

УДК 504.4

Ф.Ф. Брюхань, В.В. Лебедев*

*ООО НПО «Гидротехпроект», *ООО «Региональная горнорудная компания»*

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ, ГРУНТОВ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ «КЛЕН»

С начала производства геологоразведочных работ в 1984 г. до последних лет произведено значительное техногенное воздействие на ранее ненарушенную территорию золото-серебряного месторождения «Клен» (Чукотский автономный округ). Для экологического обоснования строительства объектов месторождения в настоящее время выполняются инженерно-экологические изыскания.

Настоящая работа выполнена на основе результатов полевого отбора проб, проведенного ЗАО «Сибгеоконсалтинг» (г. Красноярск), и лабораторных исследований, выполненных в ФГУПП «Урангеологоразведка» (г. Иркутск) и ОАО «Красноярскгеология» (г. Красноярск). Анализ химического загрязнения почв, грунтов и донных отложений основан на исследовании 30 проб.

Выявлены особенности содержания химических элементов в пробах почвы, грунтов и донных отложений, отобранных на территории месторождения. Установлено, что в целом на исследованной территории уровень содержания металлов в почвах, грунтах и донных отложениях отличается от мирового кларка почв незначительно.

Ключевые слова: золото-серебряное месторождение, инженерные изыскания, инженерно-экологические изыскания, почва, грунт, донные отложения, природная среда, кларк.

В настоящее время проводятся предпроектные и проектные работы по обустройству золото-серебряного месторождения «Клен» (Билибинский район Чукотского автономного округа). В рамках предпроектных работ выполняются инженерно-изыскательские работы по изучению природных условий территории месторождения, включающие в себя инженерно-экологические изыскания, которые проводятся с 2011 г. Завершение инженерно-экологических изысканий планируется в 2012 г.

Месторождение «Клен» находится между ручьями Клен и Алиса — левых притоков ручья Раковского, протекающего в бассейне р. Кричальской на левобережье р. Большой Анной. Площадь месторождения составляет около 1,5 км². Его местоположение представлено на рис. 1. Расстояние от месторождения до г. Билибино по прямой составляет около 250 км. Ближайшие населенные пункты — поселки Мандриково и Дальний (в настоящее время заброшенные) — находятся на расстояниях 86 и 50 км по прямой соответственно. Балансовые запасы золота оцениваются в 18,7 т, серебра — в 43,8 т. Добыча этих металлов предусматривает переработку около 3 млн т руды. Месторождение предполагается эксплуатировать в течение 10 лет.



Рис. 1. Местоположение месторождения «Клен» на обзорной карте Чукотского автономного округа

На ранее ненарушенную территорию месторождения техногенное воздействие, обусловленное геологоразведочными работами, стало производиться с 1984 г. С начала производства геологоразведочных работ до последних лет выполнен значительный объем работ по бурению скважин, проходке разведочных выработок, прокладке подъездных путей для автотранспорта, буровой и дорожной техники, обустройству временной жилой инфраструктуры. О масштабах физического объема работ можно судить по количеству сожженного дизельного топлива для работы техники, которое превышает 600 т. Очевидно, что указанные работы вызвали существенное загрязнение территории.

В связи с техногенным воздействием на территорию месторождения происходят геохимические изменения в почвах и грунтах. Негативное воздействие на них происходит на всех стадиях техногенной деятельности, начиная с поисково-разведочного бурения скважин и проходки канав. Исследование химического состава почв, грунтов и донных отложений обусловлено необходимостью разработки природоохранных мероприятий в рамках проектных работ, а также потребностью в исходных данных для количественной оценки загрязнения компонентов природной среды в процессе эксплуатации месторождения. Особую озабоченность вызывает возможное загрязнение почв и грунтов тяжелыми металлами, в частности, Pb, Cu, Co, Cr, Zn, Sr.

1. *Исходные данные.* Настоящая работа выполнена на основе результатов полевого отбора проб, проведенного ЗАО «Сибгеоконсалтинг» (г. Красноярск) и лабораторных исследований, выполненных аккредитованными лабораториями ФГУПП «Урангеологоразведка» (г. Иркутск) и ОАО «Красноярскгеология» (г. Красноярск). Инженерно-экологические изыскания на месторождении выполняются согласно требованиям СНиП 11-02—96 [1] и СП 11-102—97 [2].

Отбор проб для изучения эколого-геохимического состояния ненарушенных ландшафтов и участков техногенного нарушения проводился в августе 2011 г. в пределах лицензионной территории 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. Пробы донных отложений отбирались из двух ближайших ручьев Клен и Алиса.

Материал проб представлен супесью с примесью торфа от 5 до 30 %. Всего в процессе полевых работ было отобрано 26 смешанных проб почвы и грунтов и 4 пробы донных отложений. Схема точек отбора проб приведена на рис. 2.

2. *Результаты.* Для эколого-геохимической оценки состояния почв, грунтов и донных отложений на территории месторождения и фоновых показателей загрязнения в настоящей работе проведено сравнение результатов лабораторных анализов с кларками почв мира по Боуэну [3, 4]. 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 отобранным пробам приведены в табл. 1.

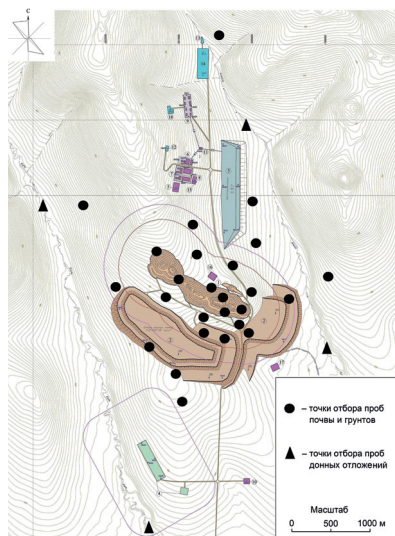


Рис. 2. Схема точек отбора смешанных проб почвы, грунтов и донных отложений

Табл. 1. Средние значения характеристик загрязнения почв, грунтов и донных отложений месторождения «Клен»

Элементы	Кларки почв, мг/кг	Почвы и грунты				Донные отложения	
		Техногенные участки		Фоновые участки			
		Средн., мг/кг	K_k	Средн., мг/кг	K_k	Средн., мг/кг	K_k
Fe	40000	40625	1	40000	1	42500	1,1
Mn	1000	412,5	0,4	450	0,5	975	1
Ni	50	32,5	0,7	35	0,7	42,5	0,9
Co	8	18,4	2,3	17	2,1	37,5	4,7
Ti	5000	2875	0,6	3100	0,6	4000	0,8
V	90	90	1	80	0,9	100	1,1
Cr	70	80	1,1	78	1,1	125	1,8
W	—	—	—	5	—	5	—
Mo	—	3,9	—	4	—	5,5	—
Zr	—	140,6	—	175	—	200	—
Nb	—	—	—	10	—	—	—
Cu	30	44,4	1,5	38	1,3	55	1,8
Pb	12	22,2	1,8	29	2,4	32,5	2,7
Sb	—	26,7	—	—	—	—	—
Bi	—	1,5	—	1	—	1	—
Cd	—	—	—	10	—	—	—
Ag	—	0,2	—	0,1	—	0,095	—
Zn	90	123,8	1,4	153	1,7	200	2,2
Sn	—	4,2	—	4,7	—	4,3	—
Be	—	1,8	—	2	—	2	—
Sc	—	5	—	5	—	5,8	—
Ga	—	20,9	—	20	—	27,5	—
P	—	656,3	—	660	—	850	—
Sr	250	337,5	1,4	370	1,5	550	2,2
B	—	325	—	240	—	200	—

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

Иная закономерность отмечается для химических элементов, содержащихся в донных отложениях. Аккумулируя вещества, поступающие с бассейнов водных объектов в течение длительного времени, донные отложения являются индикатором экологического состояния территорий [5]. Химический состав поверхностных вод, а следовательно, и донных отложений, определяется вымыванием химических веществ дождевыми и талыми водами из почв и грунтов. При этом наблюдается эффект возрастания концентраций в донных отложениях в сравнении с соответствующими концентрациями в почвах и 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, аккумулированных 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 выполненного анализа установлено, что уровень содержания металлов в почвах, грунтах и донных отложениях месторождения «Клен» отличается от мирового кларка почв незначительно. Наиболее интенсивное накопление металлов происходит 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. Серьезное влияние на условия миграции веществ вносит также многолетняя мерзлота. С одной стороны, она резко ослабляет все биогеохимические и биологические процессы. С другой стороны, под влиянием мерзлотных 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 приведены в табл. 2.

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

Значения	Удельная электропроводность, мкСм/см	рН	Анионы, мг/кг				Катионы, мг/кг	
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Почвы и грунты техногенных участков								
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
Почвы и грунты фоновых участков								
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
Донные отложения								
Минимальное	41,	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

Наибольшие концентрации подвижных форм ионов отмечаются на техногенном участке месторождения. В донных отложениях накопление ионов увеличивается в сравнении с фоновыми пробами почвы и грунтов, и особенно заметно это выражено в содержании гидрокарбонатов.

Почвенно-грунтовый слой характеризуется кислой или слабокислой реакцией, реже нейтральной при значениях рН, находящихся в пределах 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 отмечаются более высокие значения рН.

Удельная электропроводность почвенного раствора достаточно изменчива в границах территории месторождения и варьируется в пределах от 27,6 до 215,6 мкС/см. На фоне невысоких значений удельной электропроводности отмечаются проводимости более 200 мкС/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). Наибольшее содержание сульфатов отмечается на техногенной территории, значения колеблются от 175 до 263 мг/кг. Общее распределение хлоридов

на различных участках достаточно изменчиво, его значения изменяются в пределах 17,7...28,4 мг/кг.

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

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

Заключение. 1. По результатам инженерно-экологических изысканий на золото-серебряном месторождении «Клен» выполнена эколого-геохимическая оценка состояния почв, грунтов и донных отложений.

2. Установлено, что почвенно-грунтовый слой характеризуется кислой или слабобокислой реакцией, реже нейтральной при значениях pH, находящихся в пределах от 5,1 до 7,3. Концентрации металлов в донных отложениях заметно превышают соответствующие концентрации 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.

3. В целом на исследованной территории уровень содержания металлов в почвах, грунтах и донных отложениях отличается от мирового кларка почв незначительно.

Библиографический список

1. СНиП 11-02—96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М., Минстрой России, 1997. 44 с.
2. СП 11-102—97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М. : ПНИИИС, 1997. 41 с.
3. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М. : Высш. шк., 2005, 558 с.
4. Bowen H.J.M. Environmental Chemistry of the Elements. New York, Academic Press, 1979. 333 pp.
5. Брюхань А.Ф. Индикаторы техногенного загрязнения ландшафтов промышленными предприятиями // Сб. докл. на VII Всеросс. науч.-техн. конф. «Современные проблемы экологии». Тула, 2010. С. 3—8.

Поступила в редакцию в апреле 2012 г.

Об авторах: **Брюхань Федор Федорович** — доктор физико-математических наук, главный инженер, **ООО Научно-производственное объединение «Гидротехпроект» (ООО НПО «Гидротехпроект»)**, 175400, Новгородская обл., г. Валдай, ул. Октябрьская, д. 55-а, +7(495)922-83-19, pniiis-gip@mail.ru;

Лебедев Виктор Вадимович — руководитель проекта, **ООО «Региональная горнорудная компания»**, 115035, г. Москва, ул. Садовническая, д. 4, стр. 1, +7 (495) 777-31-04, v.lebedev@mcgold.ru.

Для цитирования: Брюхань Ф.Ф., Лебедев В.В. Оценка химического загрязнения почв, грунтов и донных отложений на золото-серебряном месторождении «Клен» // Вестник МГСУ. 2012. № 5. С. 150—155.

F.F. Bryukhan', V.V. Lebedev

ASSESSMENT OF THE CHEMICAL POLLUTION OF THE SOIL, GROUND AND BOTTOM SEDIMENTS AT KLEN GOLD AND SILVER DEPOSIT

Currently, prospecting and design-related works are performed prior to the upcoming launch of mining operations at Klen gold and silver deposit in Chukot Autonomous District. The anthropogenic impact of the geological exploration in this intact territory has been produced since 1984. A considerable amount of borehole drilling, prospecting, road building, and temporary housing development has been performed. The engineering research, including ecological surveys, has been completed

to assess the ecological impact of upcoming exploratory and mining operations at the deposit. Assessment of the geochemical condition of the landscape constituents, including the soil, ground and bottom sediments is of special importance in terms of their engineering protection and rational management of the natural environment.

The above assessments were based on the field sampling made by «Sibgeoconsulting», CJSC (Krasnoyarsk) and the laboratory research made by accredited laboratories of Federal State Unitary Geological Enterprise «Urangolograzvedka» (Irkutsk) and «Krasnoyarskgeologiya» (Krasnoyarsk). The analysis of the chemical pollution of soils, ground and bottom sediments is based on the examination of 30 samples.

Peculiarities of the chemical composition of samples extracted at the deposit were identified. It has been discovered that pH values of the soil vary from 5.1 to 7.3. The concentration of metal in bottom sediments exceeds its concentration in the soil by far. Almost all irregular features of the sample water in the whole territory of the deposit are caused by the anthropogenic impact. In general, the metal content in soils, ground and bottom sediments within the territory of the deposit is slightly different from the regular clarke.

Key words: gold and silver deposit, engineering research, engineering and ecological surveys, soil, ground, environment, clarke.

References

1. SNiP 11-02—96. *Inzhenernyye izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnye polozheniya* [Construction Norms and Rules 11-02—96. Engineering Surveying for Construction Purposes. Basic Provisions]. Moscow, Ministry of Construction of the Russian Federation, 1997, 44 p.
2. SP 11-102—97. *Inzhenerno-ekologicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva* [Construction Rules 11-102—97. Engineering and Environmental Surveying for Construction]. Moscow, PNIIS [Production, Scientific and Research Institute of Engineering Surveys in Construction], 1997, 41 p.
3. Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Suhanova N.I. *Himiya pochv* [Soil Chemistry]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2005, 558 p.
4. Bowen H.J.M. *Environmental Chemistry of the Elements*. New York, Academic Press, 1979, 333 p.
5. Bryukhan' A.F. *Indikator tekhnogenogo zagryazneniya landshaftov promyshlennymi predpriyatiyami* [Indicators of Industrial Pollution of Landscapes by Industrial Enterprises]. Proceedings of the 7th All-Russian Scientific Conference «Modern Problems of Ecology». Tula, 2010, pp. 3—8.

About the authors: **Bryukhan' Fedor Fedorovich** — Doctor of Physics and Mathematics, Chief Engineer, **Gidrotehproekt Scientific and Production Association**, 55-a Oktyabr'skaya Str., Valday City, Novgorod Region, 175400, Russian Federation; pniis-gip@mail.ru; +7 (495) 922-83-19;

Lebedev Viktor Vadimovich — project manager, **Regional'naya Gornorudnaya Kompaniya Open Joint Stock Company**, Building 1, 4 Sadovnicheskaya St., Moscow, 115035, Russian Federation; v.lebedev@rmcgold.ru; +7 (495) 777-31-04.

For citation: Bryukhan' F.F., Lebedev V.V. Otsenka khimicheskogo zagryazneniya pochv, grunтов i donnykh otlozheniy na zoloto-serebryanom mestorozhdenii «Klen» [Assessment of the Chemical Pollution of the Soil, Ground and Bottom Sediments at Klen Gold and Silver Deposit]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2012, no. 5, pp. 150—155.