

УДК 551.49 (571.55)

DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-6-34-42

## ГЕОХИМИЯ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ШАХТНЫХ ВОДАХ НОВОШИРОКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ИХ РОЛЬ В ЗАГРЯЗНЕНИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

## GEOCHEMISTRY OF ORE ELEMENTS IN MINE WATERS OF THE NOVOSHIROKINSKOYE DEPOSIT AND THEIR ROLE IN ENVIRONMENTAL POLLUTION



**Л. В. Таскина**, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита  
mila.taskina@mail.ru

**L. Taskina**, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita

По результатам ряда исследований выявлено негативное влияние на водную и воздушную среду природных стоков, подверженных воздействию техногенной деятельности. В связи с названным влиянием требуется дифференциация вод, отобранных с этих стоков, на типы. Объектом исследования являются шахтные воды Новоширокинского рудника, предметом – их погоризонтная геохимическая типизация.

Исследован химический макро- и микрокомпонентный состав шахтных вод, отобранных с различных горизонтов. На химический состав шахтных вод оказывают влияние: первоначальный состав подземных вод, формирующихся из исходных подземных источников, атмосферных осадков и поверхностных источников близлежащих водных объектов; смешение подземных вод разных горизонтов по мере отработки пластов и их взаимодействие с вскрышными породами и рудами, различными веществами техногенного происхождения, используемыми при разработке и эксплуатации данного месторождения.

Посредством анализа данных выделены пять гидрохимических типов подземных вод: гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый; сульфатно-гидрокарбонатный магниевый; гидрокарбонатный магниевый; гидрокарбонатный натриево-магниевый; гидрокарбонатный магниевый-кальциевый. Установлено, что на подземных горизонтах до +850 м вода представлена гидрокарбонатно-сульфатным кальциево-магниевым и сульфатно-гидрокарбонатным магниевым типами. На горизонте +800 м состав меняется на гидрокарбонатный магниевый, который в свою очередь переходит в гидрокарбонатный натриево-магниевый на отметке +750 м и гидрокарбонатный магниевый-кальциевый на горизонте +650 м. С понижением отметок наблюдается рост концентрации железа, марганца, мышьяка, цинка, алюминия и хрома. Обнаружено превышение содержания ПДК некоторых химических компонентов, установленных для водных объектов хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного значения. Классы качества воды по индексу загрязненности воды варьируются от умеренно загрязненных до чрезвычайно грязных. Такие превышения связаны с влиянием руд и вмещающих пород. Другая причина – проведение взрывных работ

*Ключевые слова:* шахтные воды; природный сток; источники загрязнения подземных вод; рудные элементы; химический состав; ПДК; гидрохимические данные; горизонтная отработка; концентрация элементов

According to the results of a number of studies, a negative impact on the water and air environment of natural runoff exposed to man-made activities has been identified. Due to this influence, it is necessary to differentiate the types of water taken from these drains. The object of study is the mine water Novoshirokinskoe of the mine, and the subject is their horizontal geochemical typification.

The chemical macro- and microcomponent composition of mine waters, selected from different horizons, is investigated. The chemical composition is influenced by: the initial composition of groundwater, which is formed from the source of underground water, precipitation and surface sources of nearby water bodies; Mixing groundwater with different horizons and their relationship with dissimilar rocks and ores that can be used in the development and operation of this deposit.

Through data analysis, five hydrochemical types of groundwater were identified: bicarbonate-sulphate calcium-magnesium; magnesium sulfate-bicarbonate; magnesium bicarbonate; sodium bicarbonate; bicarbonate magnesium-calcium. It has been established that on underground horizons up to +850 m water is represented by bicarbonate-sulphate calcium-magnesium and sulphate-bicarbonate magnesium types. At the + 800 m horizon, magnesium bicarbonate is formed at the level of +750 m and magnesium-calcium bicarbonate at the +650 m horizon. With the decrease of marks there is an increase in the level of iron, manganese, muscle, zinc, aluminum and chromium. An excess of the content of some chemical components in them, which are water bodies of drinking and fishery significance, was found. Contaminated waters vary in degree of contamination. Such excesses are associated with the influence of ores and host rocks. Another reason is blasting

**Key words:** mine water; natural runoff; sources of underground water pollution; ore elements; chemical composition; MPC; hydrochemical data; underground mining; concentration of elements

**В**ведение. В последние десятилетия проблема загрязнения окружающей среды токсичными компонентами в результате техногенного воздействия привлекает все больше внимания в силу возрастающего негативного влияния на человека. Одно из следствий развития горнодобывающей промышленности – загрязнение почв, природных поверхностных и подземных вод рудничными водами, дренажными стоками с отвалов и хвостохранилищ, мигрирующими пылевыми и аэрозольными осадками даже в районах, удаленных от областей локализации техногенных объектов. По мере изучения процессов, происходящих в пределах геологических техногенных объектов, и внешних связей последних с природными компонентами такое влияние рассматривается как реальная опасность, в особенности для природных вод, которые подвергаются интенсивному загрязнению в течение десятков лет [3–7; 9–16]. В этой связи защита природных вод от последствий деятельности приобретает первостепенное значение среди наук о Земле.

*Актуальность исследования* – рядом исследований доказано, что природные стоки, подверженные влиянию техногенной деятельности, негативно влияют на окружающую среду, в особенности на природные воды, в связи с чем требуется типизация отобранных с этих стоков вод.

*Объект исследования* – шахтные воды Новоширокинского рудника, предмет – их погоризонтная геохимическая типизация.

*Цель исследования* – изучение геохимического типа шахтных вод, сравнительный анализ химического состава шахтного водоотлива по горизонтам отработки Новоширокинского рудника.

*Задачи исследования:* проанализировать гидрогеохимические данные с учетом

возможных источников их формирования; типизировать химический состав дренажных вод на основе существующих классификаций; сравнить концентрации компонентов с действующими нормативами их качества.

*Краткая геологическая характеристика месторождения.* Новоширокинский рудник, находящийся в Газимуро-Заводском районе (Восточное Забайкалье), работает на базе Ново-Широкинского золото-полиметаллического месторождения, приуроченного к зоне Широкинского разлома (рис. 1). Месторождение относится к жильному типу, рудные тела имеют неясно выраженные контакты, сопровождаются рядом субпараллельных маломощных жил и прожилков, характеризуются кулисообразным расположением [1].

Месторождение локализовано в междуречье рек Газимур и Урюмкан в водораздельной части одного из отрогов Газимурского хребта. Главные водоразделы представляют собой остатки невысокого плато и имеют форму более или менее пологих сглаженных гребней. Абсолютные отметки высот в пределах района колеблются в пределах 800...1300 м. Относительные превышения водоразделов над долинами – 150...300 м.

Руда представляет собой комплексное сырье сложного минерального состава, к полезным компонентам которого относятся золото, серебро, свинец и цинк. Для руды характерна тонкая вкрапленность минералов и тесное взаимопрорастание полезного минерального комплекса и вмещающих пород.

Главными жильными минералами являются кварц, калиевые полевые шпаты, доломит и гидрослюда. Основные рудные компоненты представлены пиритом (10 %), галенитом (7 %), сидеритом (4 %), сфалеритом (2 %). Максимальное количество сульфидов в рудах достигает 20...30 %.

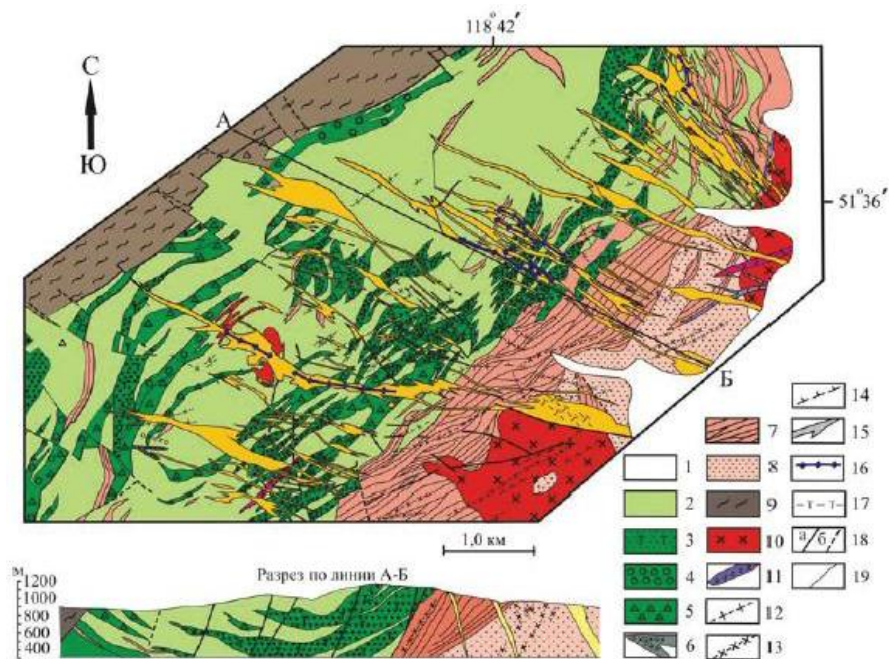


Рис. 1. Схема геологического строения Новоширокинского золото-полиметаллического месторождения [1]: 1 – четвертичные отложения; 2–5 – шадаронская серия  $J_{2-3}$ : 2 – верхняя эффузивная толща (андезиты, андезибазальты); 3–5 – нижняя толща (туфопесчаники, туфоалевролиты, туфобрекчии); 6 – кварцевые диоритовые порфиры  $J_{2-3}$ ; 7 –  $J_{1-2}$ ; песчаники, алевролиты; 8 –  $J_{1-2}$ ; песчаники; 9 –  $E_{1-2}$  – слюдястые алевролиты, песчаники, сланцы; мезозойские интрузии; 10 – гранодиориты; 11 – кварцевые порфиры; 12 – гранит-порфиры; 13 – диоритовые порфиры; 14 – лампрофиры; 15 – зоны метасоматитов; 16 – рудоносные кварц-сульфидные жилы; 17 – кварц-турмалиновые жилы; 18 – тектонические нарушения: а) достоверные, б) предполагаемые; 19 – геологические границы / Fig. 2. Scheme of geological structure of Novo-Shirokinsky gold-polymetal deposit [1]: 1 – quaternary sediments; 2–5 – shadaron series  $J_{2-3}$ : 2 – upper volcanic thickness (andesites, andesibasalt); 3–5 – lower thickness (tuffsandstones, tuffsiltstone, tuffbreccias); 6 – quartz diorite porphyry  $J_{2-3}$ ; 7 – sandstones, siltstones  $J_{1-2}$ ; 8 – sandstones  $J_{1-2}$ ; 9 – micaceous siltstones, sandstones, shales  $E_{1-2}$ ; mesozoic intrusions; 10 – granodiorites; 11 – quartz porphyries; 12 – granite-porphyries; 13 – diorite porphyry; 14 – lamprophyre; 15 – metasomatite zones; 16 – ore-bearing quartz-sulfide veins; 17 – quartz-tourmaline veins; 18 – tectonic faults: a) reliable; б) estimated; 19 – geological boundaries

Ведущую роль в формировании химического состава шахтных вод играет состав руд и вмещающих пород. Породы представлены порфиритами, андезитами. В пределах рудного поля вмещающие породы в результате окolorудных изменений превращены в хлорито-карбонатные, в которых преобладают карбонаты кальция, железа и магния группы доломита.

Рудные тела имеют протяженность до 2000 м при средней мощности 0,5...5,5 м и распространены на глубину свыше 500 м. По составу и содержанию основных полезных компонентов руды делятся на три типа: медистые серно-колчеданные; кварцево-полиметаллические и карбонатно-полиметаллические [2; 8].

Расчетные максимальные водопритоки на горизонтах +850, +800 и +750 м состав-

ляют 454, 325 и 200 м<sup>3</sup>/ч соответственно, водоприток в ствол шахты до горизонта 750 м приблизительно 92 м<sup>3</sup>/ч. При существующем развитии горных работ водоприток по стволу на горизонте +750 м в зимнее время составляет 22,7 м<sup>3</sup>/ч, в летнее время – 33 м<sup>3</sup>/ч.

Месторождение обрабатывается подземным способом: на горизонтах с отметками +933 и +850 м – с 1986 г. (были периоды простоя), на +800 м – с февраля 2009 г., на +750 м – с ноября 2015 г., на отметке +650 м – с февраля 2017 г.

**Методология и методика исследования.** Геолого-экологические изыскания включали гидрогеологические исследования с соответствующими методами: изучение природных геохимических аномалий, оценка уровня загрязнения, содержащая интегральную оценку качества воды по показателям, кото-

рые превышают ПДК и являются токсикологическими.

Отбор водных проб проводился в январе 2014 г. с дренажных выходов шахты на абсолютных отметках +850 м, +800 м, +750 м, а также в штольне на +933 м (пробы 1–7), в мае 2017 г. – на горизонте +650 м (пробы 8–11). На всех отметках пробы отобраны с восточного и западного вентиляционных транспортных штреков (ВВТШ и ЗВТШ), а на отметке +933 м – только с восточной штольни.

Анализ на макро- и микрокомпоненты выполнен атомно-абсорбционным методом с атомизацией в пламени ацетилен-воздух (Mg, а также высокие концентрации Fe, Mn) и закись азота-ацетилен (Ca и высокие содержания Al); методом пламенно-эмиссионной спектроскопии (Na, K); микроэлементы – ме-

тодом атомно-абсорбционной спектроскопии с прямой электротермической атомизацией проб на спектрофотометре SOLAAR M6, Termo Electron Corporation (England), аттестованной лабораторией гидрогеохимии и геоэкологии ИПРЭК СО РАН (г. Чита). Параллельно проанализированы микрокомпоненты методом ICP-MS в Институте геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск). Данные оптические методы, основанные на свойствах химических элементов поглощать или излучать определенные сигналы при возбуждении атомов, позволяют экспрессно получить результаты по концентрациям этих элементов.

*Результаты исследования и их обсуждение.* Результаты химического анализа водных проб представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 / Table 1

Результаты химического анализа макрокомпонентного состава вод /  
Results of the water macrocomponent composition data analyses

Показатель / Indicator	Номер пробы / Sample number											ПДК МРС
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Горизонт, м / Horizon, m	+850	+850	+800	+800	+750	+750	+933	+650	+650	+650	+650	
Штрек / Drift	ВВТШ / EMTD	ЗВТШ / WMTD	ВВТШ / EMTD	ЗВТШ / WMTD	ВВТШ / EMTD	ЗВТШ / WMTD	Полевой / Field	ВВТШ / EMTD	ВВТШ / EMTD	ЗВТШ / WMTD	ЗВТШ / WMTD	
pH	7,24	7,25	7,35	7,46	7,69	7,62	7,48	6,73	7,86	6,85	7,58	6,0-9,0
Eh, мВ / mV	274	276	276	278	272	271	274	97	97	135	142	–
ПО*, мгО/л / mgO/L	1,42	0,47	0,95	0,24	0,1	0,16	3,16	24,8	5,52	29,1	5,71	–
CO <sub>2</sub> , мг/л / mg/L	30,0	38,7	17,6	16,3	15,8	26,4	15,4	11,4	1,32	11,0	1,76	–
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	274	460	205	191	337	203	222	73,8	45,2	70,2	47,6	–
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	274	185	299	265	167	227	201	8,90	9,60	8,00	10,0	100
Cl <sup>-</sup>	2,51	8,92	8,71	8,32	5,63	7,95	1,78	10,6	1,85	8,80	1,78	300
F <sup>-</sup>	0,14	0,12	0,16	0,12	0,14	0,12	0,10	0,10	0,24	0,10	0,23	0,75
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	89,6	0,62	0,31	8,96	2,97	0,65	25,8	0,82	1,80	0,71	1,56	40
Ca <sup>2+</sup>	80,6	42,3	18,3	22,9	16,8	16,3	34,9	16,7	11,0	16,0	11,4	180
Mg <sup>2+</sup>	80,0	82,3	91,1	72,7	75,0	71,3	61,1	6,09	4,83	5,95	4,77	40
Na <sup>+</sup>	16,1	44,9	46,7	49,6	30,5	42,1	31,2	4,88	4,21	2,03	3,70	120
K <sup>+</sup>	6,56	2,34	2,27	2,33	2,52	2,35	1,43	6,59	0,95	6,14	0,79	50
M**	823	669	609	632	568	552	553	121	77,0	111	80,0	1000
Si	3,80	4,94	5,20	4,86	4,34	4,83	3,83	4,25	6,05	4,15	6,25	10,0
P	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,08	0,16	0,11	0,17	0,11	–

Примечание. ПДК – предельно-допустимые концентрации вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения (Приказ Минсельхоза РФ от 13 декабря 2016 г. № 552); \* – перманганатная окисляемость, мгО/л; \*\* – минерализация, мг/л; ВВТШ – восточный внутришахтный транспортный штрек; ЗВТШ – западный внутришахтный транспортный штрек / Note. МРС – Maximum permissible concentrations of harmful substances in water bodies of fishery significance; \* – permanganate oxidizability, mgO/L; \*\* – TDS, mg/L; EMTD – eastern mine transport drift; ZVTD – western mine transport drift

В соответствии с классификацией А. М. Овчинникова, по величине общей минерализации рудничные воды ультрапресные и пресные (77...823 мг/л). В зависимости от значения водородного показателя по ОСТ 41-05-263-86 «Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре» они относятся к нейтральным (6,73...7,86 pH).

В анионном составе вод, отобранных на горизонте +650 м (пробы № 8–11) преобладает гидрокарбонат-ион  $\text{HCO}_3^-$ , содержание которого находится в интервале концентраций 45,2...73,8 мг/л, достигающее максимума в пробе № 11. В остальных (пробы № 1–7) преобладают гидрокарбонат-ион (34,2...64,8 мг/л, максимальное содержание в пробе № 2) или сульфат-ион  $\text{SO}_4^{2-}$  (33,0...63,3 мг/л, максимальное содержание в пробе № 3). Содержания хлорид-ионов  $\text{Cl}^-$  не являются существенными для определения химического типа воды и составляют 0,6...17,5 %-экв. при содержании 1,78...10,6 мг/л, максимальное – в пробе № 8.

В катионном составе вод, взятых с горизонта +650 м, по весовому содержанию преобладает кальций  $\text{Ca}^{2+}$  (11,0...16,7 мг/л). В остальных случаях (пробы № 2–8) преобладающим является магний  $\text{Mg}^{2+}$  (61,1...91,1 мг/л),

за исключением пробы № 1, в которой кальций  $\text{Ca}^{2+}$  и магний  $\text{Mg}^{2+}$  имеют одинаковую концентрацию. Натрий варьирует в интервале концентраций 2,03...49,6 мг/л по всей выборке проб. Концентрации калия  $\text{K}^+$  невелики (0,79...6,59 мг/л).

В изученных водах выявлено превышение предельно-допустимых концентраций по некоторым химическим компонентам. Концентрация сульфатов превышает ПДК в 1,5...3 раза. По нитратам  $\text{NO}_3^-$  в пробе № 1 обнаружено превышение в 2 раза. Это связано с тем, что на данном горизонте (+933 м) проводились в большом объеме взрывные работы. Кроме этого в пробах № 1–7 наблюдается превышение магния в 1,5...2 раза. Содержания остальных компонентов находятся в пределах установленных нормативов.

Согласно ОСТ 41-05-263-86, в данных водах по преобладающим анионам и катионам, значения которых больше 20 %-экв., выделяются следующие типы подземных вод: I тип – гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый (пробы 1, 7), II тип – сульфатно-гидрокарбонатный магниевый (пробы 2, 5), III тип – гидрокарбонатный магниевый (проба 3), IV тип – гидрокарбонатный натриево-магниевый (пробы 4, 6), V тип – гидрокарбонатный магниевый-кальциевый (пробы 8–11).

Таблица 2 / Table 2

Содержание металлов и металлоидов в шахтных водах Новоширокинского месторождения /  
Content of metals and metalloids in the mine waters of the Novoshirokinsky Deposit

Компонент / Component	Номер пробы / Number of sample											ПДК / MPC
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Горизонт / Horizon	+850	+850	+800	+800	+750	+750	+933	+650	+650	+650	+650	
Штрек / Drift	ВВТШ / EMTD	ЗВТШ / WMTD	ВВТШ / EMTD	ЗВТШ / WMTD	ВВТШ / EMTD	ЗВТШ / WMTD	Полевой / Field	ВВТШ / EMTD	ВВТШ / EMTD	ЗВТШ / WMTD	ЗВТШ / WMTD	
Sr, мг/л / mg/L	13,7	16	21,9	16,5	4,22	4,2	12,3	0,08	0,10	0,08	0,11	0,40
Fe	0,02	0,04	0,02	0,03	0,08	0,17	0,08	1,00	0,69	0,95	0,83	0,10
Mn, мкг/л / µg/L	8,00	10,0	20,0	10,0	130	10,0	30,0	110	220	170	260	10,0
Zn	2,45	2,28	2,24	2,09	1,99	1,91	2,30	19,9	14,3	47,7	13,1	10,0
Cu	6,12	6,46	5,27	2,92	16,2	3,10	13,2	3,06	8,50	7,47	4,04	1,00
Pb	0,31	1,03	0,39	0,19	11,1	3,16	61,0	12,7	1,60	41,2	1,04	6,00
Cd	<0,07	<0,07	<0,07	0,72	<0,07	0,51	2,88	0,09	0,16	0,29	0,14	5,00
Ni	20,0	15,9	5,62	4,95	4,94	6,02	14,8	6,43	4,97	14,8	4,85	10,0
Co	3,18	2,93	2,63	<0,32	3,01	0,89	1,67	1,35	0,19	4,45	0,19	10,0
As	<0,52	<0,52	<0,52	<0,52	<0,52	0,64	0,60	8,26	15,7	13,9	16,6	50,0
Cr	<0,07	<0,07	<0,07	0,10	<0,07	0,08	0,14	7,80	1,33	17,0	1,88	70,0
Al	13,2	11,4	9,4	4,66	38	6,4	28	1909	271	3395	603	40,0
Ag	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,23	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	-

Примечание: сокращения в соответствии с табл. 1.

Наблюдается неоднородность в распределении минерализации, pH и концентрации основных катионов и анионов вод, отобранных с разных горизонтов шахты (рис. 2).

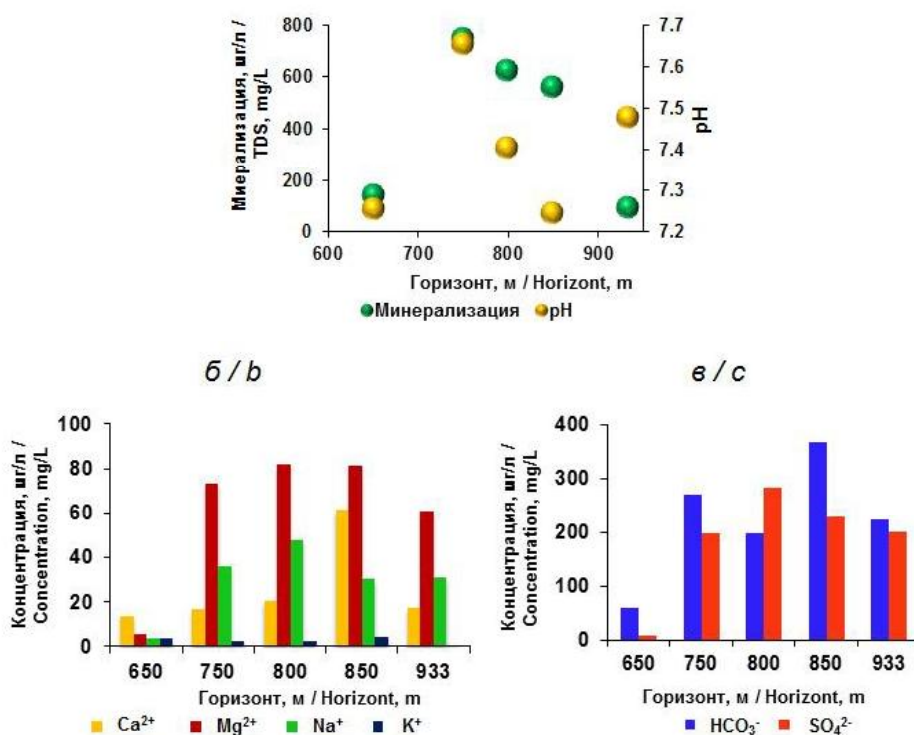


Рис. 2. Распределение некоторых физико-химических параметров шахтных вод относительно высотных отметок (по средним значениям): а) pH и минерализации по горизонтам; б) основных катионов; в) гидрокарбонат- и сульфат-ионов / Fig. 2. Distribution of some mine water physical and chemical parameters with respect to height marks: а) pH and TDS; б) basic cations; в) bicarbonate and sulfate ions

Подобное распределение основных показателей вод может объясняться разным водопритоком в горные выработки и различной глубиной залегания дренируемых вод (рис. 3). Наибольшее значение водопритока отмечается на горизонте +933 м. Эти воды менее минерализованные и щелочные. Начиная с горизонта +850 м и ниже, до +750 м, водоприток уменьшается и только на горизонте +650 м снова усиливается. Соответственно меняются и гидрогеохимические параметры. Уменьшение минерализации и других гидрохимических характеристик воды на горизонте +650 м в значительной степени связано, видимо, со смешением подземных вод с менее минерализованными водами бурового раствора скважин подземного бурения.

По концентрациям микрокомпонентов по горизонтам наблюдается следующая картина: на горизонте +933 м максимальные значения Pb (61 мкг/л, при среднем 12 мкг/л), Cd (3 мкг/л, при среднем 0,5 мкг/л)

и Ag (1,23 мкг/л) в пробе № 7; на горизонте +850 м – Ni (20 мкг/л, среднее 9 мкг/л) – проба № 1; на горизонте +800 м – Sr (22 мг/л, среднее – 8 мг/л) – проба № 3; на горизонте +750 м – Cu (16 мкг/л, при среднем 7 мкг/л) – проба № 5; на горизонте +650 м – по всем остальным микроэлементам. Также с понижением высотных отметок по ряду компонентов наблюдается либо концентрирование, либо рассеивание (см. рис. 3).

Во всех водах наблюдается превышение ПДК для вод рыбохозяйственного использования по Sr (4...22 мг/л) и Mn (10...260 мкг/л, кроме пробы № 1). Также обнаружены превышения по ряду компонентов в некоторых пробах: Fe (пробы 1, 8–11), Zn (8–11), Pb (5, 7, 8, 10), Ni (1, 2, 7, 10), Al (8–11).

Интегральная оценка качества воды показала, что воды относятся к III, V, VI и VII классам качества воды. По характеристике воды умеренно загрязненные, грязные, очень грязные и чрезвычайно грязные.

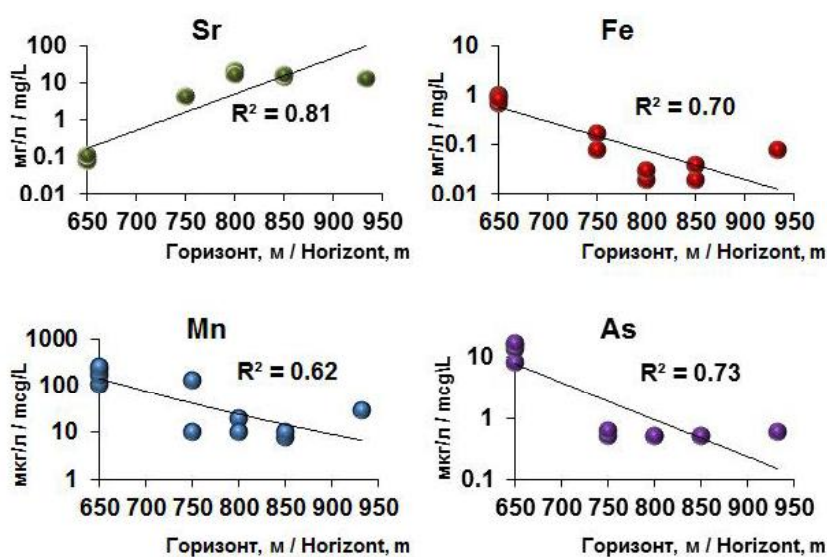


Рис. 3. Распределение концентраций стронция, железа, марганца и мышьяка в шахтных водах относительно высотных отметок / Fig. 3. Distribution of strontium, iron, manganese and arsenic concentrations in mine water with respect to height marks

**Заключение.** Особенностью химического состава шахтных вод Новоширокинского рудника является преобладание среди катионов магния, обусловленное выщелачиванием доломитизированных вмещающих пород и доломита рудных жил. Кальций при этом частично удаляется из воды в результате выпадения кальцита, равновесие с которым по полученным значениям минерализации и pH достигается [13]. Развитием карбонатов в составе пород и руд определяются и нейтральные значения pH вод, несмотря на довольно высокое содержание сульфидов в рудах. Шахтные воды характеризуются аномально высоким содержанием стронция, хотя в породах и рудах его минералы в геологических материалах не описаны.

Еще одна гидрогеохимическая особенность шахтного водоотлива – уменьшение минерализации воды с увеличением глубины отработки месторождения, что можно объяснить выведением части компонентов во вторичные минеральные образования, на-

пример, кальцит, по мере фильтрации воды на глубину. Установленные в водах нижнего горизонта высокие концентрации алюминия связаны, скорее всего, с техногенным поступлением в результате использования в составе взрывчатых веществ алюминиевой пудры, тогда как уменьшение общей минерализации воды – с разбавлением подаваемой с поверхности водой для промывки скважин подземного бурения.

Наблюдаемое превышение рыбохозяйственных нормативов по некоторым компонентам обязано поступлению их в воду из руд и вмещающих пород месторождения, а также является результатом буро-взрывных работ. Для выяснения природы высоких концентраций в шахтных водах стронция и алюминия, а также причины уменьшения общей минерализации воды на нижнем горизонте требуются дополнительные исследования. Гидрохимический мониторинг качества воды показал, что воды умеренно загрязненные, грязные, очень грязные и чрезвычайно грязные.

#### Список литературы

1. Абрамов Б. Н., Калинин Ю. А., Ковалев К. Р., Посохов В. Ф. Широкинский рудный узел (Восточное Забайкалье): условия образования, геохимия пород и руд, связь оруденения с магматизмом // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 6. С. 6–17.
2. Али А. А., Прокофьев В. Ю., Кряжев С. Г. Геохимические особенности формирования Ново-Широкинского золотополиметаллического месторождения // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2014. № 2. С. 15–21.

3. Войтович С. П. Геохимические особенности шахтных вод угольных бассейнов Украины и России // Молодой ученый. 2015. № 23. С. 395–397.
4. Замана Л. В. Геохимия кислых дренажных вод золоторудных месторождений Восточного Забайкалья // Вода: химия и экология. 2013. № 8. С. 92–97.
5. Замана Л. В., Чечель Л. П. Гидрогеохимические особенности зоны техногенеза полиметаллических месторождений Юго-Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2015. № 1-1. С. 33–38.
6. Коваленкер В. А., Плотинская О. Ю., Прокофьев В. Ю., Гертман Ю. Л., Конеев Р. И., Поморцев В. В. Минералогия, геохимия и генезис золото-сульфидно-селенидно-теллуридных руд месторождения Кайрагач (Республика Узбекистан) // Геология рудных месторождений. 2003. Т. 45, № 3. С. 195–227.
7. Корнеева Т. В., Юркевич Н. В., Аминов П. Г. Геохимические особенности миграционных потоков в зоне влияния горнопромышленного комплекса (г. Медногорск) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 2. С. 85–94.
8. Прокофьев В. Ю., Киселева Г. Д., Долманова-Тополь А. А., Кряжев С. Г., Зорина Л. Д., Краснов А. Н., Борисовский С. Е., Трубкин Н. В., Магзина Л. В. Минералогия и условия формирования Новоширокинского золото-полиметаллического месторождения (Восточное Забайкалье) // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59, № 6. С. 542–575.
9. Суярко В. Г. Геохимия подземных вод восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена. Харьков: ХНУ, 2006. 225 с.
10. Трофимов А. П., Фунтиков Б. В., Лючкин В. А., Пивоваров А. П., Ваганов И. Н. Геохимическая зональность и геолого-геохимическая модель Западной золоторудной зоны и Петропавловского месторождения (Полярный Урал) // Эндогенное оруденение в подвижных поясах: XIII чтения памяти А. Н. Заварицкого: сб. ст. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2007. С. 226–229.
11. Улицкий А. А. Геохимические особенности шахтных вод Донбасса // Вестник Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина. Серия: Геология. География. Экология. 2009. № 31. С. 79–82.
12. Шафигулина Г. Т. Геохимия фоновых водотоков и влияние техногенных вод на природные речные системы Учалинского района // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов Академии наук Республики Башкортостан. 2011. № 16. С. 104–108.
13. Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366 с.
14. Franchini M., McFarlane C., Maydagan L., Reich M., Lentz D. R., Meinert L., Bouhier V. Trace metals in pyrite and marcasite from the Agua Rica porphyry-high sulfidation epithermal deposit, Catamarca, Argentina: textural features and metal zoning at the porphyry to epithermal transition // Ore Geology Reviews. 2015. Vol. 66. P. 366–387.
15. Ivanova J., Tykova E., Abramova V., Kovalchuk E., Vikentyev I. Ores mineralogy and first data about “invisible” form of Au in pyrite of the Novogodnee-Monto deposit (the Polar Urals, Russia) // 13th Biennial Meeting of Society for Geology Applied to Mineral Deposit. Nancy, France. 2015. Vol. 1. P. 121–125.
16. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S. Geology, mineralization, stable isotope geochemistry and fluid inclusion characteristics of the Novogodnee-Monto oxidized Au-(Cu) skarn and porphyry deposit (the Polar Ural, Russia) // Mineralium Deposita. 2013. Vol. 48. P. 603–625.

## References

1. Abramov B. N., Kalinin Yu. A., Kovalev K. R., Posokhov V. F. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* (Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering), 2017, vol. 328, no. 6, pp. 6–17.
2. Ali A. A., Prokofiyev V. Yu., Kryazhev S. G. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4. Geologiya* (Moscow University Geology Bulletin. Series 4. Geology), 2014, vol. 69, no. 2, pp. 72–78.
3. Voytovich S. P. *Molodoy ucheny* (Young Scientist), 2015, no. 23, pp. 395–397.
4. Zamana L. V. *Voda: himiya i ekologiya* (Water: chemistry and ecology), 2013, vol. 8, pp. 92–97.
5. Zamana L. V., Chechel L. P. *Uspehi sovremennogo yestestvoznaniya* (Advances in Current Natural Sciences), 2015, no. 1, pp. 33–38.
6. Kovalenker V. A., Plotinskaya O. Yu., Prokofiev V. Yu., Gertman Yu. L., Koneyev R. I., Pomortsev V. V. *Geologiya rudnyh mestorozhdeniy* (Geology of Ore deposits), 2003, vol. 45, no. 3, pp. 171–200.
7. Korneeva T. V., Yurkevich N. V., Aminov P. G. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* (Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering), 2017, vol. 328, no. 2, pp. 85–94.
8. Prokofiev V. Y., Kiseleva G. D., Dolomanova-Topol A. A., Borisovsky S. E., Trubkin N. V., Magazina L. V., Kryazhev S. G., Krasnov A. N., Zorina L. D. *Geologiya rudnyh mestorozhdeniy* (Geology of Ore Deposits), 2017, vol. 59, no. 6, pp. 521–550.



9. Suyarko V. G. *Geokhimiya podzemnykh vod vostochnoy chasti Dneprovsko-Donetskogo avlakogena* (Geochemistry of underground waters in the Eastern part of the Dnieper-Donets aulacogen). Kharkov: KHNU, 2006. 225 p.
10. Trofimov A. P., Funtikov B. V., Lyuchkin V. A., Pivovarov A. P., Vaganov I. N. *Endogennoye orudneniye v podvizhnykh poyasah: XIII chteniya pamyati A. N. Zavaritskogo: sb. st.* (Endogenous ore formation in mobile belts: XIII readings in memory of A. N. Zavaritsky: collected articles). Yekaterinburg: IGIG UrB RAS, 2007, pp. 226–229.
11. Ulitskiy A. A. *Vestnik Harkovskogo natsionalnogo universiteta im. V. N. Karazina. Seriya: Geologiya. Geografiya. Ekologiya* (Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series: Geology. Geography. Ecology), 2009, no. 31, pp. 79–82.
12. Shafigullina G. T. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnykh resursov Akademiyi nauk Respubliki Bashkortostan* (Geology. Proceedings of the Earth Sciences and Natural Resources department of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan), 2011, no. 16, pp. 104–108.
13. Shvartsev S. L. *Gidrogeokhimiya zony gipergeneza* (Hydrogeochemistry of hypergenesis zone). Moscow: Nedra Publ., 1998. 366 p.
14. Franchini M., McFarlane C., Maydagan L., Reich M., Lentz D. R., Meinert L., Bouhier V. *Ore Geology Reviews* (Ore Geology Reviews), 2015, vol. 66, pp. 366–387.
15. Ivanova J., Tykova E., Abramova V., Kovalchuk E., Vikentyev I. *13th Biennial Meeting of Society for Geology Applied to Mineral Deposit* (13th Biennial Meeting of Society for Geology Applied to Mineral Deposit). Nancy, France, 2015, vol. 1, pp. 121–125.
16. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S. *Mineralium Deposita* (Mineralium Deposita), 2013, vol. 48, pp. 603–625.

---

*Исследование выполнено в ходе выполнения государственного задания  
по проекту IX.137.1.2. «Геохимия редких и редкоземельных элементов в природных и геотехногенных  
ландшафтах и гидрогеохимических системах»*

---

**Коротко об авторе****Briefly about the author**

*Таскина Людмила Викторовна*, мл. науч. сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия. Научные интересы: гидрогеохимия, дренажные воды золоторудных месторождений  
mila.taskina@mail.ru

*Lyudmila Taskina*, junior researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia. Scientific interests: water chemistry, drainage water of gold ore deposits

**Образец цитирования**

*Таскина Л. В. Геохимия рудных элементов в шахтных водах Новоширокоского месторождения и их роль в загрязнении окружающей среды // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 6. С. 34–42. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-6-34-42.*

*Taskina L. Geochemistry of ore elements in mine waters of the Novoshirokinskoye deposit and their role in environmental pollution // Transbaikal State University Journal, 2020, vol. 26, no. 6, pp. 34–42. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-6-34-42.*

Статья поступила в редакцию: 11.06.2020 г.  
Статья принята к публикации: 03.07.2020 г.