

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.345

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРРИТОРИИ
ЗОЛОТОСЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ “КЛЕН”
(ЧУКОТСКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ)

Ф.Ф. Брюхань, В.В. Лебедев*

Московский государственный строительный университет,
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия; pniis-gip@mail.ru

*Региональная горнорудная компания,
115035, Москва, ул. Садовническая, 4, стр. 1, Россия; v.lebedev@rmcgold.ru

Выполнена эколого-геохимическая оценка загрязнения ландшафтных компонентов на территории месторождения “Клен” (Билибинский район Чукотского автономного округа) по результатам полевых работ по отбору проб почвы, грунтов, донных отложений, поверхностных вод в ручьях Клен и Алиса и растительности (хвои лиственницы) и последующих лабораторных исследований проб. Установлено, что почвенно-грунтовой слой характеризуется кислой или слабокислой реакцией, реже нейтральной. Концентрации металлов в донных отложениях ручьев значительно превышают соответствующие концентрации в почвах и грунтах. Наибольшие концентрации микроэлементов в почвах и грунтах характерны для техногенных участков месторождения. Поверхностные воды ручьев Клен и Алиса по своему химическому составу гидрокарбонатные, преимущественно магниевно-натриево-кальциевые, со слабокислой реакцией, мягкие, ультрапресные и пресные. Показано, что уровень аккумуляции микроэлементов в хвое может служить индикатором экологического состояния территории. В целом на исследованной территории эколого-геохимическое состояние ландшафтных компонентов удовлетворительное. Отмечено, что многолетние мерзлые породы во многом определяют эколого-геохимическое состояние территории и его изменение в процессе обустройства и эксплуатации месторождения.

Инженерные изыскания, окружающая среда, загрязнение, месторождение, почва, грунт, поверхностные воды, растительность

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STATE OF THE TERRITORY
OF THE GOLD-SILVER DEPOSIT “KLYON” (CHUKOT AUTONOMOUS AREA)

F.F. Bryukhan, V.V. Lebedev*

Moscow State University of Civil Engineering,
129337, Moscow, Yaroslavl'skoe sh., 26, Russia; pniis-gip@mail.ru

*Regional'naya Gornorudnaya Kompaniya,
115035, Moscow, Sadovnicheskaya str., 4, build 1, Russia; v.lebedev@rmcgold.ru

According to the results of field works of sampling of soil, ground, and bottom sediments of surface waters in the Klyon and Alisa creeks and vegetation (larch pine needles) samples at the territory of the minefield “Klyon” (Bilibinsky region of Chukot Autonomous Area) and further laboratory examinations, ecological and geochemical estimation of landscape component pollution has been performed. It has been revealed that the soil ground layer is characterized by an acid or weak-acid reaction or, rarely, neutral reaction. The metal concentrations in the bottom sediments of creeks exceed considerably the corresponding concentrations in the soils and in the ground. The highest concentrations of microelements of soils and ground are typical of the man-induced sites of the minefield. Surface waters of the Klyon and Alisa creeks are of hydrocarbonate, mostly magnesium-sodium-calcium chemical composition, with a weak-acid reaction, very soft, sweet and fresh. It is shown that the microelement accumulation level in the pine needles may serve the indicator of the ecological condition of the territory. Generally, the ecological and geochemical state of landscape components of the investigated territory is satisfactory. It is marked that the permafrost essentially determine the ecological and geochemical state of the territory and its change during the construction and maintenance of the deposit.

Engineering survey, natural environment, pollution, deposit, soil, ground, surface waters, vegetation

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени завершаются предпроектные и проектные работы по обустройству золотосеребряного месторождения “Клен” (Билибинский район Чукотского автономного округа). В рамках предпроектных разработок выполняются инженерно-изыскательские работы по изучению природных условий территории месторождения, включающие инженерно-экологические исследования.

Месторождение находится в междуречье ручьев Клен и Алиса – левых притоков ручья Раковского, протекающего в бассейне р. Кричальская на левобережье р. Большой Аной. Площадь месторождения составляет около 1,5 км². Местоположение месторождения представлено на рис. 1. Балансовые запасы золота оцениваются в 18,7 т, серебра – 43,8 т [Брюхань, Лебедев, 2012]. Добыча этих металлов предусматривает переработку около 3 млн т руды. Месторождение предполагается эксплуатировать в течение 10 лет.

Рассматриваемая территория расположена в зоне многолетней мерзлоты мощностью 200–400 м [Геокриология..., 1989]. В процессе полевых геокриологических исследований, выполненных в 2010 г., термометрическими наблюдениями в разведочных скважинах колонкового бурения установлено сплошное развитие криолитозоны со средней температурой –5 °С. Годовые температурные колебания в породах затухают на глубинах 10–15 м.

Формирование температурного режима грунтов исследуемой территории происходит при воздействии как региональных, так и местных климатических факторов [Sherstiukov, 2011]. Наиболее

значительное влияние на температурный режим грунтов оказывают снежный и растительный покровы, а также поверхностные водные объекты. При этом минимальные температуры характерны для наиболее возвышенных выпуклых участков, с поверхности которых сдувается снег в зимний период [Геокриология..., 1989; Шерстюков, 2008].

Для рассматриваемой территории характерно ежегодное проявление устойчивого процесса оттаивания грунтов с земной поверхности в теплый период (с мая по сентябрь), сменяющегося промерзанием оттаявших пород. В процессе изыскательских работ установлено, что распределение глубин сезонноталого слоя (СТС) сравнительно равномерно по площади исследуемой территории. При этом обычно они изменяются в пределах 0,5–1,5 м. Наибольшие глубины СТС наблюдаются на относительно сухих участках, наименьшие – на заболоченных.

На прилегающих к месторождению территориях в речных долинах развиты гидрогенные и гидрогеогенные талики, чаще всего несквозные [Фотиев, 1978; Романовский, 1983]. Эти подрусловые, пойменные, подозерные талики, талики конусов выноса развиты сравнительно широко. Наиболее распространены подрусловые талики, на формирование которых оказывают значительное влияние температура речных и аллювиальных вод, а также водопроницаемость пород [Михайлов, 2010]. Размеры долинных таликов изменяются в больших пределах, достигая в долинах крупных рек 400–700 м, а иногда и более. Мощности несквозных гидрогенных таликов возрастают вниз по течению рек от 5–8 м в верховьях до 20–30 м в нижнем течении.



Рис. 1. Местоположение месторождения “Клен” на обзорной карте Чукотского автономного округа.

Сквозные гидрогенные талики локализованы под руслами крупных рек (Колыма, Большой Анюй, Омолон и др.), главным образом в зонах тектонических разломов. Подозерные талики образуются под озерами глубиной более 2–3 м. Их площадь обычно совпадает с площадью озера или незначительно превышает ее. Мощность таких таликов достигает 20–40 м.

Для территории характерно ограниченное распространение термокарстовых и термоэрозийных образований, а также курумов. Современные термокарстовые образования наблюдаются на пониженных участках надпойменных террас, в местах активного техногенного воздействия (в горных канавах, на вездеходных дорогах). Они имеют в основном форму блюдца и отличаются небольшими размерами – до 5–6 м в поперечнике и глубиной до 1,0–1,5 м. Термоэрозийные процессы приурочены к склонам гряд и холмов. Термоовраги имеют небольшие размеры и врез. Чаще всего наблюдаются термоэрозийные промоины глубиной до 0,5–1,0 м и в поперечнике до 10–30 м. Курумы имеют локальное распространение. В основном они образуются на южных склонах с уклоном поверхности 10–25°. Их размеры изменяются в пределах от нескольких метров до десятков метров.

Необходимость всестороннего анализа эколого-геохимического состояния ландшафтов на исследуемой территории связана с их особой чувствительностью в условиях многолетней мерзлоты к техногенным воздействиям и, как следствие, с неизбежными серьезными нарушениями ландшафтов в процессе эксплуатации месторождения. Такие нарушения, включающие изменение биогеохимических условий ландшафтных компонентов, усиливаются при больших перепадах температур в годовой динамике. Проектирование инженерной защиты окружающей среды диктует потребность в соответствующих исходных данных. В частности, в период эксплуатации проектируемого хвостохранилища возможно проникновение в ландшафтные компоненты опасных загрязняющих агентов путем их переноса с инфильтрационными водами через тело дамбы хвостохранилища. Определение интенсивности переноса загрязняющих агентов возможно лишь при наличии данных об элементном составе почвы и грунтов. Необходимо также отметить, что подобное исследование актуально и в связи с малой изученностью геохимического состояния ландшафтов чукотских лесотундровых территорий.

Техногенное воздействие на ранее ненарушенную территорию месторождения началось с выполнения геолого-разведочных работ в 1984 г. К настоящему времени произведен значительный

объем работ по бурению скважин, проходке разведочных выработок, прокладке подъездных путей для автотранспорта, буровой и дорожной техники, обустройству временной жилой инфраструктуры.

При техногенном воздействии на территорию месторождения происходят геохимические изменения в почвах и грунтах, в донных отложениях, поверхностных водах и в растительном покрове. Негативное влияние на эти ландшафтные компоненты отмечается на всех стадиях техногенной деятельности, начиная с поисково-разведочного бурения скважин и проходки канав, существенно усиливаясь в период строительства и эксплуатации месторождения.

1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Настоящая работа выполнена на основе результатов полевого отбора проб, проведенного ЗАО “Сибгеоконсалтинг” (Красноярск), и лабораторных исследований, выполненных в аккредитованных химических лабораториях ФГУГП “Урангеологоразведка” (Иркутск) и ОАО “Красноярскгеология” (Красноярск). Инженерно-экологические изыскания на месторождении выполнялись согласно нормативным требованиям [СНУП 11-02-96..., 1997; СП 11-102-97..., 1997].

Отбор проб для изучения эколого-геохимического состояния почв и грунтов ненарушенных ландшафтов и участков техногенного нарушения проводился в августе 2011 г. внутри лицензионной территории месторождения и за ее пределами. На лицензионной территории отбор проб осуществлялся по равномерной сети с шагом 300–400 м, а за ее пределами – по радиально направленным от центра месторождения профилям с шагом 600–1000 м. Пробы отбирались методом конверта из закопаш глубиной 10–40 см. Таким образом, смешанные пробы составлены из почвы и почвообразующих грунтов. Отбор проб донных отложений производился из двух ближайших ручьев – Клен и Алиса. Материал проб представлен супесью с примесью торфа от 5 до 30 %. В тех же местах, где были отобраны пробы донных отложений, а также вблизи проектируемого водозабора взяты пробы воды. Пробы растительности (хвои лиственницы) отбирались в тех же точках территории, что и смешанные пробы почвы и почвообразующих грунтов. Всего в процессе полевых работ было отобрано 26 смешанных проб почвы и грунтов, 4 пробы донных отложений, 5 проб воды из ручьев, 26 проб растительности. Схема точек отбора проб представлена на рис. 2.

Последующие химические анализы проб выполнялись в лабораториях ФГУГП “Урангеологоразведка” и ОАО “Красноярскгеология”.

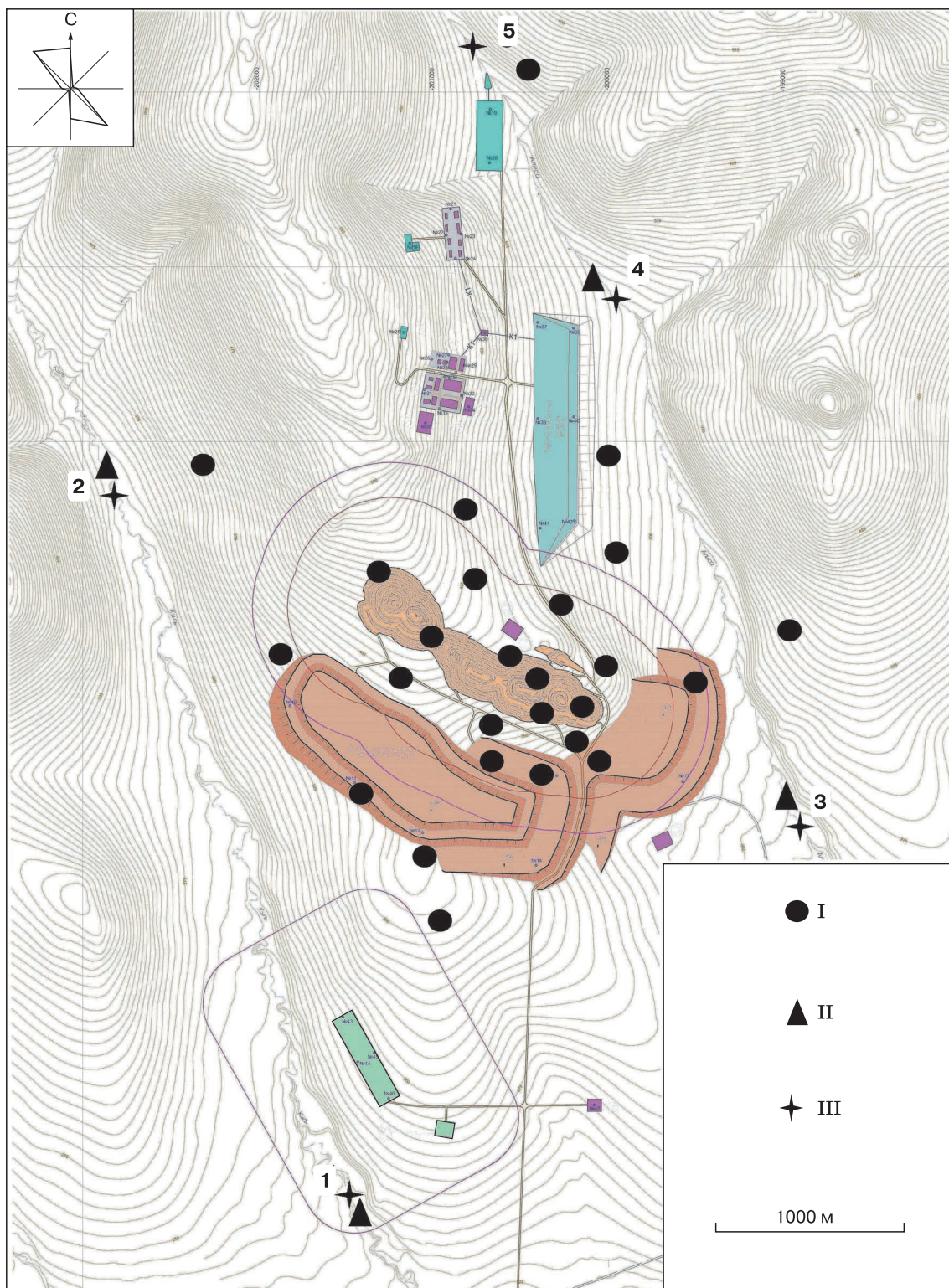


Рис. 2. Система точек отбора проб почвы, грунтов, донных отложений, поверхностных вод и растительности.

Точки отбора проб: I – почвы, грунтов и растительности, II – донных отложений, III – воды; 1–5 – номера проб воды.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

2.1. Почвы, грунты, донные отложения

Для эколого-геохимической оценки состояния почв, грунтов и донных отложений на территории месторождения и выявления фоновых показателей загрязнения в настоящей работе проведено сравнение результатов лабораторных анализов с кларками почв мира по Боуэну [Орлов, 2005; Bowen, 1979]. Для различных химических элементов определялись коэффициенты концентрации K_k – отношения концентраций элементов в почвах, грунтах и донных отложениях к их кларкам в почве. Осредненные данные по всем отобраным пробам приведены в табл. 1.

При оценке геохимического состояния почв и грунтов выделялись две категории участков, на которых отбирались пробы: подвергшиеся техногенному воздействию (техногенные участки) и не подвергшиеся такому воздействию (фоновые участки). Для выявления уровней загрязнения

химические элементы были объединены в три группы:

- группа 1 ($0,7 \leq K_k \leq 1,5$): Fe, Ni, V, Cr, Cu, Sr – концентрации, близкие к кларку;
- группа 2 ($K_k > 1,5$): Co, Pb, Zn – концентрации, повышенные относительно кларка;
- группа 3 ($K_k < 0,7$): Mn, Ti – концентрации, пониженные относительно кларка.

Для химических элементов, содержащихся в донных отложениях, отмечается иная закономерность. Аккумулируя вещества, поступающие с бассейнов водных объектов в течение длительного времени, донные отложения могут являться индикаторами экологического состояния территорий [Брюхань, 2011]. Химический состав поверхностных вод, а следовательно, и донных отложений определяется вымыванием химических веществ дождевыми и тальными водами из почв и грунтов. При этом наблюдается эффект возрастания концентраций в донных отложениях в сравнении с соответствующими концентрациями в почвах и

Таблица 1. Средние значения характеристик загрязнения почв, грунтов и донных отложений на площади месторождения “Клен”

Элемент	Кларки почв, мг/кг	Почвы и грунты				Донные отложения	
		Техногенные участки		Фоновые участки			
		\bar{k} , мг/кг	K_k	\bar{k} , мг/кг	K_k	\bar{k} , мг/кг	K_k
Fe	40 000	40 625	1,0	40 000	1,0	42 500	1,1
Mn	1000	412,5	0,4	450,0	0,5	975,0	1,0
Ni	50	32,5	0,7	35,0	0,7	42,5	0,9
Co	8	18,4	2,3	17,0	2,1	37,5	4,7
Ti	5000	2875	0,6	3100	0,6	4000	0,8
V	90	90,0	1,0	80,0	0,9	100,0	1,1
Cr	70	80,0	1,1	78,0	1,1	125,0	1,8
W	–	–	–	5,0	–	5,0	–
Mo	–	3,9	–	4,0	–	5,5	–
Zr	–	140,6	–	175,0	–	200,0	–
Nb	–	–	–	10,0	–	–	–
Cu	30	44,4	1,5	38,0	1,3	55,0	1,8
Pb	12	22,2	1,8	29,0	2,4	32,5	2,7
Sb	–	26,7	–	–	–	–	–
Bi	–	1,5	–	1,0	–	1,0	–
Cd	–	–	–	10,0	–	–	–
Ag	–	0,2	–	0,1	–	0,095	–
Zn	90	123,8	1,4	153,0	1,7	200,0	2,2
Sn	–	4,2	–	4,7	–	4,3	–
Be	–	1,8	–	2,0	–	2,0	–
Sc	–	5,0	–	5,0	–	5,8	–
Ga	–	20,9	–	20,0	–	27,5	–
P	–	656,3	–	660,0	–	850,0	–
Sr	250	337,5	1,4	370,0	1,5	550,0	2,2
B	–	325,0	–	240,0	–	200,0	–

П р и м е ч а н и е. Кларки почв заимствованы из [Bowen, 1979]. \bar{k} – среднее содержание химических элементов в почвах, грунтах, донных отложениях; K_k – коэффициент концентрации.

грунтах (см. табл. 1). По этой причине, а также вследствие разной интенсивности вымывания различных элементов из почв и грунтов химические элементы в донных отложениях группируются несколько иначе, чем указано выше. Согласно данным табл. 1, для химических элементов, аккумулярованных в донных отложениях, выделяются две группы:

- группа 1 ($0,7 \leq K_k \leq 1,5$): Fe, Ni, V, Mn, Ti;
- группа 2 ($K_k > 1,5$): Co, Pb, Zn, Cr, Cu, Sr.

В результате выполненных анализов установлено, что уровень содержания металлов в почвах, грунтах и донных отложениях месторождения "Клен" отличается от мирового кларка почв незначительно. При этом наиболее интенсивное накопление металлов наблюдается в донных отложениях.

Миграция химических веществ в почве и грунтах происходит в результате протекания двух противодействующих процессов – биогенной аккумуляции и выщелачивания, и зависит главным образом от щелочно-кислотных условий (рН) и окислительно-восстановительных процессов. Существенное воздействие на условия миграции веществ оказывает также многолетняя мерзлота. С одной стороны, она резко ослабляет все биогеохимические и биологические процессы, с другой – под влиянием криогенных процессов происходит вымораживание солей. Условия миграции и накопления веществ в почвах и грунтах в пределах месторождения определяются их катионно-анионным составом. Результаты статистической обработки всех значимых показателей кислотно-щелочного состава почв, грунтов и донных отложений представлены в табл. 2.

Наибольшие концентрации подвижных форм ионов отмечаются на техногенном участке месторождения. В донных отложениях накопление

ионов увеличивается в сравнении с фоновыми пробами почвы и грунтов, что особенно заметно выражено в содержании гидрокарбонатов.

Почвенно-грунтовой слой характеризуется кислой или слабокислой реакцией, реже нейтральной, при значениях рН от 5,1 до 7,3. В целом на ненарушенных участках территории слабая кислотность может быть вызвана органическими кислотами, попадающими в почву с растительными остатками или корневыми выделениями. На техногенных участках преобладают более высокие значения рН, чем на фоновых участках.

Удельная электропроводность почвенного раствора достаточно изменчива в пределах территории месторождения и составляет от 27,6 до 215,6 мкСм/см. На фоне невысоких значений удельной электропроводности отмечаются проводимости более 200 мкСм/см, соответствующие высоким концентрациям ионов в пробах, отобранных на техногенных участках.

Как следует из табл. 2, для почв и грунтов характерно практически полное отсутствие карбонат-ионов и минимальное содержание в донных отложениях сульфат-ионов (<10 мг/кг). Наибольшие содержания сульфатов в почвах и грунтах отмечаются на техногенной территории, их значения колеблются от 175 до 263 мг/кг. Общее содержание хлоридов в почвах и грунтах на техногенном участке изменяется от 17,7 до 28,4 мг/кг. На фоновом участке и в донных отложениях содержание хлоридов находится в пределах точности химических анализов.

Катионный состав растворов достаточно изменчив, преобладающим для всех ландшафтов является кальций. Единичные максимально высокие концентрации кальция и магния зафиксированы на техногенных участках.

Таблица 2. Катионно-анионный состав водной вытяжки из проб почв, грунтов и донных отложений

Значение	Удельная электропроводность, мкСм/см	рН	Анионы, мг/кг				Катионы, мг/кг	
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
<i>Почвы и грунты техногенных участков</i>								
Минимальное	27,6	5,1	<10	36,6	175,0	17,7	12,0	6,1
Максимальное	215,6	7,3	<10	207,0	263,0	28,4	146,0	31,7
Среднее	90,7	6,4	<10	124,3	209,0	23,1	65,8	15,5
<i>Почвы и грунты фоновых участков</i>								
Минимальное	34,5	5,4	<10	54,9	148,0	<10	18,0	6,1
Максимальное	112,1	6,8	<10	137,0	148,0	<10	58,0	19,5
Среднее	58,2	6,0	<10	93,7	148,0	<10	35,4	11,5
<i>Донные отложения</i>								
Минимальное	41,4	6,0	<10	107,0	<10	<10	26,0	7,3
Максимальное	75,7	6,4	<10	189,0	<10	<10	52,0	13,4
Среднее	56,0	6,3	<10	138,8	<10	<10	38,0	10,7

В целом на исследуемой территории практически все аномалии катионно-анионного состава водной вытяжки проб обусловлены техногенным воздействием.

2.2. Поверхностные воды

По условиям водного режима ручьи Клен и Алиса относятся к типу водотоков с преобладанием снегового питания, на долю которого приходится около 70 % годового стока. Дождевая составляющая стока изменяется в пределах 20–25 %, подземного – 5–10 %. В весенний период преобладают снеговые воды, в летний – подземные воды и дождевой сток. Зимой ручьи полностью промерзают. Характер питания водотоков определяет кислотно-щелочной состав воды. При уменьшении вклада атмосферных осадков в питание водотоков повышается водородный показатель рН.

Показатель рН – одна из важнейших характеристик качества воды. От его величины зависит развитие и жизнедеятельность водных растений, условия обитания рыб и миграции химических элементов. В изученных пробах воды рН варьируется от 6,22 до 6,59. Таким образом, на территории месторождения воды имеют практически нейтральную реакцию.

Жесткость воды обусловлена присутствием в воде ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Воды исследуемых водотоков очень мягкие, их жесткость изменяется от 0,33 до 0,44 мг-экв/дм³. По уровню минерализации воды на территории месторождения ультрапресные и пресные. Минерализация колеблется в пределах 38,0–47,5 мг/дм³. Макрокомпонентный состав воды определяет ее тип, при котором ионы обуславливают миграцию в водной среде микрокомпонентов и отдельных соединений. По результатам химического анализа проб воды на территории месторождения установлено, что они гидрокарбонатные с различным катионным составом, преимущественно магниево-натриево-кальциевые. Химический состав воды формируется в основном за счет поступления в ручьи почвенных растворов, минерального вещества почв и подземных вод. Химические элементы в природных водах мигрируют в двух формах – взвешенной и растворенной. Содержание элементов в поверхностных водах зависит от объема воды, а также от характера взаимодействия воды, органики и донных отложений [Овчинников, 1970].

Для выявления экологических особенностей химического состава поверхностных вод на территории месторождения содержание основных химических веществ в пробах сопоставлялось с предельно допустимыми концентрациями (ПДК), разработанными для вод рыбохозяйственного назначения [Перечень..., 1999, с уточнениями, введенными приказом Росрыболовства за № 20 от 18 января 2010 г.]. Анализ гидрохимического ре-

жима производился по значениям коэффициента $K_{\text{ПДК}}$ – отношения концентраций в пробах к соответствующим нормативам ПДК.

По результатам стандартного анализа воды установлено, что нитрат-ионы встречаются во всех пробах в количествах, не превышающих установленных нормативов. В опробованных водотоках содержание аммония не превышает ПДК, однако в ручье Алиса очень близко к ПДК и составляет 0,98. Значения $K_{\text{ПДК}}$ нитрат-иона лежат в диапазоне 0,025–0,03. Присутствие в природных водах соединений азота можно объяснить процессами биохимического распада органических азотсодержащих соединений [Никаноров, 2001].

По результатам стандартного анализа и полукоричневостного 40-элементного спектрального анализа установлено, что содержание исследуемых компонентов (за исключением меди и ионов железа Fe^{2+}) не превышает предельно допустимых концентраций (табл. 3). Выявлено присутствие следующих элементов: Pb, Cu, Zn, V, Cr, Ni, Ti, Mn, Ga, Mo, Sn, Ba, Sr, Zr, B, Ag, Y, Yb, La, Sc, Li.

Кадмий и свинец относятся ко второму классу опасности, хром – к третьему. Их содержание значительно ниже ПДК, что указывает на отсутствие техногенного загрязнения территории этими металлами. Содержание цинка (третий класс опасности), хотя и заметное, но также ниже ПДК. То обстоятельство, что содержание меди (третий класс опасности) выше ПДК, связано скорее не с техногенным воздействием, а с особенностями геологического строения территории, для которой характерен повышенный геохимический фон по меди. Следует отметить, что в верховьях ручьев Клен и Алиса имеются предпосылки для существования медно-порфировой системы, аналогичной известному месторождению меди Песчанка, расположенному на территории Чукотского АО.

Марганец обнаружен во всех пробах поверхностных вод в заметных концентрациях. Его миграция происходит преимущественно в виде взвесей, состав которых определяется составом пород и дренируемыми водами. Существенную роль в миграции марганца играют органические вещества. Содержание марганца изменяется в пределах от 0,0056 до 0,0096 мг/дм³, его максимум наблюдается в ручье Клен (проба 1).

Железо входит в число наиболее распространенных элементов земной коры, что обуславливает его постоянное присутствие в природных водах. Основной природный источник поступления железа в поверхностные воды – процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их растворением. Значительная часть железа поступает также с грунтовым стоком. Возможное техногенное загрязнение ручьев Клен и Алиса железом связано с его выносом с территории месторождения дождевыми и талыми водами. Соедине-

Таблица 3. Коэффициенты ПДК проб воды из ручьев Клен и Алиса

Компонент	Ручей Клен		Ручей Алиса		
	Номера проб (см. рис. 2)				
	1	2	3	4	5
Pb	0,08	0,02	0,04	0,025	0,04
Cu	1,92	1,52	2,28	1,48	1,92
Zn	0,48	0,38	–	–	0,48
V	0,48	0,38	0,285	0,185	0,24
Cr	0,02	0,01	0,855	0,02	0,10
Ni	0,10	0,04	0,06	0,04	0,05
Ti	0,08	0,06	0,19	0,12	0,08
Mn	0,96	0,57	0,57	0,555	0,72
Mo	0,14	0,11	0,23	0,11	0,14
Ba	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05
Sr	0,12	0,095	0,14	0,09	0,12
Zr	0,14	0,02	0,03	0,02	0,14
B	0,24	0,19	0,17	0,11	0,29
Ag	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Cd	0,04	–	–	–	–
Li	0,006	0,005	0,007	0,005	0,006
Cl ⁻	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
SO ₄ ²⁻	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01
NO ₃ ⁻	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003
NO ₂ ⁻	0,25	0,275	0,26	0,30	0,25
Na ⁺	0,03	0,03	0,03	0,015	0,03
Mg ²⁺	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03
Ca ²⁺	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
NH ₄ ⁺	0,62	0,78	0,82	0,98	0,68
Fe ²⁺	1,40	1,00	0,67	0,84	0,73
SiO ₂	0,61	0,585	0,53	0,50	0,53

ния железа могут присутствовать в воде в двух степенях окисления – Fe²⁺ (растворенное состояние) и Fe³⁺ (коллоидная форма). В ручье Клен содержание Fe²⁺ достигает ПДК (проба 1) и незначительно превышает его (проба 2). В ручье Алиса содержание Fe²⁺ находится в пределах нормы.

2.3. Растительность

Биогеохимическое опробование применяется для контроля загрязнения почв и грунтов и качественной оценки растительных ассоциаций в естественном и нарушенном состояниях [Olsen, 1993]. Известно, что поглощение и накопление микроэлементов растениями происходит через корневую систему из почвенно-грунтовых растворов и через листья из пыли [Груздев, 2008]. На исследуемой территории этот процесс связан в основном с первым из указанных механизмов поступления металлов. Установлено, что фоновое содержание микрокомпонентов в золе растительности ниже кларковых (табл. 4). Исключение со-

ставляют Mn, Mo, B. Фоновые значения Sr чуть ниже кларковых, но близки к ним.

Из результатов анализов следует, что на техногенном участке содержание металлов сходно с фоновым и отличается от него несколько более интенсивным накоплением. Наблюдаются также и различия. На техногенном участке повышен фон по Sr и V, но содержание Mo намного ниже фонового (см. табл. 4). Для эколого-геохимической оценки состояния хвои в табл. 4 приведены коэффициенты концентрации K_k (отношение средних по пробам концентраций элементов в хвое к их кларкам).

Для растений одним из основных показателей аккумуляции химических элементов является коэффициент биологического накопления $K_{бн}$, представляющий собой отношение содержания определенного химического элемента в золе растений к содержанию этого же элемента в питающей среде. Эта величина отражает интенсивность питания растений, в котором первостепенную роль

Таблица 4. Содержание химических элементов в золе лиственницы на месторождении “Клен”, мг/кг

Элемент	Кларки золы растений, мг/кг	Содержание элементов			K_k
		минимальное	максимальное	среднее	
<i>Техногенный участок</i>					
Fe	–	4000	30 000	8940	–
Mn	4100	8000	50 000	21 800	5,3
Ni	40	1	80	7,1	0,2
Co	10	2	5	2,5	0,3
Ti	650	80	1000	258	0,4
V	30	10	40	25	0,8
Cr	35	10	400	66	1,9
Mo	12	1	10	3,1	0,3
Zr	150	30	100	69	0,5
Cu	160	50	80	60	0,4
Pb	50	3	4	3,4	0,1
Zn	600	60	200	102	0,2
Be	–	1	1	1	–
Sr	700	400	800	582	0,8
B	500	300	1000	820	1,6
<i>Фоновый участок</i>					
Fe	–	1000	5000	3900	–
Mn	4100	10 000	40 000	20 000	4,9
Ni	40	3	5	3,6	0,1
Co	10	2	4	2,4	0,2
Ti	650	80	150	123	0,2
V	30	–	–	–	–
Cr	35	10	10	10	0,3
Mo	12	1	80	13,7	1,1
Zr	150	30	100	80	0,5
Cu	160	50	80	56	0,4
Pb	50	3	4	3,2	0,1
Zn	600	80	300	142	0,2
Be	–	–	–	–	–
Sr	700	300	600	480	0,7
B	500	500	1000	830	1,7

играют ионы. Сопоставление концентраций микроэлементов в хвое с соответствующими концентрациями в почве и грунтах показывает, что содержание Mo, Zr, Cu, Zn, Be, Sr и B в хвое на техногенном участке превышает их количество в почве и грунтах. Таким образом, для этих элементов характерны максимальные коэффициенты биологического накопления.

В качестве показателя приспособленности растительных сообществ к геохимическим условиям местности может служить зольность листьев и хвои. Чем больше зольность, тем лучше приспособлено растение к условиям территории своего произрастания [Ильин, 1977; Алексеев, 1987]. Необходимо отметить, что в данной работе рассматривается суммарная зольность, учитывающая также вклад механических частиц – пыли и аэрозолей, оседающих на поверхности хвои. Однако это обстоятельство не противоречит возможности

интерпретации комплексного загрязнения растений как индикатора состояния ландшафтов. В нашем случае на техногенном участке зольность хвои лиственницы изменяется в пределах 2,56–4,98 %. В естественных условиях растительность характеризуется меньшей зольностью.

При оценке степени химического загрязнения растительности микроэлементами использовался суммарный показатель Z_c и те же градации уровней загрязнения отдельных проб, что применяются для почв [СанПиН 2.1.7.1287-03..., 2003]:

- допустимый ($Z_c \leq 16$);
- умеренно опасный ($16 < Z_c \leq 32$);
- опасный ($32 < Z_c \leq 128$);
- чрезвычайно опасный ($Z_c > 128$).

Условность использования этих градаций заключается в том, что нормативы классов опасности для растительности не разработаны.

Анализ величин Z_c для отобранных проб показал, что в целом на рассматриваемой территории экологическое состояние растительности, оцененное по аккумуляции микроэлементов в хвое лиственницы, характеризуется минимальным уровнем загрязнения ($Z_c \leq 16$). Исключение представляет проба, отобранная на возвышенности, где планируется разработка месторождения. Суммарное загрязнение в этой пробе соответствует опасному уровню. Причина локального загрязнения хвои может быть обусловлена близким к земной поверхности расположением горных пород с высоким содержанием металлов, характерных для данного месторождения.

3. ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

С учетом полученных результатов степень техногенного воздействия геолого-разведочных работ на эколого-геохимическое состояние исследуемой территории можно оценить как незначительное. Это состояние является равновесным и сформировавшимся в местных природных условиях в течение длительного времени. При проведении строительных работ, а также при разработке месторождения будут оказываться значительно более интенсивные воздействия на почву, геологическую среду, а также на поверхностные воды, атмосферу, животный и растительный мир. Особенно заметно техногенное влияние будет сказываться на состоянии многолетних мерзлых пород.

Основное воздействие на почву и грунты связано с развитием опасных геологических процессов и, в частности, термокарста, образующегося при вытаивании подземных льдов и вызывающего просадку поверхности почвы и ее заболачивание. На пологих склонах могут развиваться термоэрозийные овраги. Техногенные изменения ландшафта при строительстве и эксплуатации хвостохранилища, отстойников, образовании карьера и отвалов усугубят эти процессы. На развитие опасных геологических процессов, а также на состояние растительного покрова окажет влияние неизбежное химическое загрязнение территории отходами производства и потребления.

Водотоки, почва и оттаивающие грунты будут загрязняться от дождевых стоков, сброса на рельеф очищенных в пруде-отстойнике карьерных вод, а также в результате осаждения взвешенных пылевых частиц, образующихся на обогатительной фабрике.

Разрабатываемым проектом обустройства месторождения предусмотрены эффективные инженерные решения по защите окружающей среды

до экологически приемлемого уровня. Тем не менее для выявления тенденций количественного и качественного изменения состояния компонентов природной среды в зоне техногенного воздействия уже на стадии строительных работ предусмотрена организация локального экологического мониторинга.

ВЫВОДЫ

Выполненная по результатам инженерно-экологических изысканий на золотосеребряном месторождении "Клен" эколого-геохимическая оценка состояния почвы, грунтов, донных отложений, поверхностных вод и растительности (хвои лиственницы) позволяет сделать следующие выводы.

1. Установлено, что почвенно-грунтовой слой характеризуется кислой или слабокислой реакцией, реже нейтральной, при значениях рН, изменяющихся в пределах 5,1–7,3. Концентрации металлов в донных отложениях заметно превышают соответствующие величины в почвах и грунтах. Наибольшие концентрации подвижных форм ионов отмечаются в почвах и грунтах на техногенном участке месторождения. На всей территории месторождения практически все аномалии катионно-анионного состава водной вытяжки проб обусловлены техногенным воздействием. Содержание металлов в почве, грунтах и донных отложениях отличается от мирового кларка почв незначительно.

2. Поверхностные воды на территории месторождения по химическому составу гидрокарбонатные, преимущественно магниево-натриево-кальциевые, со слабокислой реакцией, мягкие, ультрапресные и пресные. Их эколого-геохимическое состояние в целом удовлетворительное, уровень их загрязнения не превышает допустимого.

3. Установлено, что в целом на исследованной территории экологическое состояние растительности характеризуется минимальным уровнем загрязнения. Показано, что уровень аккумуляции микроэлементов в хвое может служить индикатором экологического состояния территории. Локальное загрязнение хвои в единственной пробе может быть обусловлено близким к земной поверхности расположением горных пород с высоким содержанием металлов, характерных для месторождения.

4. Показано, что в целом на рассматриваемой территории эколого-геохимическое состояние ландшафтных компонентов удовлетворительное.

5. Эколого-геохимическое состояние территории является равновесным и сформировавшимся в местных природных условиях за длительное время. Производство строительных работ и эксплуатация месторождения будут оказывать значительное техногенное воздействие на состояние компо-

нентов природной среды и особенно на состояние многолетних мерзлых пород.

Авторы выражают благодарность С.М. Фотиеву и Н.В. Арутюнян за ценные замечания, а также С.Н. Булдовичу за полезные дискуссии.

Литература

- Алексеев Ю.В.** Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л., Агропромиздат, 1987, 140 с.
- Брюхань А.Ф.** Индикаторы техногенного загрязнения ландшафтов промышленными предприятиями // Современные проблемы экологии: Сб. докл. на VII Всерос. науч.-техн. конф. Тула, Инновац. технологии, 2011, с. 3–8.
- Брюхань Ф.Ф., Лебедев В.В.** Оценка химического загрязнения почв, грунтов и донных отложений на золотосеребряном месторождении // Вестн. МГУС, 2012, № 5, с. 150–155.
- Геокриология СССР.** Т. IV. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Недра, 1989, 515 с.
- Груздев В.С.** Биоиндикация состояния окружающей среды. М., ГУЗ, 2008, 142 с.
- Ильин В.Б.** Элементный химический состав растений: факторы, его определяющие // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук, 1977, № 10, вып. 2, с. 3–14.
- Михайлов В.М.** Разнообразие таликов речных долин и их систематизация // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 3, с. 43–51.
- Никаноров А.М.** Гидрохимия. СПб., Гидрометеиздат, 2001, 447 с.
- Овчинников А.М.** Гидрогеохимия. М., Недра, 1970, 198 с.
- Орлов Д.С.** Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. М., Высш. шк., 2005, 558 с.
- Перечень** рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М., ВНИРО, 1999, 43 с.
- Романовский Н.Н.** Подземные воды криолитозоны. М., Изд-во Моск. ун-та, 1983, 232 с.
- СанПиН 2.1.7.1287-03.** Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М., Минздрав России, 2003, 32 с.
- СНиП 11-02-96.** Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М., Минстрой России, 1997, 44 с.
- СП 11-102-97.** Инженерно-экологические изыскания для строительства. М., ПНИИИС, 1997, 41 с.
- Фотиев С.М.** Гидрогеотермические особенности криогенной области СССР. М., Наука, 1978, 236 с.
- Шерстюков А.Б.** Корреляция температуры почвогрунтов с температурой воздуха и высотой снежного покрова на территории России // Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 1, с. 79–87.
- Bowen H.J.M.** Environmental Chemistry of the Elements. N.Y., Academic Press, 1979, 333 p.
- Olsen S.R.** Metals and the environment. Micronutrient interactions in Agriculture: Report / Swedish Environ. Protect. Agency, No. 197. Stockholm, 1993, 78 p.
- Sherstiukov A.B.** Impact of modern climate changes on soil condition and stability of structures in the permafrost zone of Russia // Climate Research in Service to Society. WCRP Open Sci. Conf. Denver CO, USA, 2011, p. 64–71.

Поступила в редакцию
23 апреля 2012 г.