

дарственного геологического изучения недр. В течение 2016 г. предоставлено в пользование трем юридическим лицам 16 единиц хранения геологических отчетов на основании решений Главного управления природных ресурсов и экологии г. Севастополь (Севприроднадзор).

Заключение

Внедрение территориальной информационно-аналитической системы недропользования и охраны недр на территории города федерального значения Севастополь в единую информационно-аналитическую систему недропользования Российской Федерации позволяет обеспечить:

формирование единого информационного пространства в сфере природопользования и охраны окружающей среды в рамках общей информационной поддержки принятия управленческих решений на государственном уровне;

улучшение качества и сокращение сроков подготовки и принятия решений Минприроды России, Роснедр, иных федеральных, территориальных органов исполнительной власти и органов исполнительной власти г. Севастополь по вопросам недропользования и охраны недр;

повышение эффективности использования природно-ресурсной базы области за счет оптимизации процесса прохождения информации от первоисточника к потребителю и снижения затрат;

повышение оперативности и качества представления информации о ходе выполнения федеральных це-

левых программ в области минеральных ресурсов и охраны недр, эффективности их реализации;

осуществление персонифицированного учета недропользователей, включая данные о их хозяйственной деятельности и используемых природных объектах [4].

В настоящее время безостановочно идет процесс по максимальной оптимизации деятельности территориального фонда геологической информации, постоянно идет накопление, анализ, систематизация материалов в сфере недропользования. Несмотря на сравнительно небольшой срок работы фонда, достигнуты важные результаты, позволяющие сделать заключение о важности и практической значимости проведенной работы [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон РФ «О недрах» от 21 февраля 1992 г. № 2395-1 (в ред. от 03.07.2016 № 164-ФЗ).
2. Красная, А.С. Анализ государственной системы управления недропользованием / А.С. Красная // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 2. — С. 138–142.
3. Петров, О.В. Об эффективном использовании минерально-сырьевого потенциала недр России / О.В. Петров // Вестник Челябинского государственного университета. — 2010. — № 2. — С. 20–28.
4. Агафонов, В.Б. Основные направления развития законодательства Российской Федерации в сфере учета информации о состоянии недр / В.Б. Агафонов // Актуальные проблемы Российского права. — 2009. — № 3. — С. 331–342.
5. Слободник, Д.И. Некоторые аспекты экономического механизма государственного регулирования недропользования / Д.И. Слободник // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2014. — № 1.

© Бичайкина Е.И., Азарова В.В., 2018

Бичайкина Елена Ивановна // taurgj@yandex.ru
Азарова Виктория Вадимовна // vikusia00@mail.ru

ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ

УДК 550.424

Радомская В.И., Радомский С.М., Павлова Л.М.
(Институт геологии и природопользования ДВО РАН)

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ РАЗРАБОТКИ АЛБЫНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ПРИАМУРЬЕ) НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ

На примере золоторудного месторождения Албын рассмотрены особенности путей миграции экологически опасных рудных элементов, активизированных при открытом способе разработки. Технология карьерной добычи руды приводит к глубокой дезинтеграции минерального сырья, что вызывает увеличение потока миграции потенциально токсичных элементов с рудного поля по аэрогенным и гидрохимическим путям за счет пылевой нагрузки и выщелачивания снеготальми и дождевыми водами. **Ключевые слова:** золоторудное месторождение, поверхностные и подземные воды, выщелачивание, снег, техногенное загрязнение, миграция, элементная нагрузка.

Radomskaya V.I., Radomskiy S.M., Pavlova L.M. (Institute of Geology and Nature Management Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences)

GEOCHEMICAL ASPECTS OF THE ALBYN GOLD DEPOSIT (PRIAMUR' E) DEVELOPMENT IMPACT ON THE NATURAL ENVIRONMENT

*In the article, the specific nature of environmentally hazardous ore elements migration routes, activated by the open-cut mining, are considered by the example of the Albyn gold deposit. The technology of the open-cut mining leads to deep disintegration of mineral raw materials, which increases the migration flow of potentially toxic elements from the ore field on the aerogenic and hydrochemical routes by dust loading and leaching with snow and rainwater. **Keywords:** gold-deposit, surface and underground water sources, leaching, snow, technogenic pollution, migration, elemental load.*

В последнее время Амурская область уверенно входит в группу лидеров по золотодобыче в РФ, что объясняется как вовлечением в промышленную переработку средних и крупных коренных месторождений

золота, так и использованием современных технологий извлечения ценных компонентов из руд. ООО «Албынский рудник», входящий в группу компаний ЗАО «УК Петропавловск», является устойчиво действующим золотодобывающим предприятием, ведущим разработку Албынского золоторудного месторождения: в 2011 г. была запущена первая очередь горно-металлургического комбината мощностью 2 млн т руды в год, а в 2012 г. производственные мощности рудника были увеличены до 3,6–4 млн т руды в год. Геологические особенности и горнотехнические условия Албынского золоторудного месторождения обусловили открытый способ его обработки. Рыхление горной породы в карьере осуществляется при помощи буровзрывных работ. Добытую в карьере горную массу отправляют на золотоизвлекательную фабрику (ЗИФ). Руды Албынского золоторудного месторождения относятся к легкоцианируемым и успешно перерабатываются по классической технологии прямого сорбционного цианирования.

Основной причиной загрязнения окружающей среды химическими элементами при таком способе эксплуатации месторождений является гидро- и аэротехногенное рассеивание мелкодисперсных частиц минералов в результате дезинтеграции и извлечения на поверхность руды, работы добычных и транспортных машин, механизмов и обогатительной фабрики. Но обеспечение условий безопасной эксплуатации месторождений как в отношении экосистем, так и в отношении людей, работающих и проживающих в данной местности, является обязательным требованием для хозяйствующих природопользователей. Поэтому для разработки и принятия мер по минимизации экологического ущерба требуется не только вести учет опасных факторов, но и осуществлять всесторонний анализ путей и механизмов их действия.

Целью нашей работы явилось выявление особенностей миграции экологически потенциально опасных рудных элементов, активизирующихся при открытом способе разработки золоторудного месторождения (на примере месторождения Албын).

Объекты и методы исследования

Объектами исследования явились руды Албынского золоторудного месторождения (рис. 1), природные воды (подземные и поверх-

ностные) и снеговой покров. Для наиболее полной характеристики состава вмещающих пород Албынского месторождения было отобрано 25 проб с разных зон карьера. Для оценки качества подземных вод использовали наблюдательные скважины Т.1, Т.2 (рис. 1), заложенные с учетом уклона гидравлической поверхности водоносного горизонта и системы отработки месторождения. Пробы поверхностных водных объектов в точках: Т.3, Т.4 — руч. Маристый, средняя и нижняя части соответственно; Т.5 — р. Эльгокан; Т.7 — р. Харга; Т.8 — руч. Болтанак, Т.9 — р. Эльгокан (фоновая точка), Т.10 — руч. Жедринский — отбирали в соответствии с требованиями ГОСТ Р51592–2000, ГОСТ 17.1.5.05-85. Водные пробы фильтровали и для определения микроэлементного состава отбирали в пластиковые пробирки, консервировали азотной кислотой.

Результаты снегового опробования особенно представительны в качестве показателей аэротехногенного загрязнения, поскольку исключают вариации (направление ветра, непостоянство выбросов) и дают величину загрязнения, усредненную естественным путем за продолжительный период времени — с момента снегопада до момента пробоотбора. Поэтому для исследования процесса аэрогенной миграции элементов был проанализирован снеговой покров вблизи карьера, как основного источника пылевого загрязнения.

Отбор проб снега вокруг карьера и фоновых проб (фон) был проведен в конце марта 2015 г. Снег массой до 10 кг отбирали методом шурфа с определенной

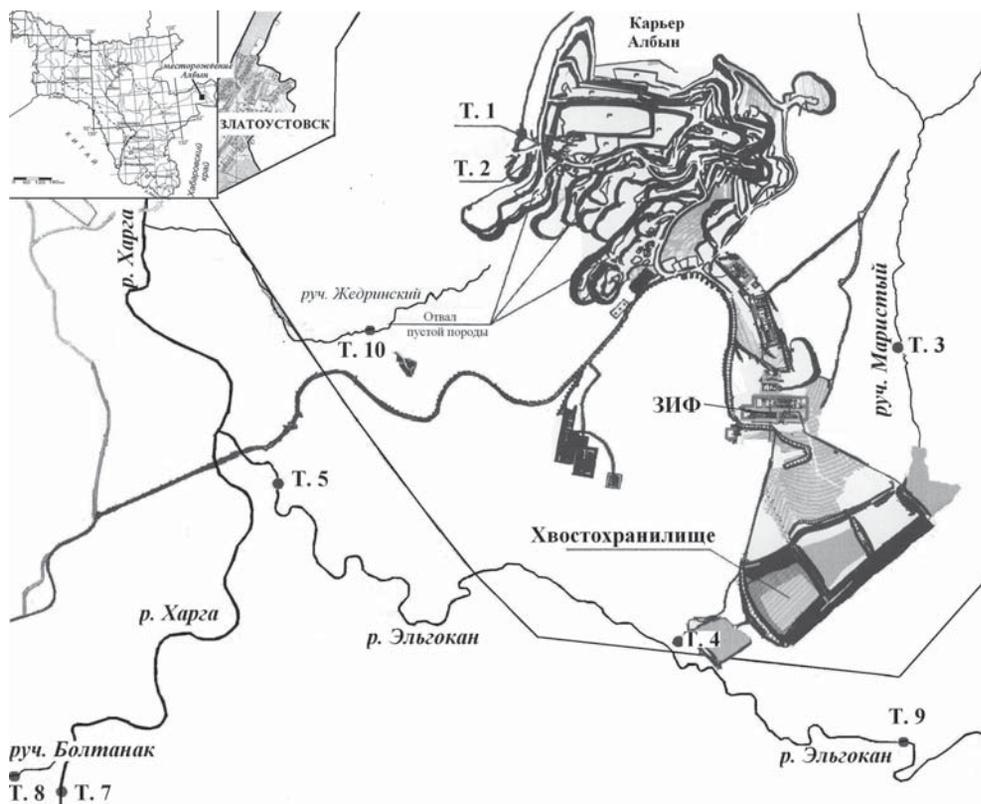


Рис. 1. Схема расположения рудника Албын на топооснове м-ба 1:50 000 с точками отбора проб воды. Врезка — карта Амурской области

учетной площади на всю глубину снежного слоя с предотвращением захвата частиц почвы и помещали в новые полиэтиленовые пакеты. Снежную массу при комнатной температуре переводили в талую воду в полиэтиленовых емкостях. Фиксировали исходный объем воды, после чего ее фильтровали через бумажные фильтры «синяя лента» с диаметром пор 1 мкм и обозначили как пробы СВ (жидкая фаза снега). Для получения информации о твердой фазе в пробах снега высушенный при 105 °С фильтр с осадком взвешивали. Пробы твердой фазы снега маркировали как СТ.

На основе количества твердой фазы в пробе снега рассчитывали пылевую нагрузку, а также аэротехногенную элементную нагрузку (нерастворимые формы) на территорию месторождения, создаваемую элементами, присутствующими в пылевой составляющей. Показатель среднесуточной пылевой нагрузки (P_n) отражает приток пыли в мг (г) на поверхность территории площадью 1 м² (км²) за период в 1 сутки. Расчет нагрузки, создаваемой поступлением каждого элемента в окружающую среду (P_{me}) и коэффициенты относительного увеличения общей нагрузки элемента относительно фона (K_p) рассчитывали по следующим формулам:

$$P_{me} = C \times P_n,$$

где P_n — среднесуточная пылевая нагрузка (мг/м²); C — концентрация элемента в снеговой пыли (мг/кг);

$$K_p = P_{me}/P_{\phi}, \text{ при } P_{\phi} = C_{\phi} \times P_{n\phi},$$

где P_{ϕ} — фоновая нагрузка исследуемым элементом; C_{ϕ} — фоновое содержание исследуемого элемента; $P_{n\phi}$ — фоновая пылевая нагрузка. Для фильтрата рассчитывали соответствующие значения уровней поступления элементов (мг/км²·сут.) по следующей формуле:

$$P_{расч} = (C_i V) / (S \cdot t),$$

где $P_{расч}$ — масса определяемого компонента, поступившего на единицу площади поверхности земли в растворенном виде за сутки; C_i — массовая концентрация компонента в талой воде (мг/дм³); V — объем талой воды всей пробы (дм³); S — площадь отбора пробы снега (км²); t — время от первого снегопада до отбора проб (сут.).

Также рассчитали коэффициенты фазового распределения ($K_{фр}$) (соотношение нерастворимой и растворимой форм) нагрузки для каждого исследуемого элемента на окружающую среду [7], градация которого подразделяется следующим образом: при $P_{me}/P_{расч} > 10$ — очень высокое преобладание взвешенной формы элемента; $P_{me}/P_{расч} = 5-10$ — высокое преобладание взвешенной формы; $P_{me}/P_{расч} = 2-5$ — умеренное преобладание взвешенной формы; $P_{me}/P_{расч} \approx 1$ — примерное равенство взвешенной и растворенной форм; $P_{me}/P_{расч} < 0,5$ — преобладание растворенной формы.

Содержания основных катионов и микроэлементов в природной воде, в снеготалой воде и во взвеси на

фильтрах, а также концентрации элементов в отобранных с месторождения породах определяли атомно-эмиссионным (iCAP-6500, Thermo Scientific, США) и масс-спектральным (X-7, Thermo Elemental, США) методами в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (г. Черноголовка) по методикам НСАМ № 520-АЭС/МС и НСАМ № 499-АЭС/МС (исполнители А.Н. Туранов, С.В. Носенко, А.Е. Лежнев). При расчетах в случаях, когда концентрации веществ были меньше предела обнаружения, использовали значения, равные половине предела обнаружения, согласно работе [4].

Анализы химического состава вод: рН, содержание минеральных азотсодержащих веществ, хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, ортофосфатов выполнены по стандартным методикам в Аналитическом центре минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН (аналитик Н.А. Бородина).

Минеральный анализ выполнен в лаборатории рудогенеза ИГиП ДВО РАН (аналитик Е.Н. Воропаева). Микронзондовый анализ проведен в ДВГИ ДВО РАН на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-8100 (аналитик Г.Б. Молчанова).

Результаты и их обсуждение

Геолого-геохимическая характеристика объекта исследований

Албынское золоторудное месторождение расположено на юго-западе Харгинского рудного поля в пределах Верхнеселемджинского золотоносного района Амуро-Охотского звена Монголо-Охотской складчатой системы. Геологическое строение района осложнено разрывными нарушениями, среди которых главными являются разломы субширотного простирания Унгличканский и Курумканский. Последний проходит в центральной части рудоносной площади. Зоны разломов характеризуются расщеливанием, милонитизацией, трещиноватостью и окварцеванием пород. Субмеридиональные разрывные нарушения немногочисленны, относятся к сбросо-сдвигам, имеют значительные вертикальные перемещения. Нарушения этой системы контролируют размещение селитканского интрузивного комплекса.

Месторождение Албын залегает в пределах северного крыла Эльгоканского купола, относящегося к структурному подэтажу афанасьевской свиты PZ_1 возраста. Крылья антиклинали осложнены послойными интрузиями метабазитов, многочисленными дайками и разломами. Контакты метабазитов с вмещающими породами тектонические. Характерной чертой геологического строения этой части купола является наличие многочисленных лежачих изоклинальных складок высоких порядков, вплоть до плейчатых. Наиболее интенсивно складчатость и расщеливанность пород проявлены в метабазитах афанасьевской свиты. Нерасчлененные отложения афанасьевской свиты занимают ≥ 80 % площади, вмещают все известные рудные тела и слагают Эльгоканский купол (горст-антиклиналь). Свита представлена довольно монотонной тол-

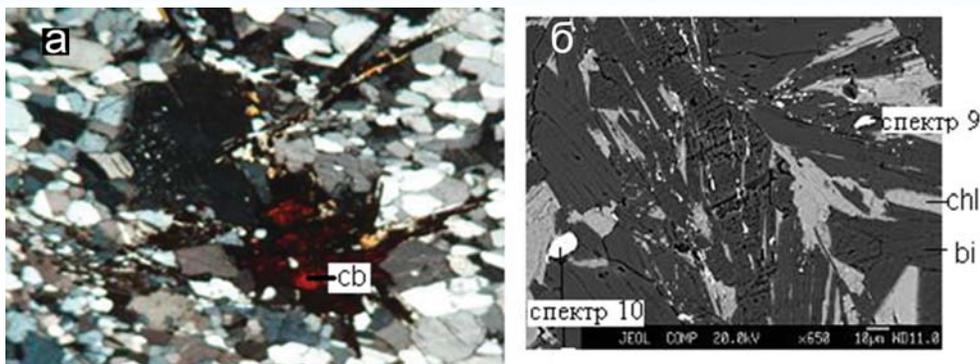


Рис. 2. Колумбит в: а — хлорит-альбит-кварцевом метасоматите, шлиф, николи X, ув. 500; б — хлорит-биотитовой ассоциации (спектры 9, 10) (микрозонд, ув. 650)

щей переслаивающихся слабометаморфизованных (фашия зеленых сланцев) сланцев, среди которых резко преобладают ($\approx 70\%$) темноокрашенные (углеродистые) биотит–мусковит–альбит–кварцевые разности, переслаивающиеся со светлоокрашенными мусковит–альбит–кварцевыми и альбит–хлорит–эпидот–амфиболовыми сланцами. Макроскопически породы характеризуются хорошо выраженной грубо сланцеватой и плейчатой текстурами, обусловленными чередованием слоев темно-серого, светло-серого и зеленовато-серого цветов, мощностью от долей см до 10–15 м. Светлоокрашенные сланцы отличаются от темноокрашенных разностей в основном отсутствием углеродистого вещества, большим количеством карбоната, хлорита, эпидота и рудных минералов.

Рудовмещающие метасоматиты Албынского месторождения локализованы в метабазах афанасьевской свиты, которые контролируются подошвой надвига. На месторождении выделено 5 рудных тел, локализованных в разных частях двух сближенных зон метасоматитов, — это пластообразные субсогласные залежи, границы которых установлены опробованием. Средняя мощность рудных тел 3,1–7,3 м, они прослежены на 180–1850 м по простиранию и до 350 м по падению. Промышленные руды сосредоточены в центральной части рудной зоны на отрезке длиной около 2 км, в вершине руч. Албын. Более подробно геологическая характеристика месторождения приведена в фондовых отчетах и публикациях [6, 11].

Руды месторождения Албын относятся к золото-кварцевому убогосульфидному типу. Содержание рудных минералов в пробах составляет в среднем 2%. Преобладают пирит, арсенопирит, в меньшем количестве пирротин. Иногда встречаются галенит, сфалерит, ильменит, сфен, рутил, циркон. Самородное золото чаще всего присутствует в прожилках кварца, иногда вместе с полевыми шпатами и карбонатами. В окисленных разновидностях руд присутствуют гипергенные минералы, а содержание гидроокислов железа достигает 5%.

При образовании Албынского золоторудного месторождения основная роль принадлежит двум этапам метасоматоза. С первым связано развитие щелочного метасоматоза и образование кварц-альбитовых

метасоматитов с редкоземельной минерализацией; со вторым — кислотным — развитие золотоносных пород.

Петрографическими исследованиями в хлорит-полевошпат-кварцевом метасоматите обнаружены гнездовые скопления зерен колумбита. Микрозондовый анализ подтвердил наличие колумбита в ассоциации с ильменитом, хлоритом и биотитом (рис. 2 а, б).

Размеры зерен колумбита варьировали от 3 до 12 мкм.

Результаты анализа содержаний химических элементов в породах Албынского золоторудного месторождения приведены в табл. 1. Для оценки закономерностей распределения элементов нами были рассчитаны коэффициенты концентрации (КК) — как отношение средней концентрации микроэлементов в породе к условному кларку элемента в верхней континентальной коре по С. Тейлору и С. Макленнану [14].

Состав пород исследуемого месторождения в сравнении с верхней континентальной корой характеризуется относительным дефицитом Mg, Cu, Rb; концентрации Sb, наоборот, повышены. Содержания остальных элементов в образцах варьируют, при этом в одних отмечается некоторый дефицит этих элементов, в других — избыток. Наблюдаются существенно высокие содержания As, Mo, W, Nb, Ta, Cd, их коэффициенты концентраций (рассчитанные для средних содержаний) составляют 31,67; 9,2; 7,19; 4,11; 3,62 и 2,85 соответственно, что свидетельствует об оконтуривании тел метасоматитов контрастными ореолами мышьяка, сурьмы, вольфрама, молибдена, ниобия и тантала. Таким образом, в вещественном составе Албынского золоторудного месторождения наиболее потенциально опасными элементами являются As, Sb, Mo, W, Nb, Ta, Cd за счет их высокого содержания в рудах. Вскрытие месторождения может привести к переходу ряда элементов в миграционно активное состояние и последующему их проникновению в качестве токсикантов практически во все транспортирующие и депонирующие природные среды.

Характеристика водотоков поля Албынского золоторудного месторождения

Основными водотоками на территории Албынского рудника являются р. Харга (левый приток р. Селемджа) и впадающие в нее руч. Жедринский, Болтанак, р. Эльгокан с притоком руч. Маристый.

Известно, что важным показателем геохимического состояния вод является величина pH, от которого зависит устойчивость форм миграции химических элементов и степень неравновесности вод относительно подстилающих пород. В соответствии с принятыми в РФ нормативами значения pH не должны выходить за пределы диапазона 6,5–8,5. Для воды поверхностных

водотоков Албынского золоторудного месторождения превышения установленного диапазона не выявлены, а воды, по классификации О.А. Алекина [5] относятся к нейтральным и слабощелочным (табл. 2). По химическому составу их можно отнести к гидрокарбонатным кальциевым, реже — к хлоридно- или сульфатно-гидрокарбонатным и, согласно этой же классификации, воды на месторождении пресные или ультрапресные с малой минерализацией.

Таблица 1
Химический состав пород Албынского золоторудного месторождения

Оксид элемента/ элемент	Породы месторождения			Верхняя континентальная кора [14]	КК
	Среднее (n=25)	Min	Max		
SiO ₂	53,46	17,26	62,19	66,0	0,81
TiO ₂	0,57	0,087	2,9	0,5	1,14
Al ₂ O ₃	14,11	3,9	17,2	15,2	0,93
Fe ₂ O ₃	5,44	2,3	16,3	4,5	1,21
MnO	0,14	0,041	0,4	0,077	1,82
MgO	0,66	0,024	2,1	2,2	0,3
CaO	4,52	0,17	35,7	4,2	1,08
Na ₂ O	5,44	0,48	9,7	3,9	1,39
K ₂ O	1,71	0,27	4,3	3,4	0,50
P ₂ O ₅	0,32	0,036	1,6	0,20	1,6
Li	27,77	3,7	103,4	20	1,39
Be	2,74	0,81	6,4	3	0,91
Sc	3,39	<0,5	17,9	11	0,31
V	20,72	<0,6	108	60	0,35
Cr	14,54	2,2	53,6	35	0,42
Co	5,51	0,46	36,9	10	0,55
Ni	7,09	1,7	28,1	20	0,35
Cu	10,67	4,3	22,6	25	0,43
Zn	83,52	23,7	192	71	1,18
Ga	22,78	11,1	44,6	17	1,34
As	47,51	<0,05	965	1,5	31,67
Rb	30,22	3,7	97,6	112	0,27
Sr	460,81	45,7	3519	350	1,32
Y	20,85	5,5	38	22	0,92
Zr	148,25	18,6	317	190	0,78
Nb	102,66	8,4	182	25	4,11
Mo	13,68	0,43	124	1,5	9,12
Ag	0,07	<0,02	0,32	0,05	1,4
Cd	0,28	0,05	0,93	0,098	2,85
Sn	3,24	0,35	9,2	5,5	0,59
Sb	3,37	0,27	9,5	0,2	16,85
Cs	3,29	0,26	14,3	3,7	0,89
Ba	352,8	45	838	550	0,64
Hf	3,10	0,46	7	5,8	0,53
Ta	7,99	0,54	15,2	2,2	3,63
W	14,38	0,77	63,2	2,0	7,19
Tl	0,22	0,05	0,78	0,75	0,29
Pb	18,35	2,6	106	20	0,92
Bi	0,09	0,01	0,35	0,127	0,71
Th	7,71	0,63	14,2	10,7	0,72
U	3,08	0,38	12,1	2,8	1,1

Примечание: Концентрации оксидов (от SiO₂ до P₂O₅) выражены в %, микроэлементов — в мг/кг; n — количество проб

Согласно данным, приведенным в табл. 2, в речных водах района исследований отмечается нарушение рыбохозяйственных нормативов по содержанию нитрит-ионов (руч. Жедринский), ионов аммония (руч. Жедринский, Болтанак) и фосфатов (руч. Маристый). Вероятно, это связано с природными факторами, в частности, с трансформацией органического вещества в лесных ландшафтах и последующим выносом образующихся продуктов в речную сеть. Нельзя отрицать и влияния антропогенных факторов, обусловленных производством горных работ [9]. Повышенное содержание в водной системе соединений азотной группы может быть следствием ведения бурозрывных работ в карьере.

Концентрации железа и микроэлементов в речных и подземных водах рассматриваемой территории изменяются в очень широком диапазоне (табл. 3). Подавляющая часть микрокомпонентов содержится в концентрациях ниже ПДКвр, концентрации Sc, Cr, Ga, Ge, Se, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, In, Te — ниже предела обнаружения. Для Fe, Mn, Cu, Al отмечено превышение рыбохозяйственных нормативов в значительной части проб поверхностных вод. Возможно, это обусловлено выносом элементов из коренных пород и почвогрунтов. В подземной воде наблюдательных скважин зафиксировано превышение ПДКвр по Ni, Zn, Sr, подобная картина наблюдается и в воде руч. Жедринский. Что же касается элементов, представляющих наибольшую экологическую опасность для водотоков Албынского месторождения из-за их повышенного содержания в породах, то отмечается превышение ПДКвр по Mo, W и As в руч. Маристый, Mo в руч. Жедринский. Следует отметить, что более высокие содержания сурьмы и урана зафиксированы в подземных водах (Т.1 и Т.2) и в руч. Жедринский.

Основными источниками элементов при формировании химического состава водных систем являются горные породы [13] и, вероятно, различия в водовмещающих породах, слагающих литосферу, также отражаются на химическом составе природных вод. На границе двух фаз — твердой и жидкой начинаются процессы перехода химических элементов в раствор и их миграция. Особенности накопления и миграции микроэлементов в поверхностных и подземных водах Албынского золоторудного месторождения рассмотрены по соотношениям их концентраций в системе вода-порода. Перельманом А.И. [9] была предложена оценка водной миграции химических элементов по коэффициенту, который определяется как отношение содержания элемента в минеральном остатке воды к его содержанию в горных породах. Этот коэффициент отражает интенсивность водной миграции элемента, определяемой его свойствами, а также степенью концентрирования или рассеяния в поверхностных водах суши.

Нами было проведено нормирование концентраций растворенных форм элементов в водотоках (мг/дм³) к их среднему содержанию в рудоносных породах (мг/кг) (табл. 4). Полученные коэффициенты концентраций

Таблица 2

Средний химический состав подземных и поверхностных вод Албынского рудного поля, мг/дм³

Компонент	Точки отбора									ПДК _{кв} [8]
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.7	T.8	T.9	T.10	
pH	7,15	7,20	7,07	7,08	7,04	6,91	6,64	6,4	8,4	—
Na	6,36	6,39	1,93	8,03	1,76	0,83	8,23	1,26	9,07	120
K	1,28	1,29	8,66	1,90	0,35	0,28	1,14	0,46	5,58	50
Ca	85,03	87,62	7,73	10,47	1,99	2,71	6,21	2,30	77,76	180
Mg	26,62	26,95	1,79	4,49	0,39	0,58	1,36	0,79	20,61	40
Si	5,57	5,62	2,40	5,45	2,75	2,27	1,75	2,83	3,24	—
PO ₄ ³⁻	<0,05	<0,05	0,18	0,12	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05
NH ₄ ⁺	—	—	0,21	0,32	0,31	0,40	2,25	0,55	6,50	0,5
Cl ⁻	1,4	—	3,48	3,52	3,37	0,74	13,71	1,03	2,66	300
NO ₂ ⁻	0,12	—	0,036	0,049	0,015	0,012	0,036	0,01	0,57	0,08
NO ₃ ⁻	1,41	—	1,22	0,74	1,23	0,22	1,55	0,5	35,0	40
HCO ₃ ⁻	315	—	30,3	43,6	12,9	21,95	25,64	18,3	224,5	—
SO ₄ ²⁻	69,09	70,07	3,15	7,79	2,19	5,16	8,78	2,42	89,90	100

Примечание: «—» — нет данных

Таблица 3

Среднее содержание микроэлементов в подземных и поверхностных водах Албынского рудного поля, мг/дм³

Элемент	Точки отбора									ПДК _{кв} [8]
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.7	T.8	T.9	T.10	
Ti	<0,6	<0,6	4,5	16,4	1,1	<0,6	1,6	2,8	2,3	60
Al	1,9	2,1	202	951	126	94,3	299	306	88,6	40
Fe	92,3	68,9	2225	2878	68,3	182	278	143	194	100
Mn	5,4	16,3	770	966	21,7	7,9	58,5	19,1	402	10
Li	10,01	8,94	0,77	3,59	0,98	0,34	0,71	0,77	6,90	80
Be	<0,002	0,0034	0,021	0,075	0,020	0,017	0,020	0,031	0,0059	0,3
Sc	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	—
V	0,079	0,063	0,68	0,87	0,11	<0,01	0,091	<0,01	<0,01	1
Cr	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,6	<1,3	70
Co	0,11	0,24	2,7	7,6	0,13	<0,06	0,13	0,12	1,8	10
Ni	25,6	19,1	5,2	8,7	1,0	0,3	1,3	1,6	11,8	10
Cu	0,19	0,19	30,7	36,7	28,4	3,3	2,2	16,5	14,3	1
Zn	12,7	10,4	8,7	9,0	7,2	2,2	3,5	7,6	12,5	10
Ga	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	—
As	21,5	22,3	2,3	86,0	1,3	0,51	0,50	0,53	1,7	50
Rb	1,52	1,49	0,89	1,68	0,68	0,46	1,0	0,62	5,35	100
Sr	1134	1149	63,0	143	13,6	16,3	35,0	20,3	913	400
Y	0,44	0,36	6,87	4,38	0,30	0,39	0,61	0,49	0,15	—
Zr	0,040	0,012	0,45	1,01	0,29	0,11	0,22	0,27	0,14	70
Nb	<0,009	<0,009	0,054	0,60	0,063	<0,009	<0,009	0,017	0,012	—
Mo	0,94	0,78	0,30	3,73	0,35	0,039	0,064	0,10	1,41	1
Ag	<0,004	<0,004	11,56	0,16	0,10	0,0063	0,015	0,020	0,014	—
Cd	<0,007	<0,007	0,026	0,037	0,012	0,020	0,028	0,023	0,026	5
Sn	0,0068	0,0058	0,21	0,14	0,16	0,024	0,039	0,16	0,17	112
Sb	11,14	11,77	0,16	3,27	0,11	0,072	0,047	0,11	6,12	—
Cs	0,95	0,91	0,12	0,76	0,027	0,0079	0,0069	0,029	1,63	1000
Ba	20,2	39,0	9,1	23,3	16,2	17,5	126	11,3	48,1	740
Hf	<0,002	<0,002	0,029	0,041	0,021	0,0052	0,009	0,012	0,0069	—
Ta	<0,006	<0,006	0,041	0,058	0,047	<0,006	<0,006	<0,001	<0,001	—
W	0,053	0,047	2,08	1,53	0,43	0,010	0,018	0,095	0,089	0,8
Tl	0,0091	0,0058	0,005	0,010	0,004	0,0029	0,0049	0,0042	0,020	—
Pb	<0,02	0,02	1,6	3,2	0,26	0,15	0,38	1,2	0,92	6
Bi	<0,001	<0,001	0,085	0,015	0,005	0,0020	0,0041	0,034	0,010	—
Th	0,0035	0,003	0,38	0,44	0,093	0,079	0,12	0,096	0,033	—
U	2,88	2,85	0,26	0,90	0,078	0,089	0,051	0,06	5,11	—

Примечание: «—» — нет нормативов

элементов можно в первом приближении рассматривать как коэффициенты водной миграции (Кх) [11], которые характеризуют интенсивность перехода элементов из пород в поверхностные воды.

Обогащение вод в процессе выщелачивания горных пород Албынского месторождения происходит непропорционально содержанию элементов в них, что подтверждается сопоставлением полученных коэффициентов вода/порода. Значения этих коэффициентов зависят не только от химических свойств самого элемента и степени распространенности его в породах, но также от вовлечения элемента в биогеохимические процессы и антропогенного поступления. Наиболее распространены в земной коре такие элементы как Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, Mn, но в миграционном отношении титан, алюминий, железо, марганец инертны. Согласно данным табл. 4 в водные системы исследуемого месторождения активно мигрируют Ca, Mg, Na, которые являются основными элементами минерализации. Далее по распространенности в горных породах следуют Ba, Sr, Rb, Zr, первые три из которых являются сравнительно активными водными мигрантами. Высокие коэффициенты водной миграции как для поверхностных, так и для подземных вод Албынского месторождения наблюдаются для кобальта, никеля, меди, мышьяка, сурьмы, что, возможно, обусловлено антропогенными нагрузками. В миграционном отношении также активен Li, несмотря на его слабое вовлечение в хозяйственную деятельность. Несмотря на то что полученные результаты носят приблизительный, оценочный характер, можно выделить несколько химических элементов — Ni, Sr, Sb в подземных водах и Cu, As, Sb — в отдельных пробах поверхностных вод, для которых характерны высокие коэффициенты водной миграции и одновременно повышенные содержания по сравнению со средними значениями в природных водах исследуемой территории. Обработка полученных данных по коэффициентам

водной миграции элементов позволила установить для Албынского месторождения ряд по степени убывания геохимической подвижности элементов: Na > Cu > Ni > Sb > Sr > Ca > Mg > As > Co > Li > U > Mn > Bi > Fe > Cs > Ba > Zn > Y > K > Cd > Mo > Rb > W > Pb > Tl > Sn > Th > V > Be > Hf > Al > Ta > Zr > Ti > Nb, обусловленной свойствами атомов элементов, степенью растворимости их соединений в воде, составом водовмещающих минералов горных пород и техногенной составляющей. Относительно высокая подвижность металлов в грунтовых водах региона способствует развитию широких вторичных ореолов рассеяния химических элементов вокруг горнодобывающего предприятия.

Характеристика снегового покрова

Согласно литературным данным, при эксплуатации карьеров около 80 % общего количества пыли приходится на долю массовых взрывов [1]. Эффективным

Таблица 4
Коэффициенты концентраций элементов в подземных и поверхностных водах Албынского золоторудного месторождения, нормированные к рудоносным метасоматитам месторождения (или коэффициенты водной миграции)

Элемент	Точка отбора								
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.7	T.8	T.9	T.10
Ti·10 ⁻⁶	0,088	0,088	1,3	4,8	0,32	0,088	0,47	0,82	0,67
Zr·10 ⁻⁶	0,27	0,081	3,0	6,8	2,0	0,74	1,5	1,8	0,94
Nb·10 ⁻⁶	0,044	0,044	0,53	5,8	0,61	0,044	0,044	0,17	0,12
Ta·10 ⁻⁶	0,38	0,38	5,1	7,3	5,9	0,38	0,38	0,06	0,06
Al·10 ⁻⁵	0,0025	0,0028	0,27	1,3	0,17	0,13	0,40	0,41	0,12
Fe·10 ⁻⁵	0,24	0,18	5,8	7,6	0,18	0,48	0,73	0,38	0,51
Mn·10 ⁻⁵	0,50	1,5	71	89	2	0,73	5,4	1,8	37
Be·10 ⁻⁵	0,036	0,12	0,8	2,7	0,73	0,62	0,73	1,1	0,22
V·10 ⁻⁵	0,38	0,30	3,3	4,2	0,53	0,024	0,44	0,024	0,024
Sn·10 ⁻⁵	0,21	0,18	6,5	4,3	4,9	0,74	1,2	4,9	5,2
Hf·10 ⁻⁵	0,032	0,032	0,94	1,3	0,68	0,17	0,29	0,39	0,22
Tl·10 ⁻⁵	4,1	2,6	2,4	4,5	1,7	1,3	2,2	1,9	9,1
Pb·10 ⁻⁵	0,054	0,11	8,7	17	1,4	0,82	2,1	6,5	5,0
Th·10 ⁻⁵	0,045	0,039	4,9	6	1,2	1,0	1,6	1,2	0,43
K·10 ⁻⁴	0,4	0,4	2,7	0,59	0,11	0,087	0,35	0,14	1,7
Mo·10 ⁻⁴	0,69	0,57	0,22	2,7	0,25	0,029	0,047	0,073	1,0
Cd·10 ⁻⁴	0,13	0,13	0,93	1,3	0,43	0,71	1,0	0,82	0,93
Zn·10 ⁻⁴	1,5	1,2	1,0	1,1	0,86	0,26	0,42	0,91	1,5
Rb·10 ⁻⁴	0,50	0,49	0,29	0,56	0,23	0,15	0,33	0,21	1,8
Y·10 ⁻⁴	0,21	0,17	3,3	2,1	0,14	0,19	0,29	0,24	0,072
Cs·10 ⁻⁴	2,9	2,8	0,36	2,3	0,082	0,024	0,021	0,088	5,0
Ba·10 ⁻⁴	0,57	1,1	0,26	0,66	0,46	0,50	3,6	0,32	1,4
W·10 ⁻⁴	0,037	0,033	1,4	1,1	0,30	0,0070	0,013	0,066	0,062
Bi·10 ⁻⁴	0,056	0,056	9,4	1,7	0,53	0,22	0,46	38	1,1
U·10 ⁻⁴	9,3	9,2	0,84	2,9	0,25	0,29	0,17	0,19	16,6
Mg·10 ⁻³	1,9	1,9	0,13	0,32	0,027	0,041	0,096	0,056	1,5
Ca·10 ⁻³	2,1	2,2	0,19	0,26	0,049	0,067	0,15	0,057	1,9
Na·10 ⁻³	1,6	1,6	4,8	2,0	0,44	0,21	2,1	0,32	2,3
Li·10 ⁻³	0,36	0,32	0,028	0,13	0,035	0,012	0,026	0,028	0,25
Co·10 ⁻³	0,020	0,044	0,49	1,38	0,024	0,0054	0,024	0,022	0,33
Ni·10 ⁻³	3,61	2,69	0,73	1,23	0,14	0,042	0,18	0,23	1,66
Cu·10 ⁻³	0,018	0,018	2,88	3,44	2,66	0,31	0,21	1,55	1,34
As·10 ⁻³	0,45	0,47	0,048	1,81	0,027	0,011	0,011	0,011	0,036
Sr·10 ⁻³	2,46	2,49	0,14	0,31	0,030	0,035	0,076	0,044	1,98
Sb·10 ⁻³	3,31	3,49	0,047	0,97	0,033	0,021	0,014	0,033	1,82

Таблица 5

Содержание элементов в твердой фазе снегового покрова и аэротехногенная элементная нагрузка на территорию вокруг карьера Албынского месторождения

Элемент	Содержание, мг/кг					Аэротехногенная элементная нагрузка, г/км ² ·сут				Средний К _p
	СТ-1	СТ-2	СТ-3	Фон	ПДК-почв [3]	P _{тв} СТ-1	P _{тв} СТ-2	P _{тв} СТ-3	P _{Фон}	
Na	1,7·10 ⁴	1,9·10 ⁴	1,8·10 ⁴	1,1·10 ⁴	—	6,8·10 ⁴	8,3·10 ⁴	8,3·10 ⁴	21,7	3593
Mg	8,8·10 ³	1,1·10 ⁴	1,0·10 ⁴	7,8·10 ³	—	3,5·10 ⁴	4,9·10 ⁴	4,8·10 ⁴	16	2768
Al	8,3·10 ⁴	8,3·10 ⁴	8,2·10 ⁴	1,0·10 ⁵	—	3,4·10 ⁵	3,7·10 ⁵	3,8·10 ⁵	216	1676
K	4,3·10 ⁴	4,8·10 ⁴	4,5·10 ⁴	2,4·10 ⁴	—	1,7·10 ⁵	2,1·10 ⁵	2,1·10 ⁵	48,9	4051
Ca	1,3·10 ⁴	1,3·10 ⁴	1,2·10 ⁴	6,1·10 ³	—	5,1·10 ⁴	5,7·10 ⁴	5,87·10 ⁴	12,6	4392
Ti	3,9·10 ³	4,1·10 ³	3,8·10 ³	4,7·10 ³	—	1,5·10 ⁴	1,8·10 ⁴	1,8·10 ⁴	9,6	1775
Mn	925	1015	931	551	1500	3,7·10 ³	4497	4354	1,1	3808
Fe	5,0·10 ⁴	5,6·10 ⁴	5,1·10 ⁴	3,4·10 ⁴	—	2,0·10 ⁵	2,5·10 ⁵	2,4·10 ⁵	70,4	3255
Li	90,4	97,7	89,8	39,9	—	363	433	420	0,082	4943
Be	6,3	6,7	6,0	3,8	—	25,4	29,8	28,2	0,008	3475
Sc	5,6	5,4	5,5	13,4	—	22,7	23,7	25,6	0,028	857
V	67,9	61,8	65,3	122	150	273	274	305	0,25	1136
Cr	25,1	21,3	29,5	75,1	—	101	94,2	138	0,15	740
Co	6,5	6,2	6,8	10,6	—	26,1	27,7	31,8	0,022	1297
Ni	9,1	6,9	8,3	21,7	40	36,7	30,7	39	0,045	788
Cu	10,8	9,6	10,9	37,0	66	43,4	42,6	50,8	0,076	600
Zn	133	154	150	115	110	534	684	702	0,24	2667
Ga	35,9	39,5	37,9	22,6	—	144	175	177	0,047	3518
As	761	42,9	38,6	18,2	5	3059	190	181	0,038	30088
Rb	85,7	105	107	93,6	—	345	467	498	0,19	2298
Sr	199	220	217	309	—	801	974	1013	0,64	1452
Y	27,5	22,1	19,3	26,6	—	110	98	90	0,05	1987
Zr	546	117	91,5	121	—	2196	520	428	0,25	4192
Nb	119	131	119	25,8	—	479	580	558	0,053	10172
Mo	6,4	6,7	6,5	3,0	—	25,9	29,8	30,5	0,006	4789
Cd	0,15	0,19	0,17	0,25	1,0	0,6	0,8	0,79	0,0005	1431
Sn	4,9	5,3	5,1	3,3	—	19,7	23,4	23,9	0,0068	3284
Sb	3,1	3,3	3,3	2,4	4,5	12,6	14,6	15,6	0,0048	2972
Cs	6,8	6,7	6,4	4,7	—	27,4	29,6	29,7	0,0098	2949
Ba	928	1072	1014	945	—	3729	4752	4745	1,9	2320
Hf	12,5	2,4	1,7	3,0	—	50,4	10,5	7,9	0,0063	3640
Ta	6,6	7,5	6,6	1,74	—	26,4	33,3	31,1	0,0036	8407
W	47,1	54,5	50,8	4,8	—	189	242	238	0,0098	22769
Tl	0,38	0,40	0,41	0,40	—	1,5	1,77	1,9	0,0008	2102
Pb	7,0	7,5	9,0	23,5	65	28	33,1	42,1	0,0483	712
Bi	0,10	0,079	0,11	0,21	—	0,39	0,35	0,49	0,0004	953
Th	9,4	9,7	9,3	12,0	—	37,8	42,8	43,4	0,0248	1667
U	1,8	1,8	1,8	2,8	—	7,4	8,1	8,5	0,0059	1356

Примечание: «—» — нет нормативов

накопителем органических и неорганических соединений в виде твердых частиц и аэрозольных загрязняющих веществ, выпадающих из атмосферного воздуха, является снежный покров. Аэрогенный перенос тонкодисперсного материала, связанный, прежде всего, с производством горных работ, обуславливает дополнительное насыщение тяжелыми металлами компонентов природных ландшафтов окрестностей рудника. Согласно полученным данным показатель среднесуточной пылевой нагрузки (P_n) вокруг карьера на расстоя-

нии 500–1000 м варьирует от 4000 до 4676 мг/м²·сут. На практике используется следующая градация по среднесуточной пылевой нагрузке (мг/м²·сут): менее 250 — низкая степень загрязнения; 251–450 — средняя степень загрязнения; 451–850 — высокая степень загрязнения; более 850 — очень высокая степень загрязнения [12]. Согласно данной градации величина среднесуточной пылевой нагрузки вокруг рудника на расстоянии 500–1000 м соответствует очень высокой степени запыленности снегового покрова. На фоновой точке суточная пылевая нагрузка составила 2,06 мг/м²·сут, тогда как согласно работе [12] для континентальных территорий фоновой считается пылевая нагрузка в 10–20 мг/м² в сутки.

Суммарное количество элементов в снеговых пробах складывается из растворимых и нерастворимых соединений. Поведение этих соединений в экосистеме различно. Первые, наиболее геохимически активные, могут включаться в водную и биогеохимическую миграцию, для нерастворимых форм более естественно их депонирование в почве. Следует отметить, что в результате взрывных работ глубокая дезинтеграция минеральных веществ увеличивает растворимость минералов, что может привести к повышению концентрации химических элементов в почве и гидросфере.

В твердой фазе снега во всех пробах содержание As превышает ОДК для почв в 3,6–152 раза (табл. 5). Степень загрязнения элементами, для которых нормативы не определены, была оценена нами по эмпирическому критерию [10] — превышение четырех фоновых значений. Для Hf в пробе СТ-1 и Ta в пробе СТ-2 наблюдали превышения четырех фоновых значений.

Рассчитанная аэротехногенная элементная нагрузка (табл. 5) показала, что в целом нагрузка нерастворимыми формами элементов на территории вокруг

карьера превышает фоновую на три-четыре порядка. Максимальные коэффициенты превышения элементной нагрузки в районе карьера по сравнению с фоновой выявлены для As (30088), W (22769), Nb (10172) и Ta (8407). Что касается водорастворимых форм металлов, то в снеге вокруг карьера обнаружено повышенное, относительно ПДКв, содержание марганца, сурьмы и мышьяка: Mn в 1,4–1,7 раз, Sb — в 1,7–2,2 раза, As — 8–14,1 раза (табл. 6). Превышены нормативы предельно допустимых концентраций элементов в водных объектах рыбохозяйственного значения по Na в 25–44 раза, по Mg в 77–87 раз, по K в 216–260 раз, по Ca в 110–160 раз, по Mn в 7–17 раз, по Cu, As, Mo, W, Al в 2–5 раза. Из перечисленных элементов наиболее значимы содержания потенциально токсичных: Cu, As, Mo, W, Sb, которые могут вымываться из пород талыми и дождевыми водами.

Следует отметить, что слабощелочная среда снеготалой воды вокруг карьера (значение pH варьировало от 7,69 до 7,90) должна затруднять миграцию большинства элементов. Согласно литературным данным [15] в слабощелочных растворах происходит образование гидроксидов, растворимость которых невелика. Снег с поверхности природных экосистем, удаленных от источника загрязнения, не имел превышения ПДКв по содержанию исследуемых элементов, только наблюдалось превышение ПДКвр для водных объектов рыбохозяйственного значения по Na, Mg, Al, K, Ca, Mn, Cu.

Нами были рассчитаны коэффициенты Ксв/ст, показывающие соотношение концентраций элементов в жидкой и твердой фазах снега. Полученные данные приведены в табл. 6. По степени убывания значений этих коэффициентов выстроен следующий ранжи-

рованный ряд: Sb > Ca > As > Sr > U > Mo > Mg > Cu > Cs > Ni > K > Pb > Na > Cr > Li > Mn > Sn > Cd > Bi > Rb > W > Ba > Zn > Tl > Co > Sc > Ga > Y > V > Al > Fe > Th > Hf > Be > Ta > Zr > Ti > Nb, в котором наиболее легко растворимыми формами обладают Sb, Ca, Sr, As, U, Mo.

Сравнение коэффициентов распределения элементов между породой и снеговой водой ($K_{св/ст}$) (табл. 6) и коэффициентов водной миграции (K_x) (табл. 4) показало, что для As, Mo, Cd, Sn, Sb, Pb коэффициенты

Таблица 6

Содержание элементов в жидкой фазе снегового покрова и аэротехногенная элементная нагрузка (растворимыми соединениями) на территорию вокруг карьера Албынского месторождения

Элемент	Содержание, мкг/дм ³						P _{раств} мг/км ² ·сут	K _{фр} = P _{тв} /P _{раств}	Ксв/ст (минимум-максимум)
	СВ-1	СВ-2	СВ-3	Фон	ПДКвр [8]	ПДКв [2]			
Na	3560	2979	5262	489	120	200000	372453	209	(0,16–0,3)·10 ⁻³
Mg	3484	3076	3464	203	40	50000	317753	139	(0,28–0,4)·10 ⁻³
Al	126	155	66,5	36,7	40	200	11001	32916	(0,08–0,19)·10 ⁻⁵
K	12989	11365	10808	590	50	—	1117157	177	(2,4–3)·10 ⁻⁴
Ca	29148	23479	19786	1522	180	—	2309881	24	(1,6–2,3)·10 ⁻³
Ti	1	<0,6	<0,6	0,65	60	100	52,6	324007	(0,07–0,26)·10 ⁻⁶
Mn	174	134	74,6	29,2	10	100	12274	341	(8–19)·10 ⁻⁵
Fe	88,6	67,6	48,4	46,7	100	—	6550	34987	(0,09–0,18)·10 ⁻⁵
Li	14,8	14,3	11,2	0,68	80	30	1279	317	(0,12–0,16)·10 ⁻³
Be	0,0031	0,005	<0,002	0,0092	0,3	0,2	0,27	102879	(0,02–0,07)·10 ⁻⁵
Sc	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	—	—	4,7	5105	0,91·10 ⁻⁵
V	<0,06	0,22	<0,06	0,33	1	100	8,52	33331	(0,04–0,36)·10 ⁻⁵
Cr	8,2	3,4	<0,5	<0,5	70	500	392	283	(0,008–0,3)·10 ⁻³
Co	0,28	0,28	0,2	0,3	10	100	24,1	1183	(0,03–0,04)·10 ⁻³
Ni	4,3	1,8	0,57	0,66	10	20	219	162	(0,07–0,47)·10 ⁻³
Cu	5,1	2,8	2,2	2,2	1	1000	327	139	(0,2–0,47)·10 ⁻³
Zn	6,7	4	6,7	10,9	10	1000	555	1153	(0,26–0,5)·10 ⁻⁴
Ga	<0,4	<0,6	<0,52	<0,05	—	—	23,8	6955	(0,56–0,76)·10 ⁻⁵
As	116	141	79	0,59	50	10	10621	108	(0,15–3,3)·10 ⁻³
Rb	10,7	10,6	8,7	0,4	100	—	951	459	(0,82–1,3)·10 ⁻⁴
Sr	441	396	302	13,8	400	7000	36246	26	(1,4–2,2)·10 ⁻³
Y	0,067	0,052	0,023	0,085	—	—	4,56	21823	(0,1–0,2)·10 ⁻⁴
Zr	0,053	0,037	0,024	0,11	70	—	3,66	286327	(0,1–0,3)·10 ⁻⁶
Nb	0,016	0,012	<0,005	<0,005	—	10	0,99	544731	(0,02–0,13)·10 ⁻⁶
Mo	4,2	2,6	2,9	0,057	1	250	311	92	(3,86–6,5)·10 ⁻⁴
Cd	0,022	0,01	0,021	0,03	5	1	1,7	436	(0,54–1,5)·10 ⁻⁴
Sn	0,51	0,33	1	0,38	112	—	58	384	(6,3–19,6)·10 ⁻⁵
Sb	11,1	8,8	8,4	0,12	—	5	902	16	(2,5–3,5)·10 ⁻³
Cs	2	2,3	1,3	0,018	1000	—	177	163	(2,1–3,4)·10 ⁻⁴
Ba	65,5	60,9	44,8	8,2	740	700	5444	810	(0,44–0,71)·10 ⁻⁴
Hf	0,0017	0,0028	0,0019	0,0032	—	—	0,2	114574	(0,01–0,12)·10 ⁻⁵
Ta	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	—	—	0,19	159274	0,29·10 ⁻⁶
W	3,02	3,5	3,4	0,045	0,8	50	312	714	(0,64–0,67)·10 ⁻⁴
Tl	0,019	0,017	0,011	0,0027	—	0,1	1,5	1154	(2,7–5)·10 ⁻⁵
Pb	4,22	0,56	0,41	1,71	6	10	175	196	(4,6–60,7)·10 ⁻⁵
Bi	0,015	0,009	0,0058	0,0067	—	100	0,97	423	(0,55–1,6)·10 ⁻⁴
Th	0,015	0,012	0,0041	0,032	—	—	1	41371	(0,04–0,16)·10 ⁻⁵
U	1,7	1,6	1,5	0,02	—	100	152	53	(8,3–9,3)·10 ⁻⁴

Примечание: «—» — нет нормативов

Ксв/ст выше, чем Кх. Выявленная закономерность показывает, что за счет выщелачивания As, Mo, Cd, Sn, Sb, Pb из пород снеготалой водой возможен дополнительный привнос токсичных элементов в состав природных вод, обуславливающих их загрязнение.

О преобладании той или иной формы соединений элемента в атмосферном воздухе и соответственно потенциальной или активной его опасности, говорит показатель Кфр (табл. 6). Для всех исследуемых элементов выявлено очень высокое преобладание взвешенных нерастворимых форм, что указывает соответственно на вероятность их преимущественного депонирования в почве. Этот факт свидетельствует о том, что суммарное поступление, а, следовательно, и последующее накопление элементов в геосистеме происходит больше за счет твердых выпадений, что предполагает потенциальную опасность для биоты в случае изменения реакции почвенных растворов и возможные отдаленные последствия такого загрязнения.

Выводы

1. Рудоносные метасоматиты Албынского золоторудного месторождения характеризуются повышенным содержанием As, Sb, Mo, W, Nb, Ta, Cd, которые могут создать значительную геохимическую нагрузку на региональную геосистему при разработке месторождения открытым способом.

2. Вода поверхностных водотоков Албынского золоторудного месторождения классифицируется как нейтральная и слабощелочная гидрокарбонатно-кальциевая, реже — хлоридно- или сульфатно-гидрокарбонатная, пресная или ультрапресная с малой минерализацией. В химическом составе отмечено превышение ПДКвр по Mo, W и As в руч. Маристый, Mo — в руч. Жедринский; в подземных водах и в руч. Жедринский зафиксированы высокие содержание Sb и U.

3. Закономерности миграции и накопления микроэлементов в водных средах месторождения, выявленные по соотношениям их концентраций в системе вода-порода, обусловлены особенностями их химических свойств, составом минералов горных пород и техногенной составляющей. Для Ni, Sr, Sb в подземных водах и Cu, As, Sb в отдельных пробах поверхностных вод характерны высокие коэффициенты водной миграции и одновременно с этим повышенные содержания этих элементов относительно средних значений для природных вод исследуемой территории.

4. Разработка месторождения открытым способом приводит к глубокой дезинтеграции минерального сырья, что локально увеличивает аэротехногенную и гидрохимическую миграцию химических элементов с рудного поля Албынского золоторудного месторождения. Показатели снегового опробования вокруг территории карьера свидетельствуют об очень высоком уровне пылевой нагрузки в приземном слое атмосферного воздуха. Коэффициенты фазового распределения указывают на очень высокое преобладание нерастворимых форм элементов по сравнению с их растворимыми соединениями, вследствие чего накопление элементов в геосистеме происходит больше за счет твер-

дых выпадений. В твердой фазе снега концентрации As превышали ОДК для почв в 3,6–152 раза. В растворимой части снега обнаружено повышенное, относительно ПДКв, содержание Mn в 1,4–1,7 раза, Sb в 1,7–2,2 раза и As в 8–14,1 раза.

5. Сравнение коэффициентов распределения элементов между породой и снеговой водой и коэффициентов водной миграции показало, что за счет выщелачивания As, Mo, Cd, Sn, Sb, Pb из пород снеготалой водой возможно увеличение загрязнения природных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адушкин, В.В. Свойства нано- и микромасштабных частиц, поступающих в окружающую среду при открытой разработке железорудных месторождений / В.В. Адушкин, П.Г. Вайдлер, А.Н. Дубовской, Л.М. Перник, С.И. Попель, Ф. Фридрих // Геология рудных месторождений. — 2010. — Т. 52. — № 5. — С. 418–426.
2. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Режим доступа: <http://www.dioxin.ru/doc/gn2.1.5.1315-03.htm>. Дата обращения 28.01.2018.
3. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293850/4293850511.htm>. Дата обращения 06.03.2018.
4. Головин, А.А. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования м-ба 1: 200 000 / А.А. Головин, Н.Н. Москаленко, А.И. Ачкасов, К.Л. Волочкович и др. — М.: ИМГРЭ, 2002. — 92 с.
5. Гусева, Т.В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. Справоч. Матер. / Т.В. Гусева, Я.П. Молчанова, Е.А. Заика, В.Н. Виниченко, Е.М. Аверочкин. — М.: Эколайн, 1999. — 74 с.
6. Малышев, А.А. Роль тектонических дислокаций в формировании Албынского рудного поля / А.А. Малышев, А.Б. Лазарев // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 11. — С. 29–34.
7. Маркова, Ю.Л. Оценка воздействия промышленности и транспорта на экосистему национального парка «Лосинный остров»: Дисс. к.г.-м. н / Ю.Л. Маркова. — М.: МГУ, 2003. — 110 с.
8. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (утв. приказом Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20) // Режим доступа: <http://docs.c/ Documents%20and%20Settings/spiderman/Мои%20документы/ПДК%20рыб.htm>. Дата обращения 28.01.2018.
9. Перельман, А.И. Геохимия природных вод / А.И. Перельман. — М.: Наука, 1982. — 154 с.
10. Радомская, В.И. Распределение и миграция элементов-токсикантов в системе почва-растение на Албынском золоторудном месторождении (Амурская область) / В.И. Радомская, С.М. Радомский, Е.Н. Кулик, Л.М. Павлова // География и природные ресурсы. — 2016. — № 3. — С. 62–69.
11. Радомская, В.И. Геохимическая специфика редкоземельных элементов в поверхностных и подземных водах поля Албынского золоторудного месторождения (Амурская область) / В.И. Радомская, С.М. Радомский, Е.Н. Кулик, Л.И. Рогулина, Л.П. Шумилова, Л.М. Павлова // Водные ресурсы. — 2016. — Т. 43. — № 6. — С. 648–660.
12. Саэт, Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
13. Табаксблат, Л.С. Гидрогеохимическая трансформация Липовского месторождения силикатного никеля (Средний Урал) в условиях регрессивной стадии его техногенеза / Л.С. Табаксблат, Н.А. Бизяев / Литосфера. — 2008. — № 6. — С. 73–81.
14. Тейлор, С.Р. Континентальная кора: ее состав и эволюция: Пер. с англ. / С.Р. Тейлор, С.М. Мак-Леннан. — М.: Мир, 1988. — 384 с.
15. Шварцев, С.Л. Общая гидрогеология / С.Л. Шварцев. — М.: Недра, 1996. — 423 с.

© Радомская В.И., Радомский С.М., Павлова Л.М., 2018

Радомская Валентина Ивановна // radomskaia@ascnet.ru
Радомский Сергей Михайлович // rsm@ascnet.ru
Павлова Людмила Михайловна // pav@ascnet.ru