

складчатой области. Именно здесь были развернуты первые работы по геологическому картированию Южного Урала в рамках государственной программы по изучению территории СССР, принятой в 1954 г. В ходе выполнения исследований был выделен вышеупомянутый Каратауский надвиг. Это открытие стало поворотным событием в истории геологии: оно изменило предшествующие представления о вертикально-блоковом строении Урала [4, 5]. Работы, проведенные в 2010–2013 гг. позволили выделить в пределах Салаватского района поднадвиговую зону, перспективную для поисков углеводородов [3]. Создание геопарка позволит продолжить исследования в этом чрезвычайно важном направлении.

Высокую научно-практическую значимость имеет изучение феномена Янган-Тау [7]. Комплексное исследование с анализом имеющихся температурных данных со скважин и химического состава вод, проведением геохимического опробования местности на основе современных аналитических методов и выполнением объемной 3D модели с помощью геостатистических программ даст возможность уточнить генезис этого уникального явления и представить прогноз его эксплуатации.

Важным культурным наследием является история Салаватского района — родины национального героя башкирского народа, борца за свободу и поэта Салавата Юлаева, воспевшего Урал в своих стихах.

Заключение

Геопарк является территорией, где наглядно представлена геологическая история Земли, процессы формирования местных ландшафтов, образования пород и месторождений полезных ископаемых, сохранились останки доисторических животных. Республика Башкортостан несомненно имеет все предпосылки для создания геопарка. Это уникальные и разнообразные геологические объекты, которые могут служить представительной площадкой для научных экскурсий, осуществления фундаментальных исследований, популяризации естественнонаучных знаний, международного сотрудничества. Башкирская АССР явилась одним из первых регионов на территории современной России, где была начата разработка месторождений нефти и газа. Геологам Башкортостана принадлежит приоритет целого ряда научных открытий мирового значения. Создание в республике геопарка со статусом ЮНЕСКО будет важным вкладом в образовательный, культурный, экономический прогресс региона и достижение экологического благополучия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белан, Л.Н. Природно-рекреационный потенциал Республики Башкортостан: современное положение и перспективы использования / Л.Н. Белан, Е.А. Богдан // Стратегия устойчивого развития регионов России. — 2012. — № 10. — С. 73–77.
2. Гареев, Э.З. Геологические памятники природы Республики Башкортостан / Э.З. Гареев. — Уфа: Тау, 2004. — 296 с.
3. Исмагилов, Р.А. Подгорные зоны передовых прогибов — перспективные объекты для поисков нефти и газа / Р.А. Исмагилов, И.М. Фархутдинов, А.М. Фархутдинов // Геология. Известия Отдела наук о Земле и природных ресурсов АН Республики Башкортостан. — 2014. — № 20. — С. 36–45.

4. Исмагилов, Р.А. Шарьяжно-надвиговой теории — 50 лет. / Р.А. Исмагилов, И.М. Фархутдинов, А.М. Фархутдинов и др. // Природа. — 2015. — № 12. — С. 50–59.
5. Камалетдинов, М.А. Новая геология (теория шарьяжей) / М.А. Камалетдинов // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН Республики Башкортостан. — 1998. — № 3. — С. 10–23.
6. Камалетдинов, М.А. Ученые и время / М.А. Камалетдинов. — Уфа: Гилем, 2007. — 320 с.
7. Нигматулин, Р.И. Физическая природа тепловых аномалий горы Янгантау на Южном Урале / Р.И. Нигматулин, Т.Т. Казанцева, М.А. Камалетдинов, Ю.В. Казанцев // Докл. РАН. — 1998. — Т. 362. — № 6. — С. 807–809.
8. Реестр особо охраняемых природных территорий республиканского значения. Изд. 3-е перераб. — Уфа: Издательство «Белая река», 2016. — 400 с.
9. Решения исполнительного совета Организации объединенных наций по вопросам образования науки и культуры (ЮНЕСКО). Сто девяносто шестая сессия. Часть 1. (196 X/5. Part 1). Перевод с английского языка. — Париж, 24 марта 2015 г. — 154 с.
10. Сафарян, А.А. Кунгурский геопарк: условия создания и их соответствие требованиям ЮНЕСКО / А.А. Сафарян, А.В. Фирсова / Туризм в глубине России: Сб. трудов III Междунар. научного семинара. — Пермь, 2014. — С. 153–159.
11. Фаррахов, Е.Г. Перспективы геотуризма в Башкортостане / Е.Г. Фаррахов, В.Н. Никонов, Л.Н. Белан, Р.К. Ильясов // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 3. — С. 65–69.
12. Фархутдинов, И.М. Геологическое образование в Республике Башкортостан / И.М. Фархутдинов, Р.А. Исмагилов, А.М. Фархутдинов, А.Ф. Нигматуллин // Вестник Башкирского университета. — 2016. — Т. 21. — № 2. — С. 333–339.
13. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/> (дата обращения 27.03.2018).

© Коллектив авторов, 2018

Фархутдинов Исхак Мансурович // iskhakgeo@gmail.com
Белан Лариса Николаевна // belan77767@mail.ru
Фархутдинов Анвар Мансурович // anvarfarh@mail.ru
Исмагилов Рустем Айратович // rustem_ismagilov@bk.ru
Богдан Екатерина Александровна // eavolkova@bk.ru

УДК 556.550.4:553

Криночкина О.К. (Научно-исследовательский Московский государственный строительный университет)

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ГИДРОСФЕРЫ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*На примере различных месторождений твердых полезных ископаемых показаны причины химического загрязнения их гидросферы. Рассматриваются исходные геолого-минерагенические факторы влияния разрабатываемых месторождений на состояние гидросферы и техногенные факторы как их усугубляющие. Под первыми понимаются состав руд и вмещающих пород с их околорудными изменениями и трещиноватостью, под вторыми — разработка месторождений, способ добычи руд и условия хранения хвостов обогащения. **Ключевые слова:** разработка месторождений, гидросфера, состав пород и руд.*

Krinochkina O.C. (Research Moscow state construction University)

THE INFLUENCE OF GEOLOGICAL-MINEROGENIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE STATE OF THE HYDROSPHERE, ELABORATING OF DEPOSITS

Causes of chemical contamination of the hydrosphere are shown by the examples a number of various solid mineral deposits. By considering the initial geological and minerogenic factors of influence on the state of the hydrosphere and man-made as they are aggravating. Under the first refers to the composition of ores and host rocks with their near-ore changes, and fracture; the second is the actual elaborate of deposits, mining of ores and some of the conditions of storage of tailings.

Keywords: elaborating of deposits, hydrosphere, composition of rocks and ores.

Изучением влияния разрабатываемых месторождений полезных ископаемых (МПИ) на состояние гидросферы занимаются уже многие годы, как сами разработчики месторождений, так и экологи, гидрогеологи и другие специалисты. Изучение данного вопроса происходит не только на локальном уровне, но и на региональном, так как результаты воздействия разработки многих месторождений охватывают значительные площади, оказывая влияние на гидросферу и другие компоненты окружающей среды (ОС). Например, известно, что при дренировании Стойленского и Лебединского карьеров месторождений Курской магнитной аномалии образовалась единая депрессионная воронка, радиус которой достигает нескольких десятков километров.

Состояние гидросферы является одним из наиболее важных и информативных показателей состояния ОС, так как ее загрязнение обуславливает изменение состояния всех звеньев трофической цепи: почв — растений — живых организмов. С включением данного механизма связаны многие специфические заболевания населения. Например, из-за дефицита в воде кальция страдает костно-мышечная система, избыток фтора приводит к флюорозу, а алюминия — к проявлениям болезни Альцгеймера и т. д. [1, 7].

Факторы влияния разрабатываемых месторождений (РМ) на состояние гидросферы можно подразделить на геолого-минерогенические и техногенные. Среди первых в статье будут рассмотрены: влияние состава руд, вмещающих пород с их околорудными изменениями и трещиноватостью; среди вторых — влияние способа добычи, условий хранения хвостов обогащения на гидросферу.

Автором изучалось воздействие на гидросферу разрабатываемых апатит-нефелиновых месторождений Хибинских тундр (ХТ) на Кольском полуострове и медноколчеданных месторождений Южного Урала.

Месторождения ХТ включают: Кукисвумчоррское, Юкспорское, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр. Они разрабатываются горнорудным предприятием «Апатит». Руда добывается рудниками: Кировский, Расвумчоррский, Центральный и Восточный.

Месторождения Южного Урала (Учалинское и Новоучалинское) разрабатываются Учалинским горнорудным предприятием «УГОК».

Данные объекты были выбраны в качестве репрезентативных по нескольким причинам. Во-первых, это — длительно разрабатываемые крупные месторождения с большими запасами руд, что предопределяет и их значительное по масштабам воздействие на окружающую среду, в том числе на гидросферу. Во-вторых, в составе руд и пород изучаемых объектов доминируют токсичные и высокотоксичные элементы, активно мигрирующие в гидросфере. В-третьих, выбранные группы месторождений обладают хорошо выраженной полярностью кислотно-щелочных обстановок миграции химических элементов, что позволяет выявить влияние разработки месторождений в различных природных условиях.

Методы исследования включали: полевые наблюдения, геохимическое опробование (почв, донных отложений, поверхностных и подземных вод, руд и вмещающих пород, горнопородных отвалов по фракциям), разномасштабное эколого-геохимическое картирование и камеральную обработку. Лабораторный комплекс включал: приближенно-количественный атомно-эмиссионный спектральный анализ (ПАЭСА) на 40 элементов для руд, вмещающих пород и горнопородных отвалов, атомной абсорбции — для валовых форм ртути (во всех пробах) и масс-спектрометрический анализ с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) для проб подземных и поверхностных вод, почв и донных отложений на 46 элементов. Обработка материалов проводилась с помощью программ Argis, Excel, Statistic.

Все изучаемые сферы тесно связаны между собой. Например, преобладающий состав пород задает геохимический фон всех компонентов ландшафта [2], а, следовательно, и гидросферы. Еще С.Л. Шварцевым [11] было доказано, что состав вод зон гипергенеза является гетерогенным, так как одна часть элементов поступает из атмосферы, другая часть — из биосферы, а третья — из литосферы. В пределах зон влияния длительно разрабатываемых МПИ все эти сферы обогащены, как правило, профилирующими рудными элементами и их спутниками. Благодаря процессам дефляции в первую очередь загрязняются атмосфера, почвы и растения, а затем за счет плоскостного смыва и других процессов — донные отложения. Кроме того, почвы изначально обогащены химическими элементами материнских пород.

Рассмотрим влияние на гидросферу *состава руд и вмещающих пород* сначала на примере месторождений Хибинских тундр.

Вмещающими породами для хибинских месторождений являются нефелиновые сиениты и уртиты, а сами руды имеют нефелин-apatитовый состав. Из-за доминирования щелочных пород в составе Хибинского массива для всех МПИ Хибинских тундр характерна повышенная щелочность вод, pH изменяется от 8,7 до 9,5. Анионогенные элементы (Al, Mo, Ga, Sc и др.)

в такой обстановке мигрируют в форме хорошо растворимых солей щелочных металлов — Na_2SiO_3 , Na_2AlO_2 , Na_2MoO_4 и др.

Из-за высокой щелочности гидросферы увеличиваются миграционные способности большинства тяжелых металлов. Этому также способствуют высокие концентрации в воде сильных лигандов-комплексобразователей таких, например, как фтор (F^-) и гидроксид-ион (OH^-), которые активизируют миграцию многих токсичных элементов. Повышенное содержание фтора в водах месторождений Хибинских тундр (до $3,7 \text{ мг/дм}^3$) обусловлены его чрезвычайной подвижностью и повышенными содержаниями в породах и рудах (минералы: апатит, фтор-apatит, вилломит и др.).

Но еще более сильным лигандом-комплексобразователем является гидроксид-ион. Наличие нефелиновых сиенитов резко поднимает его концентрации, т.к. при разложении нефелина высвобождается большое количество OH^- . Вследствие своей высокой концентрации в природных растворах он, по данным Б.А. Колотова, А.М. Эленбогена [8], ступенчато вытесняя другие лиганды (иногда и фтор), образует очень прочные гидроксокомплексы.

Автором установлено, что в пределах месторождений Кукисвумчорр, Расвумчорское Плато, Апатитовый Цирк значительно превышены относительно фона концентрации в воде следующих химических элементов: F, Na, P, Al, U, Sr. Это связано в основном с химическим составом руд. Нефелин, растворяясь, поставляет Na, Al. Растворимость апатита значительно хуже, чем нефелина [10], но и он со временем растворяется, увеличивая концентрации в воде элементов P, Ca, Sr, U и F.

Принципиально иное влияния на гидросферу оказывают южноуральские медноколчеданные месторождения. Прежде всего, эти месторождения — колчеданные, что сразу ставит их в ряд наиболее опасных по степени воздействия на всю ОС и гидросферу, в частности. В составе руд доминируют такие токсичные элементы, как Pb, Zn, Cu, а их спутники — As, Cd, относятся к высокотоксичным. Кроме того, большинство рудных минералов этих месторождений представлено сульфидами. Как известно, их окисление создает кислую среду, в которой миграционные способности большинства тяжелых металлов значительно возрастают. По данным Б.А. Колотова и других авторов [3, 9] значительное количество сульфатов обнаруживается в гидрохимических ореолах месторождений различных промышленных типов, но в колчеданных месторождениях этот показатель достигает наибольшего значения (до 1000 мг/дм^3).

Трещиноватость пород с одной стороны является природным фактором, поскольку имеет широкое развитие в пределах большинства МПИ, локализуясь обычно в ослабленных зонах повышенной трещиноватости, а с другой — техногенно активированным фактором, так как степень ее возрастает при разработке месторождения в связи с взрывными работами, кото-

рые раскрывают, продлевают природные трещины и создают новые.

Для большинства месторождений Хибинских тундр характерна относительно малая трещиноватость кристаллических пород дочетвертичного возраста. Но мощность зон трещиноватости довольно значительна, и это создает условия для накопления в подземных водах токсичных элементов (ТЭ) и их соединений. С одной стороны, из трещиноватых и выветрелых пород они более интенсивно выщелачиваются, а в местах хорошей обнаженности пород плохо защищенные водоносные горизонты дополнительно обогащаются этими же элементами с поверхности. Кроме того, сюда попадают также нитраты и нитриты, достигая в районе Расвумчоррского рудника значений $29,3$ и $14,5 \text{ мг/дм}^3$ соответственно. Попадание в поверхностные и подземные воды нитратов и нитритов, безусловно, связано с взрывными работами при разработке МПИ. По этим же каналам в подземные трещинные воды могут попадать и другие, привнесенные техногенезом, химические ингредиенты.

По характеру циркуляции подземные воды кристаллических пород РЗ-РТ возраста относятся к трещинным. Ввиду структурных особенностей Хибинского массива на отдельных участках они приобретают черты пластово-трещинных. Воды кристаллических пород гидравлически взаимосвязаны с другими водоносными горизонтами. Одной из особенностей гидрогеохимических характеристик подземных вод месторождений Хибинских тундр является преобладание ультрапресных и пресных вод гидрокарбонатно-натриевого состава. Очевидно, что катионный состав вод связан с составом пород, которые являются щелочными Na-K ряда.

Изучаемые медноколчеданные месторождения Южного Урала приурочены, как правило, к зонам повышенной трещиноватости. Высокая степень трещиноватости пород способствует активному окислению сульфидных руд, тем более что большая часть водоносных горизонтов находится в зоне открытой трещиноватости. Подземные воды по типу циркуляции являются трещинными и обычно гидравлически взаимосвязаны, что предопределяет их безнапорный характер. Эти воды образуют небольшие бассейны с интенсивным режимом водообмена, что обуславливает развитие на фоновых участках пресных вод. Общая их минерализация колеблется от $0,05$ до $0,5 \text{ г/дм}^3$. Благодаря интенсивной трещиноватости в пределах рудных зон месторождений происходит активное обогащение подземных вод химическими элементами измененных выветрелых пород. Этому также способствует образование по трещинам вторичных минералов и высокая сульфатность вод. Слабая защищенность подземных вод обуславливает накопление в них различных минеральных загрязнителей, в том числе азотных соединений и флотореагентов, что связано с разработкой и обогащением руд.

Кроме того, в зонах интенсивной трещиноватости и дробления отмечаются порой изолированные участки

с затрудненным водообменном. Это происходит за счет коагуляции трещин глинами трения, где воды по типу являются сульфатными и содержат в повышенных количествах относительно фона ионы железа, цинка и меди.

Динамика изменения состава шахтных вод по данным локального мониторинга

| Место отбора | Год | pH | M, г/дм ³ | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ +K ⁺ | Cu ²⁺ мг/дм ³ | Zn ²⁺ мг/дм ³ |
|-----------------------------|------|-----|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Дренажный штрек, гор. 120 м | 1977 | 8,1 | 1,91 | 207,5 | 795,2 | 365,9 | 280,6 | 188,5 | 39,1 | 0,2 | 0,8 |
| | 1978 | 6,9 | 2,98 | 170,3 | 836,6 | 378,7 | 380,8 | 109,4 | 151,5 | 0,11 | 1,7 |
| | 1990 | 4,1 | 6,96 | 0 | 4168 | 230,4 | 330,7 | 376,9 | 899,1 | 8,4 | 209,3 |
| | 1993 | 3,6 | 8,4 | 0 | 4176 | 228,2 | 340,1 | 412,8 | 978 | 62,4 | 257,5 |
| | 1995 | 3,9 | 9,62 | 0 | 4947 | 175,4 | 294,6 | 417 | 1137,3 | 59,4 | 204,1 |

Техногенные факторы влияния при разработке МПИ на состояние гидросферы усугубляют природную обогащенность ее различными элементами или химическими соединениями. Например, повышенная сульфатность ореольных вод рудных месторождений увеличивается в несколько раз при разработке МПИ.

По нашим данным, на разрабатываемом медно-колчеданном Учалинском месторождении содержание сульфат-иона в воде достигает 4500 мг/дм³. При этом pH таких вод доходит до 3. Фоновые же подземные воды большинства южноуральских медно-колчеданных месторождений и, в частности, Учалинского месторождения являются гидрокарбонатно-кальциевыми, реже гидрокарбонатно-кальциево-магниевыми с pH от 6,5 до 7,5, т.е. при разработке месторождений сульфатность вод возрастает в 3–4,5 раза и, как следствие, уменьшается значение pH. При этом значительно возрастает скорость миграции большинства халькофильных элементов. Их миграция в такой обстановке происходит в виде катионов (Колотов, 1992).

На рис.1 приводятся графики изменения концентраций (усредненные данные 2013 г.) профилирующих

рудных элементов, pH, и общей минерализации (M) подземных вод по шахтным горизонтам 144 м и 460 м Учалинского месторождения.

Отработка гор. 460 м началась в 2011 г., и шахтные воды имеют еще слабощелочную реакцию. В их составе понижены также в сравнении с гор. 144 м значения основных рудных элементов: железа, меди, свинца и цинка. В пределах этих же шахтных горизонтов наблюдаются тесные корреляционные положительные связи между концентрациями всех халькофильных элементов и отрицательные связи между ними и водородным показателем (pH).

Динамика загрязнения шахтных вод дренажного штрека (гор. 120 м) по основным ингредиентам отражена в таблице. Из данных, приведенных в таблице, следует, что в пределах Учалинского месторождения за 18 лет его разработки произошли большие изменения основных показателей в составе шахтных вод: значение pH снизилось в 2,2 раза, SO₄²⁻ увеличилось примерно в 6 раз, Cu²⁺ — в 300 раз, а Zn²⁺ — в 250 раз. Интересно отметить скачкообразное изменение состава шахтных вод в начале 1990-х годов. Содержания рудных элементов меди и цинка сразу увеличилось в 80 и 200 раз соответственно. При этом гидрокарбонат-ион полностью заместился сульфат-ионом, концентрация которого возросла в 5 раз. Значение pH уменьшилось в 1,8 раз. Очевидно, это связано с тем, что в советское время разработка Учалинского месторождения велась планомерно, и разрабатывались как богатые, так и бедные руды, а в 1990-е годы — только богатые.

Загрязнение шахтных вод, как известно, теснейшим образом связано с загрязнением всей подземной гидросферы зоны влияния месторождений. В общем водосборнике Учалинского месторождения воды имеют состав (среднее по 2013г): pH 4,5; M 7,2 г/дм³; содержание (мг/дм³): Cu²⁺ 32,5; Zn²⁺ 212; Fe²⁺ 62,2; Mn²⁺ 36,96; Cd²⁺ 0,6; NH₄⁺ 10,4.

По данным Емлина [6], которые отчасти подтверждаются и данными автора, воды южноуральских медноколчеданных месторождений по типу в основном являются сульфатными железо-алюминиево-магниевыми.

Вовлечение в миграционные циклы алюминия, являющегося типично литофильным элементом, свидетельствует о глубокой трансформации всей гидрогеотехнической системы в целом. Присутствие алюминия в столь значительном количестве, по мнению автора, связано с взаимодействием вод с вмещающими поро-

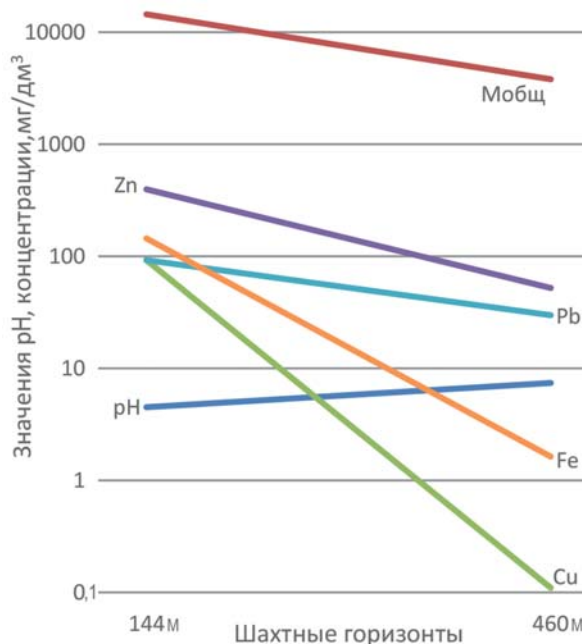


Рис. 1. Логорифмический график изменения содержаний основных профилирующих ингредиентов: рудных элементов (мг/дм³), pH и общей минерализации (мг/дм³) подземных вод в разрезе Учалинского месторождения (шахтные горизонты 144 и 460 м)

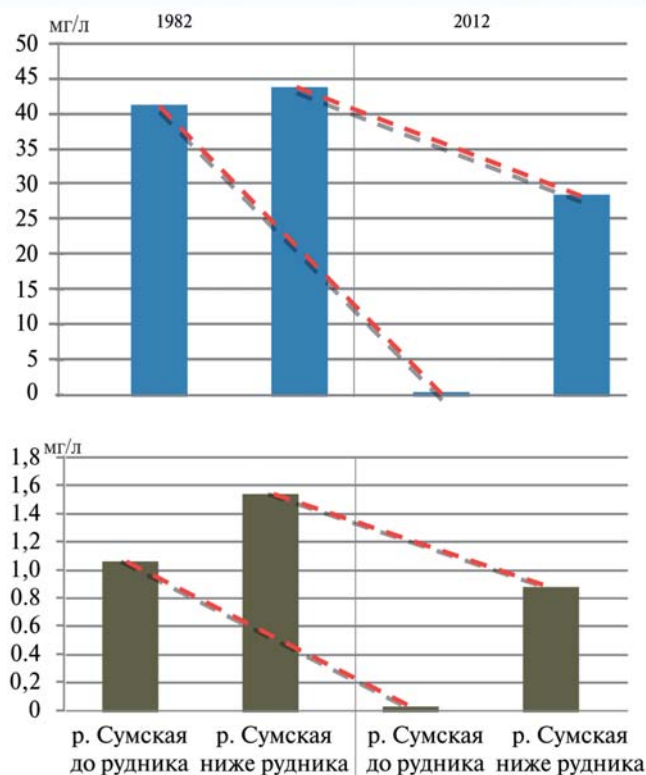


Рис. 2. Тренд изменения концентраций азотных соединений до и после закрытия Кировского рудника

дами, претерпевшими околорудные изменения. Для МПИ рассматриваемой группы вмещающими породами являются вулканогенно-осадочные толщи, среди которых преобладают андезиты-базальты. В составе этих пород, как известно, доминируют полевые шпаты. При их взаимодействии с высоко сульфатными водами месторождений при участии тионовых бактерий образуются вторичные минералы группы alunита, относящиеся к классу алюмосодержащих сульфатов ($KAl_3[SO_4]_2(OH)_6$). Это и обуславливает, по-видимому, обогащение вод МПИ алюминием в столь значительном количестве.

Из всех техногенных факторов способ добычи руд, безусловно, наиболее влияет на состав вод месторождений. На рис. 2 приводится тренд изменений концентраций нитратов и нитритов в воде р. Саамская до и после закрытия Саамского карьера. Слева показаны содержания азотных соединений выше по течению р. Саамская, а справа — ниже. То есть после перехода Кировского рудника на подземный способ добычи руды содержание нитритов в воде р. Саамская (ниже по течению) уменьшилось в 1,6, а нитратов — в 1,8 раз. Концентрации же этих соединений в реке выше карьера практически вернулись к фоновым.

Условия обогащения руд на фабриках и хранения их хвостов также влияют на состав гидросферы МПИ. Обычно при обогащении руды используются различные флотореагенты. Это, безусловно, оказывает негативное влияние на состав гидросферы. В зоне влияния месторождений Хибинских тундр в бассейне р. Белая складировались отходы апатит-нефелиновой обогати-

тельной фабрики (АНОФ-2) в виде хвостов обогащения. Щелочность их чрезвычайно высокая. Тут же отмечаются наивысшие концентрации фтора, которые связаны, кроме выше обозначенных причин природного происхождения, с использованием в качестве флотореагента кремнефторида натрия — маладрита (Na_2SiF_6). Щелочность воды тут доходит до максимальных значений и рН достигает 12 [11]. Причиной этого могут быть, во-первых, высокие концентрации фтора (максимальные его значения в районе хвостохранилища действующей АНОФ-2 достигают 16 мг/дм³) и гидроксиона, содержания которых здесь повышены. Во-вторых, щелочные породы находятся в дезинтегрированном состоянии, при котором взаимодействующая поверхность в системе порода-вода значительно увеличена.

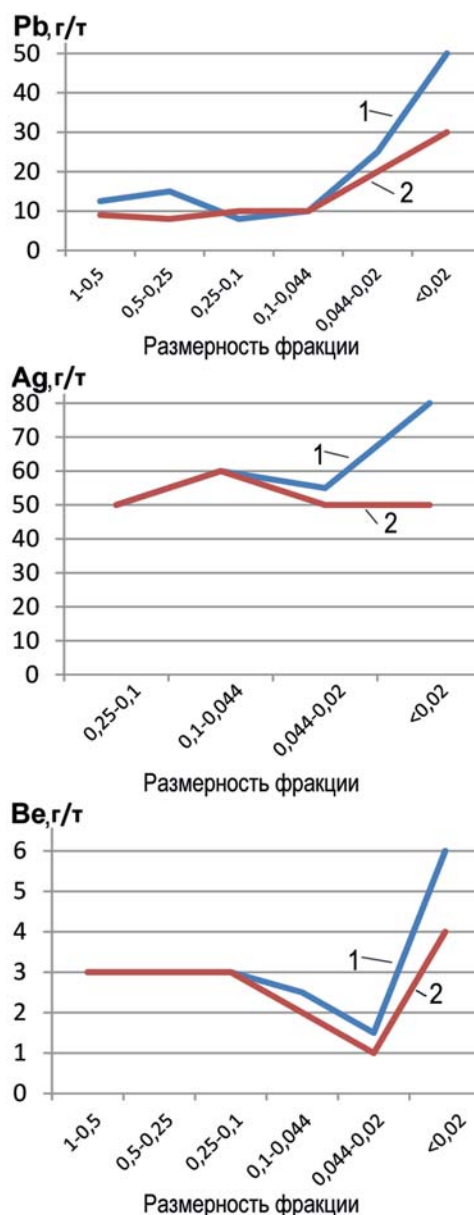


Рис. 3. Распределение по фракциям концентраций некоторых токсичных элементов в действующем (1) и рекультивированном (2) хвостохранилищах горно-рудного предприятия «Апатит»

Для оценки влияния горнопородных отвалов и хвостохранилищ на микроэлементный состав природных вод был проведен комплекс работ, включавший: отбор геохимических проб из отвалов, хвостохранилищ и из водотоков, сопряженных с отвалами и хвостохранилищами; разделение обломочного материала проб отвалов на гранулометрические фракции (мм) — 5–2, 2–1, 1–0,5, 0,5–0,25, 0,25–0,1, 0,1–0,044, 0,044–0,02, < 0,02, и хвостохранилищ (мм) — 0,5–0,25, 0,25–0,1, 0,1–0,044, 0,044–0,02, < 0,02.

В результате было установлено, что для хвостохранилищ характерно максимальное число элементов накопления в составе тонких (0,044–0,02 мм и меньше 0,02 мм) гранулометрических фракций. Здесь концентрируются — Cu, Pb, Zn, Co, Mn, P, Ti, V, Cr, Be, Sn, As, Au, Sr и ряд редких и редкоземельных элементов.

Интенсивное обогащение тонких фракций отвалов и хвостов токсичными элементами определяет интерес к ним как к наиболее вероятным и активным источникам химического загрязнения природных вод и ОС в целом [4]. Естественно, что процесс загрязнения происходит более интенсивно при миграции элементов именно из хвостохранилищ. Это происходит благодаря, во-первых, более высоким здесь концентрациям ТЭ, во-вторых, доминированию тонкой фракции. По данным опробования поверхностных и подземных вод в районе хвостохранилища АНОФ-2, уровень накопления элементов F, Na, P, Al, Sr, U в 2–8 раз превышает фон. Очевидно, что они выносятся из обломочного материала хвостов обогащения. Высокие коэффициенты концентраций этих элементов указывают на увеличение природной высокой щелочности и глиноземистости вод в несколько раз. А высокие концентрации Sr приводят к дефициту в воде кальция, так как известно, что он, повсеместно находясь в избытке, изоморфно замещает Са.

На активную роль в загрязнении гидросферы МПИ лежалых отвалов указывает сопоставление содержания химических элементов в хвостах АНОФ-1 (рекультивация после консервации обогатительной фабрики проведена только путем высева травянистой растительности) и в современных хвостах действующей обогатительной фабрики АНОФ-2. Нами установлено, что содержание токсичных элементов, таких как Be, Pb, As, со временем уменьшается в несколько раз (рис. 3).

Эти элементы являются загрязнителями поверхностных и подземных вод района деятельности ОАО «Апатит». В составе поверхностных вод в зоне влияния разрабатываемых месторождений автором установлены максимальные концентрации Be до 0,15 мг/дм³, Pb — до 16 мг/дм³, As — до 90 мг/дм³, что дает кратность превышения нормативных показателей в десятки раз. Механизм загрязнения поверхностных вод района деятельности АО «Апатит» предположительно следующий: вышеупомянутые элементы, максимально концентрируясь в тонкой фракции хвостов обогащения АНОФ-1, посредством дефляции загрязняют почвы, а затем и

донные отложения за счет плоскостного смыва. Только так можно объяснить загрязнение рыхлых отложений в зоне влияния разработки месторождений Хибинских тундр элементами, которые не являются типоморфными (кроме Be) для этих МПИ.

Распределение уровней загрязнения токсичными элементами по данным геоэкологических исследований 2014 г. показывает, что As и Pb в наибольших количествах концентрируются в донных отложениях оз. Малый Вудъявр и в почвах вокруг него (горизонт А). Учитывая направление ветров, можно предположить, что аномально высокие концентрации этих элементов связаны с их ветровым переносом на частицах тонкой фракции из лежалых отвалов АНОФ-1.

Высокие концентрации этих элементов в донных отложениях способствуют вторичному загрязнению поверхностных вод. Подобное явление весьма характерно в зонах складирования промышленных отходов предприятий [5].

Заключение

На группах диаметрально различных объектов показано, что состав руд и вмещающих пород обуславливают кислотно-щелочную обстановку гидросферы месторождений. При разработке МПИ в щелочной среде усиливается миграция большинства аниогенных элементов, которые образуют здесь хорошо растворимые соли щелочных металлов. В кислых же средах разрабатываемых колчеданных месторождений усиливается миграция катиогенных элементов.

Природные геолого-минерогенические факторы влияния месторождений на гидросферу усугубляются техногенными. Так, высокая сульфатность, присущая гидрогеохимическим ореолам колчеданных месторождений, при их разработке увеличивается в разы. Также увеличиваются щелочность и глиноземистость околорудных вод при разработке месторождений относительно исходных, существующих в гидрогеохимических ореолах.

Трещиноватость в зонах локализации руд способствует обогащению вод химическими элементами пород и при неудовлетворительной защищенности водоносных горизонтов является дополнительным фактором загрязнения подземных вод техногенно-привнесенными ингредиентами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вдовина, О.К. Экологическая роль геохимического фона / О.К. Вдовина, Е.Н. Малинина, А.Н. Попова // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 7. — С. 61–63.
2. Вдовина, О.К. Роль геохимического фона при оценке инвестиционной привлекательности рекреационных территорий / О.К. Вдовина, А.А. Лаврусевич, Р.В. Высокинская и др. // Вестник МГСУ. — 2014. — № 8. — С. 98–106.
3. Вдовина, О.К. Значение гидрогеохимических методов для поисковых работ на закрытых территориях / О.К. Вдовина, С.В. Егоркин // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 10. — С. 37–39.
4. Вдовина, О.К. Химический состав фракций обломочного материала горнопородных отвалов и хвостохранилищ как основа оценки потенциальной геоэкологической опасности районов деятельности горнорудных предприятий / О.К. Вдовина, А.А. Лаврусевич, Г.Б. Мелентьев и др. // Вестник МГСУ. — 2014. — № 12. — С. 152–161.

5. Вдовина, О.К. Опыт ведения геоэкологических работ при изучении полигонов твердых бытовых и промышленных отходов / О.К. Вдовина, Л.П. Грибанова, Р.В. Высокинская / Матер. междунар. н.-пр. конф. «Экологические проблемы промышленных регионов» — Екатеринбург, 2004. — С. 401.
6. Емлин, Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала / Э.Ф. Емлин. — Свердловск: Изд-во УрГУ, 1991. — 256 с.
7. Колотов, Б.А. О специфики форм миграции микрокомпонентов в подземных водах / Б.А. Колотов, А.М. Эленбоген // ДАН СССР. — 1974. — Т. 216. — № 1. — С. 187–190.
8. Колотов, Б.А. Гидрогеохимия рудных месторождений / Б.А. Колотов — М.: Недра, 1992. — 193 с.
9. Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов / В.В. Иванов / Кн. 4. — М.: Экология, 1996. — 410 с.
10. Котельников, А.Р. Минералы и их твердые растворы — матрицы для иммобилизации радиоактивных отходов / А.Р. Котельников, Г.М. Ахмеджанова, В.А. Суворова // Геохимия. — 1999. — № 2. — С. 192–200.
11. Криночкина, О.К. Анализ воздействия месторождений различных промышленных типов на подземную гидросферу / О.К. Криночкина, А.А. Лаврусевич / Сергеевские чтения / Научная конф. «Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых». — М., 2017. — Вып.19. — С. 384–389.
12. Шварцев, С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. — М.: Недра, 1978. — 287 с.

© Криночкина О.К., 2018

Криночкина Ольга Константиновна // KrinochkinaOK@mgsu.ru

УДК 551.345.

Железняк М.Н., Мисайлов И.Е., Шац М.М. (Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ))

ЭКОЛОГО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТОМТОР (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

*Освещены эколого-геокриологические условия месторождения Томтор — уникального по содержанию редких элементов на Севере Сибири. Месторождение имеет неблагоприятное географическое положение, но возможна экономическая эффективность его освоения. Приведены новые данные о результатах геокриологических исследований Института мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН. **Ключевые слова:** эколого-геокриологические условия месторождения, концентрация и ресурсы руд нового типа, неблагоприятное географическое положение.*

Zheleznyak M.N., Misaylov I.E., Shatz M.M. (Institute of permafrostology of P.I. Melnikov of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science)

THE ECOLOGICAL AND GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS OF THE TOMTOR FIELD (NORTH-WESTERN YAKUTIA)

*The ecologic-geocryological conditions of the Tomtor deposit are described, it is unique regarding the sources of rare elements in the North of Siberia. The deposit has an unfavorable geographical position, but the economic efficiency of its development is obvious. New data on the results of geocryological studies of the Melnikov Permafrost Institute of SB RAS are given. **Keywords:** ecological and geocryological conditions of the deposit, concentration and resources of new types of ores, unfavorable geographical position.*

С породами массива Томтор связано комплексное редкометалльное месторождение. Его уникальные руды нового томторского типа относятся к виду эпигенетически измененных, частично переотложенных латеритных кор выветривания карбонатитов. Таким образом, специфика этого типа месторождений заключается в его более сложной истории формирования и, в частности, в смене этапов генезиса с переходом от окислительного периода поверхностного выветривания к эпигенетическому восстановительному этапу. Высокий уровень концентрации широкого спектра редких металлов достигается в этих рудах благодаря суммированию рудоконцентрирующих эффектов двух этапов гипергенеза.

До 1985 г. массив Томтор в специальной литературе был освещен скупо в виде единичных общих упоминаний о его геологическом строении, вещественном составе и рудоносности образований. С началом поисково-оценочных работ представления о геологии и рудоносности массива существенно расширились, а после выявления в 1986–1987 гг. нового типа уникальных руд, исследования начали проводить сотрудники известных НИИ из Якутска, Москвы, Красноярска, Хабаровска и Симферополя.

Природные условия месторождения

Месторождение Томтор находится на северо-западе Республики Саха (Якутия), в бассейне р. Онгкучах, левого притока р. Уджа (правый приток р. Анабар), в 325 км к северо-востоку от административного центра с. Оленек. В административном отношении относится к территории Оленекского эвенкийского национального района [7].

В орографическом отношении месторождение представляет собой участок невысокого Анабаро-Оленекского плато, находящегося в пределах полого холмистого рельефа в северной части Среднесибирского плоскогорья с абсолютными отметками 75–260 м и относительными превышениями до 140 м [3]. Массив Томтор занимает площадь 300 км² и отличается хорошо развитой зоной гипергенеза. В строении массива принимают участие три главные серии пород: якупиритит-ийолиты; щелочные и нефелиновые сиениты; карбонатиты. Существенную роль играют также многочисленные дайки и трубки взрыва щелочных пикритов, альнеитов, авгититов. Более детально геологическое строение массива освещено в специальных сводках [5–8].

В соответствии с результатами исследований Института земной коры СО РАН Томтор находится в дельте р. Лена вблизи зоны землетрясений с максимальной интенсивностью 9 баллов. Климат района резко континентальный с продолжительной суровой зимой и коротким летом. Среднегодовая температура воздуха — 14,5 °С. Период ее положительных значений составляет 90–100 суток. Снег на территории участка Буранный по результатам исследований Института прикладной экологии Севера СВФУ в 2015 г. характеризовался малой и средней минерализацией, преимущественно гидрокарбонатно-натриево-кальциевым