год. Добыча арсенидно-кобальтовой руды составляла от 38 до 75 тыс. т/год. В настоящее время месторождение законсервировано.

В процессе работы ГОКа были созданы пять карт-накопителей (отстойников), где размещались отходы горно-обогатительного комбината. Отстойники были обвалованы и изолированы специальной плёнкой во избежание фильтрации токсичных соединений в грунтовые воды. Отходы представляют собой хвосты тонко подробленной переработанной руды. В результате неполного извлечения из руд полезных компонентов в хвостохранилищах скопилось: кобальта и никеля — 4 тыс. т с содержанием 0,066–0,17%, меди — 2 тыс. т (0,3–0,6%), висмута — 0,2 т (0,014–0,022%), сурьмы — 0,2 т (0,015%), серебра — 100 т (60 г/т), мышьяка — 75 тыс. т (3,3%). Все эти химические элементы способны образовывать токсичные соединения (Лебедев и др., 2009).

Хвостохранилища (карты-накопители) расположены в левом борту лога, впадающего в долину реки Элегест, на расстоянии 4,55 км от уреза воды, и представляют собой ёмкости бассейнового (прудового) типа прямоугольной формы размерами в пределах 250 × 50 м, глубиной 10–12 м, обвалованные дамбами из подстилающих грунтов и огороженные заборами га, объём — 898 тыс. м³. Перепад высот от верхней карты-накопителя до р. Элегест составляет 90 м, общий уклон межгорного лога — 0,02.

В настоящее время изоляционный материал, выстилающий днища карт-накопителей, значительно повреждён. Так как большая часть хвостохранилищ не рекультивирована, дождевые и талые воды, взаимодействуя со складированными отходами комбината, образуют водорастворимые соединения, содержащие мышьяк и тяжёлые металлы, и фильтруются в подземные воды.

С целью выяснения количественных показателей миграции мышьяка и тяжёлых металлов в подземные воды, в январе 2018 г. были опробованы скважины и колодцы в пос. Сайлыг, расположенном по рельефу ниже хвостохранилищ, в устьевой части лога, впадающего в долину р. Элегест (рис. 1).

В исследуемом районе выделяются следующие водоносные подразделения:

1. Водоносный голоценовый аллювиальный горизонт (aQ_{IV}).
2. Водоносный верхнеплейстоценовый-голоценовый делювиально-пролювиальный горизонт (dpQ_{III-IV}).
3. Водоносная нижнедевонская зона трещиноватости вулканогенно-осадочных пород (D_1kn).

Водоснабжение пос. Сайлыг осуществляется за счёт пробуренных и оборудованных скважин, а также абиссинских и открытых колодцев. В посёлке обследовано и опробовано шесть действующих скважин и два колодца. Их расположение отображено на рисунке 2.



Рисунок 1. Расположение хвостохранилищ комбината «Тувакоальт» и пос. Сайлыг



Рисунок 2. Схема расположения опробованных скважин и колодцев в пос. Сайлыг (с содержанием мышьяка в подземных водах)

Глубина скважин колеблется от 30 до 130 м. Пять скважин вскрывают водоносный верхнеплейстоценовый-голоценовый делювиально-пролювиальный горизонт (dpQ_{III-IV}). Геологический разрез представлен делювиально-пролювиальными дресвяно-щебнистыми и щебнисто-глыбовыми отложениями с суглинистым заполнителем, плотными глинами. Одна скважина вскрывает делювиально-пролювиальный водоносный горизонт и нижележащую водоносную нижнедевонскую зону трещиноватости вулканогенно-осадочных пород (D_1kn), сложенную эффузивами. Колодцы вскрывают голоценовый аллювиальный горизонт (aQ_{IV}).

Всего было отобрано восемь проб воды, из них шесть проб из скважин, одна проба — из открытого колодца, одна проба (фоновая) — из абиссинского колодца, расположенного по правому берегу р. Элегест, вне влияния карт-накопителей комбината.

Химический анализ водных проб проводился в аналитической лаборатории ООО «Тувинская ГРЭ» (аттестат аккредитации № ААС.А.00164, действителен до 25.07.2022 г.) В пробах воды определялись органолептические показатели (вкус, цвет, запах, мутность), основные катионы и анионы, в т. ч. азотсодержащие компоненты (аммоний-ион, нитраты, нитриты), углекислота свободная, жёсткость общая, карбонатная и некарбонатная, двуокись кремния, водородный показатель pH, минерализация, тяжёлые металлы (цинк, медь, свинец, кадмий, никель, марганец, кобальт) и мышьяк. Полученные результаты анализировались в соответствии с предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) для вод хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (Гидрохимические ..., 2007, СанПиН ..., 2010).

Подземные воды верхнеплейстоценового-голоценового делювиально-пролювиального горизонта (dpQ_{III-IV}) и водоносной нижнедевонской зоны трещиноватости вулканогенно-осадочных пород (D_1kn) характеризуются следующими показателями: минерализация вод колеблется от 0,30 (пресные) до 0,68 г/л (повышенной минерализации). По жёсткости воды от умеренно жёстких (3,2–5,4 мг-экв/л) до жёстких (6,3–7,1 мг-экв/л). Водная среда преимущественно слабощелочная, pH находится в пределах 7,72–7,89, и только в одной скважине по ул. Маяковского отмечается нейтральная водная среда с pH = 6,92.

Химический состав подземных вод достаточно пёстрый. В анионном составе преобладают гидрокарбонат-ион, катионный состав преимущественно смешанный с преобладанием ионов магния, реже — кальция. Обобщённая формула солевого состава вод имеет вид:

$$M_{0,30-0,68} \frac{HCO_3(42-85)Cl(11-30)SO_4(3-30)NO_3(0-5)}{Mg(37-48)Ca(25-48)(Na+K)(15-28)}$$

В целом, содержание анионов и катионов, а также определявшихся тяжёлых металлов не превышает норм для питьевых вод, мышьяк содержится в пределах от $\leq 0,005$ мг/л (практически не обнаружено) до 0,013 мг/л (скв. на ул. Терешковой, см. рис. 2).

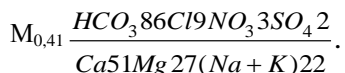
Качество подземных вод голоценового аллювиального горизонта (aQ_{IV}) характеризуется по пробам воды, отобраным из частных колодцев.

Проба № 4 отобрана 20.01.2018 г. в пос. Сайлыг из открытого колодца на ул. Матросова (частный дом). Глубина колодца около пяти метров (деревянный сруб с вóротом). Сруб закрывается крышкой. Колодец расположен в пойме р. Элегест, под террасовидным уступом в устье лога, в 280 м от реки, вскрывает водоносный горизонт голоценовых аллювиальных отложений (Q_{IV}).

По данным лабораторных исследований вода прозрачная (мутность менее 1,0 ЕМ/л), без вкуса, без запаха, цветность составила пять градусов. Содержание анионов и катионов не превышает норм для питьевых вод. Железо общее содержится в количестве 0,10 мг/л при ПДК = 0,3 мг/л.

Воды умеренно жёсткие — общая жёсткость равна карбонатной и составляет 4,00 мг-экв/л (при ПДК 7,0 мг-экв/л). Водная среда слабощелочная: pH = 7,62 (при ПДК от 6,5 до 8,5). Воды пресные с минерализацией 0,41 г/л, по химическому составу

ву гидрокарбонатные смешанного катионного состава с преобладанием ионов кальция. Формула химического состава имеет вид:

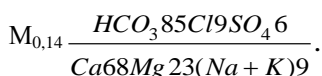


Большое содержание в воде ионов кальция и магния определяют высокую жёсткость воды. Из определявшихся тяжёлых металлов свинец, кадмий, никель и кобальт в воде не обнаружены. Содержание цинка, меди и марганца не превышает норм для питьевых вод. Содержание мышьяка определяется на пределе чувствительности прибора — менее 0,005 мг/л, практически не обнаружено.

Проба № 5 отобрана 20.01.2018 г. в пос. Сайлыг из скважины на ул. Болотной, расположенной на правом берегу р. Элегест (частный дом, абиссинский колодец). По данным лабораторных исследований вода прозрачная (мутность менее 1,0 ЕМ/л), без вкуса, без запаха, цветность составила пять градусов.

Содержание анионов и катионов не превышает норм для питьевых вод. Железо общее содержится в количестве 0,09 мг/л при ПДК = 0,3 мг/л.

Воды мягкие: общая жёсткость составляет 1,60 мг-экв/л, карбонатная — 1,50 мг-экв/л, некарбонатная — 0,10 мг-экв/л (при ПДК 7,0 мг-экв/л). Содержание двуокси кремния составляет 6 мг/л или 2,8 мг/л в пересчёте на кремний, при ПДК кремния 10 мг/л. Водная среда слабощелочная: pH = 7,84 (при ПДК от 6,5 до 8,5). Воды ультрапресные с минерализацией 0,14 г/л, по химическому составу гидрокарбонатные магниевые-кальциевые. Формула химического состава имеет вид:



Из определявшихся тяжёлых металлов в воде обнаружены только медь и марганец в незначительных количествах, не превышающих ПДК для питьевых вод. Содержание мышьяка определяется на пределе чувствительности прибора — менее 0,005 мг/л, практически не обнаружено.

В *таблице 1* приведены основные данные о скважинах и колодцах и содержании тяжёлых металлов и мышьяка в подземных водах.

Таблица 1. Содержание мышьяка и тяжёлых металлов в подземных водах в районе картнакопителей комбината «Тувакобальт»

№ пробы	Место отбора пробы	Глубина скв., м	Содержание тяжёлых металлов и мышьяка, мг/л (в скобках — в единицах ПДК для питьевых вод)							
			As	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni	Mn	Co
1	Скв. 3288, ул. Пролетарская	40,0	0,0076 (0,152)	0,005 (0,005)	0,0046 (0,0046)	0,0029 (0,096)	≤0,001 (не обн.)	≤0,005 (не обн.)	0,0033 (0,033)	≤0,005 (не обн.)
2	Скв. 3336, ул. Горького	40,0	≤0,005 (не обн.)	0,0038 (0,0038)	0,004 (0,004)	0,002 (0,067)	≤0,001 (н. обн.)	≤0,005 (не обн.)	0,0039 (0,039)	≤0,005 (не обн.)
3	Скв. 3335, ул. Горная	40,0	0,0082 (0,164)	0,0011 (0,0011)	0,006 (0,006)	0,002 (0,067)	≤0,001 (не обн.)	0,0059 (0,059)	0,003 (0,03)	≤0,005 (не обн.)
4	Колодец, ул. Матросова	5,0	≤0,005 (не обн.)	0,0079 (0,0079)	0,0068 (0,0068)	≤0,002 (не обн.)	≤0,001 (не обн.)	≤0,005 (не обн.)	0,002 (0,02)	≤0,005 (не обн.)
5	Колодец, ул. Болотная	8,0	≤0,005 (не обн.)	≤0,001 (не обн.)	0,0054 (0,0054)	≤0,002 (не обн.)	≤0,001 (не обн.)	≤0,005 (не обн.)	0,0017 (0,017)	≤0,005 (не обн.)
6	Скв. 3284, ул. Маяковского	30,0	0,01 (0,02)	0,0027 (0,0027)	0,0048 (0,0048)	≤0,002 (не обн.)	≤0,001 (не обн.)	≤0,005 (не обн.)	0,001 (0,01)	≤0,005 (не обн.)
7	Скв. 3334, ул. Терешковой	130,0	0,013 (0,26)	≤0,001 (не обн.)	0,0032 (0,0032)	0,002 (0,067)	≤0,001 (не обн.)	≤0,005 (не обн.)	0,0024 (0,024)	≤0,005 (не обн.)
8	Скв. 3286, ул. Степная	50,0	0,0074 (0,148)	≤0,001 (не обн.)	0,0025 (0,0025)	0,0021 (0,07)	≤0,001 (не обн.)	≤0,005 (не обн.)	0,0048 (0,048)	≤0,005 (не обн.)

Как видно из таблицы, содержание мышьяка и определявшихся тяжёлых металлов не превышает предельно допустимые концентрации для питьевых вод.

Выводы. Из определявшихся в воде химических элементов (As, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Mn, Co) рудообразующими являются никель, кобальт, медь, мышьяк. В результате проведённых исследований выявлено, что в подземных водах всех водоносных подразделений в точках опробования не обнаружено содержания кадмия и кобальта (последний — рудообразующий элемент). Присутствие никеля (рудообразующий элемент) в размере 0,0059 мг/л (0,059 ПДК) отмечено только в скважине 3335 на ул. Горной. В остальных точках обследования никель не обнаружен. Ионы меди содержатся в пределах 0,0068–0,0025 мг/л. Содержание меди в скважинах не закономерно в соответствии с потоком подземных вод от карт-накопителей. Максимальная величина содержания меди (0,0068 мг/л) отмечена в открытом колодце на ул. Матросова, вскрывающем аллювиальный водоносный горизонт.

Максимальные показатели содержания, как по абсолютной величине, так и по величине ПДК, отмечаются для мышьяка. Наибольшее количество мышьяка — 0,013 мг/л (0,26 ПДК) определяется в скважине, наиболее приближенной к хвостохранилищам бывшего комбината (скв. 3334 на ул. Терешковой). Повышенные содержания мышьяка в скважинах по убыванию от карт-накопителей (0,013 мг/л; 0,01 мг/л; 0,0082 мг/л) тяготеют к тальвегу лога, т. е. к наиболее пониженной части подземного потока (см. рис. 2).

По качеству все опробованные воды соответствуют СанПиН 2.1.4.1074-01 (СанПиН..., 2010).

Аллювиальные воды, вскрытые колодцем на ул. Болотной (правый берег р. Элегест, проба № 5), не попадающие под влияние карт-накопителей, имеют наименьшие минерализацию, общую жёсткость и наименьшие содержания тяжёлых металлов.

Подземные воды, вскрытые скважинами и колодцами, опробованы в зимний период, когда процессы растворения и переноса микроэлементов весьма замедлены. Проектом предусматривается дальнейшее исследование состояния подземных вод в районе карт-накопителей комбината Тувакобальт.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: Грант № 17-45-170588-р_а «Экогеохимическая модель трансформации вещества Co-Ni-Cu-арсенидных отходов обогащения руд месторождения Хову-Аксы (комбинат «Тувакобальт», Республика Тыва) с разработкой схемы рекультивации территорий».

ЛИТЕРАТУРА

- Бортникова С.В., Гаськова О.Л., Бессонова Е.П. Геохимия техногенных систем. – Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2006. – 169 с.
- Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: Справ. материалы / Под ред. Т.В. Гусевой. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. – 192 с.
- Лебедев В.И., Бурдин Н.В., Лебедев Н.И., Лебедева М.Ф., Лебедева С.В. Возможность возрождения кобальтового производства в Тыве // Современные наукоёмкие технологии. – 2009. – № 2. – С. 12–19.
- СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения: Пост. № 24 от 26.09.2001 г. с изм. 28.06.2010 г. – М., 2010.