

ЭКОЛОГИЯ

УДК 631.4

И.А. Архипов, Ю.В. Робертус
I.A. Arkhipov, Yu.V. Robertus

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ РАЙОНОВ ЕСТЕСТВЕННЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ (НА ПРИМЕРЕ КАРАКУЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛОВ)

TRACE ELEMENTS DISTRIBUTION IN SOILS OF THE AREAS OF NATURAL GEOCHEMICAL ANOMALIES (CASE STUDY OF THE KARAKUL COMPLEX ORE DEPOSIT)

Ключевые слова: месторождение, микроэлементы, почвы, токсичность, распределение, литохимические аномалии, экологический ущерб, потенциальная токсичность.

Изучен уровень содержания микроэлементов в горно-промышленных ландшафтах юго-восточного Алтая. Произведен сравнительный анализ содержания микроэлементов в объектах окружающей природной среды. Рассчитаны некоторые показатели токсичности Каракульского месторождения полиметаллов. Сегодня последствия ухудшения состояния почв уже выражаются в целом ряде региональных и местных экологических проблем, связанных с состоянием атмосферы, гидросферы, биоразнообразия и здоровья людей. Показаны предварительно изученные аспекты воздействия на окружающую среду со стороны месторождения полиметаллических руд «Каракуль», расположенного в Юго-Восточном Алтае. Объектами исследования являются почвы и техноземы в районе собственно месторождения и прилегающей к нему территории. Ранними работами был выделен ряд вторичных ореолов (литохимических аномалий) рассеяния свинца (по изоконцентрате 70 мг/кг), висмута (2 мг/кг), кобальта (30 мг/кг), которые отчетливо оконтурили (в первую очередь, кобальт) положение на местности основных рудных зон Каракульского месторождения – Западной, Восточной и Северо-Восточной. Проявленные на площади лицензионного участка особенности пространственного распределения тяжелых металлов и характер их корреляционных связей свидетельствуют о наличии по крайней мере трех ассоциаций рудных и сопутствующих им тяжелых металлов, одна из которых представлена свинцом и цинком, вторая – висмутом, мышьяком, медью и кобальтом, третья – всеми вышеотмеченными элементами. На основании проведенного расчета и особенностей пространственного распределения микроэлементов был произведен подсчет потенциальной токсичности рудного месторождения. В результате наших исследований выявлено значительно повышенное содержание свинца, мышьяка и цинка в почвах

лицензионного участка, что позволяет ориентировочно оценить его площадь с изначально неблагоприятной эколого-гигиенической ситуацией в плане «тяжелометалльного загрязнения» почв, которая может составлять до 40% его площади, или 1,85 км². Представляется необходимым разработка природоохранных мероприятий, как предотвращающих экологический ущерб, так и реабилитационных.

Keywords: deposit, trace elements, soils, toxicity, distribution, lithochemical anomalies, ecological damage, potential toxicity.

Trace element concentration levels in the mining landscapes of the south-eastern Altai were investigated. Comparative analysis of trace elements content in the natural objects was performed. Some toxicity indices of the Karakul complex ore deposit were estimated. Currently, soils deterioration has brought to a number of regional and local environmental problems related to the state of the atmosphere, hydrosphere, biodiversity, and human health. This paper presents the pre-studied aspects of the impact of the Karakul complex ore deposit (south-eastern Altai) on the environment. The research targets are natural and technogeneous soils of the Karakul complex ore deposit including the adjacent territories. Previously, we identified the secondary dispersion haloes (lithochemical anomalies) of lead (70 mg kg), bismuth (2 mg kg) and cobalt (30 mg kg) which clearly contoured, especially cobalt, the position of main ore zones (i.e. Western, Eastern and North-Eastern) of the Karakul deposit. The peculiarities of spatial distribution of heavy metals and the nature of their correlations manifested on the licensed site (LS) indicate the presence of at least three ore associations and accompanying heavy metals, one of which is represented by lead and zinc, the second – by bismuth, arsenic, copper and cobalt, and the third – by all mentioned elements. The potential toxicity of the complex ore was defined due to calculations and spatial distribution of trace elements. The studies made it possible to detect significantly increased

levels of lead, arsenic and zinc in LS soils and thus to consider the ecological-hygienic situation there as adverse one, because the soil contamination by heavy metals reaches

40% of its area (1.85 km²). It is strongly advised to develop measures of environment protection aimed at ecological damage prevention and rehabilitation of the environment.

Архипов Игорь Александрович, к.г.н., с.н.с., лаб. био-геохимии, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. Тел.: (3852) 24-39-27. E-mail: arhipov@iwep.ru.

Робертус Юрий Владимирович, к.г.м.н., директор, Алтайский региональный институт экологии, с. Майма, Республика Алтай. Тел.: (38844) 22-9-90. E-mail: ariecologia@smtpru.

Arkhipov Igor Aleksandrovich, Cand. Geo. Sci., Senior Staff Scientist, Biochemistry Lab., Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. Ph.: (3852) 24-39-27. E-mail: arhipov@iwep.asu.ru.

Robertus Yuriy Vladimirovich, Cand. Geo.-Min. Sci., Director, Altai Regional Institute for Ecology, Mayma, Republic of Altai. Ph.: (38844) 22-9-90. E-mail: ariecologia@smtpru.

Введение

Возрастающие масштабы антропогенной нагрузки обуславливают необходимость учета и прогнозирования изменений в окружающей среде, оценки возможностей сбалансированного развития экосистем и почвы, в значительной мере определяющих ресурсный потенциал биосферы. Сегодня последствия ухудшения состояния почв уже выражаются в целом ряде региональных и местных экологических проблем, связанных с состоянием атмосферы, гидросферы, биоразнообразием и здоровья людей. Показаны предварительно изученные аспекты воздействия на окружающую среду со стороны месторождения полиметаллических руд «Каракуль», расположенного в Юго-Восточном Алтае.

Цель – оценить эколого-биогеохимическую обстановку в районах горнодобывающего и перерабатывающего производства.

Задачи:

- проведение наблюдений с определенным пространственно-временным разрешением за концентрациями экотоксикантов в объектах окружающей среды на площади геохимической аномалии;

- прогнозная оценка экологического состояния природной среды, выявление тенденций ее изменения, разработка рекомендаций по снижению загрязнения объектов окружающей среды.

Объект исследования

Объектом исследования является территория месторождения полиметаллических руд «Каракуль», расположенного в Юго-Восточном Алтае. Для исследуемой территории характерен гравитационно-экзарационный высокогорный альпийский рельеф и экзарационно-нивальный, ледниковый аккумулятивный рельеф. Основные площади хребтов с альпийским рельефом представляют районы с преобладанием выходов на поверхность скальных пород палеозоя. В глубоких

врезах и карах ограниченные по площади участки заняты отложениями ледниковой формации [1].

Методы и предмет исследований

Объектами исследования являются: почвы и техноземы в районе собственно месторождения и прилегающей к нему территории. Содержание растворённой формы микроэлементов в пробах воды определяли в соответствии с ПНДФ 14.1:2:4.140-98, методом ААС (с предварительным окислением проб HNO₃) в Аналитическом Центре ИВЭП СО РАН. Пробы почв отбирали в виде шурфов сечением 10x10 см с глубиной 0-10 см (рис.). Почвенные разрезы и прикопки закладывали в пределах трех ландшафтно-геохимических профилей, соответствующих ландшафтному разнообразию территории исследования. В дальнейшем пробы почв высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с диаметром 1 мм. Пробы почв на содержание микроэлементов проанализированы в ОИГГ СО РАН (г. Новосибирск).

Для уточнения состояния почвенного покрова лицензионного участка силами ИВЭП СО РАН в 2007 г. проведен отбор 33 почвенных проб, из которых 16 было отобрано на площади Каракульского месторождения.

Исходные характеристики и параметры типов почв были определены на основе сбора, обобщения и анализа полевых материалов согласно п. 4.15 «Свода правил № 9-1-1/69 СП 1-102-97». Размещение точек опробования производили от ожидаемой и подтвердившейся структуры полей загрязнения и геологического строения территории. Опробовали почв в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 с учетом вертикальной структуры, неоднородности почвенного покрова и рельефа местности. Для получения сравнительных результатов пробы фоновых и загрязненных почв отбирали в идентичных естественных условиях.

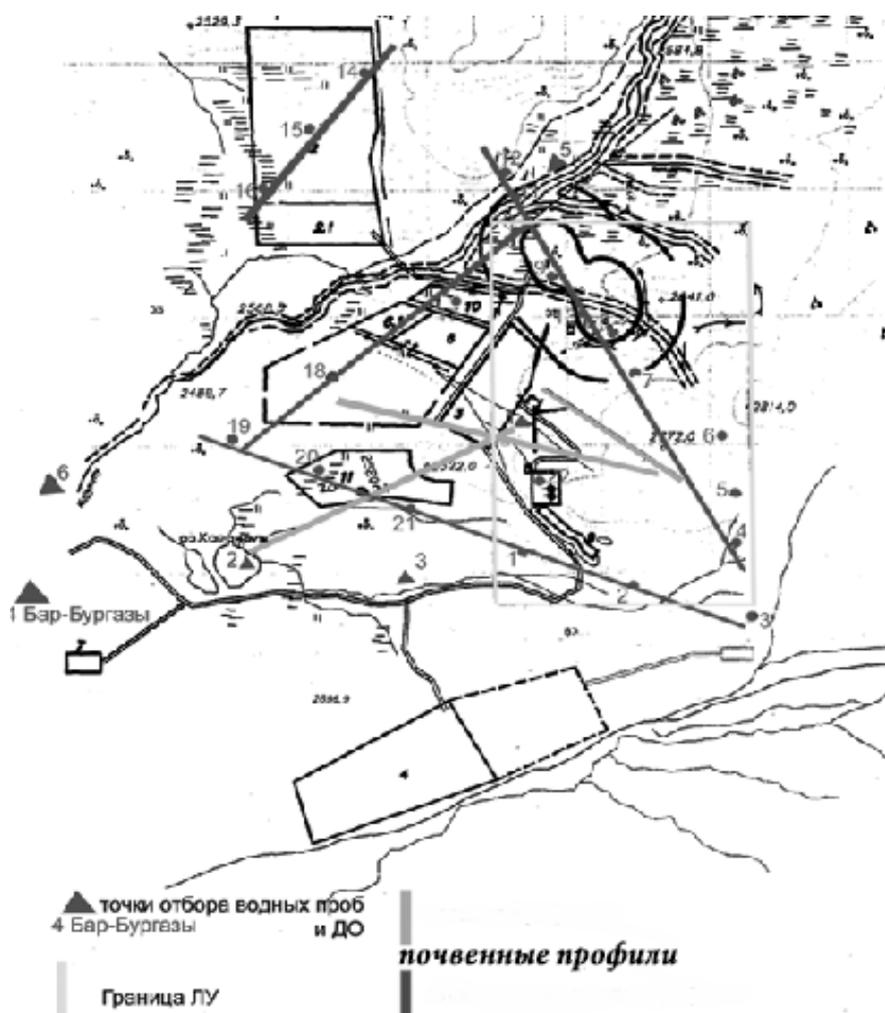


Рис. Точки пробоотбора

Результаты и их обсуждение

Почвенный покров, являющийся индикатором загрязнения окружающей природной среды, предварительно изучен на присутствие комплекса тяжелых металлов и других микроэлементов. Формирование почв происходит на элювии и элювио-делювии коренных пород, представленных гранитами, гнейсами, порфиритами, серпентинитами, хлоритовыми и биотитовыми сланцами, песчаниками, а также на плохо отсортированных рыхлых отложениях, преимущественно ледникового происхождения [2]. Сложное сочетание различных факторов почвообразования обуславливает распространение разнообразных по строению, составам и свойствам почв – от примитивных пятнистых мохово-лишайниковых почвенных образований до имеющих достаточно развитый профиль горно-тундровых, горно-луговых альпийских, горно-луговых субальпийских и горно-лугово-степных почв.

Микроэлементы в почвах. В предшествующий период геологического изучения Юго-Восточного Алтая в процессе различных по мас-

штабу и направленности геологоразведочных работ район лицензионного участка неоднократно покрывался геохимическими съемками. В результате этих работ был выделен ряд вторичных ореолов (литохимических аномалий) рассеяния свинца (по изоконцентрате 70 мг/кг), висмута (2 мг/кг), кобальта (30 мг/кг), которые отчетливо оконтурили (в первую очередь, кобальт) положение на местности основных рудных зон Каракульского месторождения – Западной, Восточной и Северо-Восточной [3].

В результате наших исследований выявлено значительно повышенное содержание свинца, мышьяка и цинка в почвах лицензионного участка, что позволяет ориентировочно оценить его площадь с изначально неблагоприятной экологической ситуацией в плане «тяжелометалльного загрязнения» почв, которая может составлять до 40% его площади, или 1,85 км². Это свидетельствует как о достоверности полученных ИВЭП аналитических данных, так и возможности их сопоставления с ранее выделенными геохимическими аномалиями.

Параметры распределения проанализированных ТМ заметно различаются. Так, на «безрудной» (фоновой) части лицензионного участка основная часть ТМ, кроме висмута, характеризуется слабоконтрастным однородным распределением ($V < 30-50\%$) (табл. 1).

Напротив, для «рудной» выборки характерен повышенный, зачастую аномально высокий уровень присутствия большинства ТМ, распределение которых, за исключением никеля, цинка и бериллия, является весьма неравномерно ($V > 100\%$), что является характерным признаком литохимических аномалий над зонами оруденения [4, 5]. Средние и максимальные концентрации свинца, меди, никеля, цинка, мышьяка, частично кобальта в «рудной» выборке выше их ПДК в почвах (табл. 2).

Вышеотмеченные различия в распределении изученных ТМ в пределах Каракульского лицензионного участка и на смежной с ним площади подтверждаются существенными отличиями в характере их корреляционных связей. В частно-

сти, в пробах, взятых в пределах лицензионного участка, значительно больше значимых корреляционных связей и их уровень выше, чем на «безрудной» площади. Кроме того, характер связей в этих выборках совершенно разный, что указывает на различие формирующих их физико-химических процессов (табл. 3).

Анализ распределения ТМ на "безрудной" площади позволил установить уровень их местного фона, с учетом которого по известным формулам были рассчитаны минимальное (C_{amin}) и максимальное (C_{amax}) аномальные содержания ТМ. Их сопоставление с ранее рассчитанными [3] (Алтайская Геллогическая Экспедиция, 1987) показывает, что они сопоставимы между собой, кроме завышенного содержания для серебра и несколько заниженного – для висмута. На основании проведенного расчета и особенностей пространственного распределения элементов нами были предложены концентрации ТМ для выделения их вторичных литохимических аномалий (ореолов рассеяния) (табл. 4).

Таблица 1

Параметры распределения ТМ (мг/кг) в пробах почве на «безрудной» части района Каракульского лицензионного участка

Параметры	Ag	Bi	Pb	Cu	Co	Ni	Zn	As	Be
n	16	16	16	16	16	16	16	16	16
min	0,07	< 0,5	19	22	6,8	38	127	1,7	1,4
max	0,45	7,8	77	85	17	55	290	11	2
\bar{X}	0,2	1,0	41	37	12	45	195	5,7	1,7
σ	0,13	1,9	14,4	18,1	2,8	4,1	42,3	2,9	0,18
V, %	65	186	35	49	24	9	22	51	10

Таблица 2

Параметры распределения ТМ (мг/кг) в пробах почве на «рудной» части Каракульского лицензионного участка

Параметры	Ag	Bi	Pb	Cu	Co	Ni	Zn	As	Be
n	17	17	17	17	17	17	17	18	17
min	0,11	0,25	37	24	14	41	170	7,1	1,7
max	1,65	700	1320	476	202	85	630	6060	6,2
\bar{X}	0,5	50	275	104	33	51	337	397	2,5
σ	0,4	168	386	125	44	10	150	1414	1,1
V, %	80	334	140	119	131	19	45	356	43
ПДК	–	–	100	100	50	50	300	20	10

Таблица 3
Значимые корреляционные связи ТМ в пробах почв Каракульского лицензионного участка ($p=0,01$)

Ag	Bi	Pb	Cu	Co	Ni	Zn	As	Be	Элементы
1,0	-/-	-/-	0,76/0,64	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	Ag
	1,0	-/-	0,77/ -	0,74/ -	-/-	-/-	0,81/ -	-/-	Bi
		1,0	-/-	- /0,82	-/-	0,85/ -	0,64/ -	-/-	Pb
			1,0	0,80/-	-/-	-/-	-/-	0,75/ -	Cu
				1,0	-/-	-/-	0,66/ -	0,78/ -	Co
					1,0	0,61/ -	-/-	- /0,89	Ni
						1,0	-/-	-/-	Zn
							1,0	-/-	As
								1,0	Be

Примечание. Слева в дроби коэффициенты корреляции ТМ в почвах «рудной» части ЛУ, справа – в «безрудной» части.

Таблица 4
Оценка аномальности распределения ТМ в почвах на площади Каракульского лицензионного участка

Параметры	Ag	Bi	Pb	Cu	Co	Ni	Zn	As	Be
Местный фон	0,1	< 0,5	25	23	9	40	170	4	1,5
\bar{X} , мг/кг	0,43	43	239	86	29	48	312	341	2,4
\bar{X} , ед. фона	4,3	> 100	9,6	3,7	3,2	1,2	1,8	85,2	1,6
$C_{a\min}$	0,32	3	55	55	14	49	238	8,6	1,9
$C_{a\max}$	0,6	6,8	84	91	20	58	322	14	2,2
C_a (АГЭ, 1987)	2	2	70	-	30	-	-	-	-
C_a (ИВЭП, 2008)	0,4	2	80	60	20	50	300	20	-
C_{\max} , мг/кг	1,65	700	1320	476	202	85	630	6060	6,2
C_{\max} , ед. ПДК	-	-	13,2	4,8	4,0	1,7	2,1	303	0,6
\bar{X} , ед. ПДК	-	-	2,4	0,9	0,6	1,0	1,0	17,0	0,2

Примечание: Жирный шрифт – содержание ≥ 1 ПДК (фона), светлый тон ≥ 3 ПДК (фона), темный – ≥ 10 ПДК (фона).

Необходимо отметить, что на западном, северном и южном флангах лицензионного участка вышеотмеченные ореолы отчетливо выклиниваются из-за повышенной мощности перекрывающего чехла пролювиально-делювиальных отложений.

Откартированные на площади лицензионного участка (по полученным ИВЭП данным) литохимические аномалии ряда ТМ, профилирующих для руд Каракульского месторождения (кобальт, медь, висмут, свинец и др.), оконтурили одну и ту же площадку в центральной части ЛУ, отвечающую Западной рудной зоне месторождения. Проявленные на площади ЛУ особенности простран-

ственного распределения ТМ и характер их корреляционных связей свидетельствуют о наличии по крайней мере трех ассоциаций рудных и сопутствующих им ТМ, одна из которых представлена свинцом и цинком, вторая – висмутом, мышьяком, медью и кобальтом, третья – всеми вышеотмеченными элементами. Анализ геохимических особенностей рудовмещающих отложений и полиметаллических руд месторождения позволяет предполагать, что первая ассоциация ТМ характерна для вмещающих пород, вторая – для наложенного оруденения.

На основании проведенного расчета и особенностей пространственного распределения микро-

элементов был произведен подсчет потенциальной токсичности рудного месторождения. Имея уточненные экотоксикологические показатели элементов Тл для объектов геологической среды и геохимический показатель Кк, устанавливается экогеохимическое значение любого объекта, для которого известен химический состав [6]. Этот прием был использован нами для экспресс-оценки потенциальной токсичности Каракульского месторождения:

$$ГЭр = \sum (Тл \times Кк)_1 + + (Тл \times Кк)_n,$$

где ГЭр – потенциальная токсичность месторождения;

Тл – Коэффициент литотоксичности элемента;

Кк – Кларк концентрации элемента;

n – количество исследованных химических элементов.

В результате подсчета получили величину ГЭр = 1815, что соответствует $n^3 - n^4$ и относится к объектам с высокой потенциальной опасностью [7]. Концентрации изученных элементов в пределах выделенных вторичных геохимических аномалий заметно превышают ПДК почв. В связи с неполнотой имеющихся фактических данных, формах содержания микроэлементов, а также с особенностями их распространения в ведущих депонирующих средах данные оценки должны рассматриваться как предварительные. Недостаточность статистического материала не позволяет в настоящее время основательно рассчитать все показатели токсичности месторождения. Представляется необходимым разработка природоохранных мероприятий, как предотвращающих экологический ущерб, так и реабилитационных.

Библиографический список

1. Девяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая // Труды ГИН АН СССР. – 1965. – Вып. 126. – 189 с.
2. Почвы Горно-Алтайской автономной области / под ред. Р.В. Ковалева. – Новосибирск: Наука, 1973. – 352 с.

3. Робертус Ю.В., Кац В.Е. Экологическое состояние геологической среды Республики Алтай // Минерально-сырьевая база Республики Алтай: состояние и перспективы развития. – Горно-Алтайск: РИО «Универ-Принт», 1998. – С. 120-122.

4. Blowes D.W., Jambor J.L. The pore water geochemistry and the mineralogy of the vadoze zone of sulphide tailings, Waite Amulet, Quebec, Canada // Applied Geochemistry. – 1990. – Vol. 5. – P. 327-346.

5. Blowes D.W., Reardon E.J., Jambor J.L., et al. The formation and potential importance of cemented layers in inactive sulphide mine tailings // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1991. – Vol. 55. – P. 965-978.

6. Голева Р.В., Иванов В.В. Экологическая оценка потенциальной токсичности рудных месторождений. – М., 2001. – 53 с.

7. Иванов В.В. О понятии «экологическая минералогия» и методах прогноза токсикологической опасности минералов // Минералогические исследования в решении экологических проблем. – М., 1998. С. 5-15.

References

1. Devyatkin E.V. Kaynozoyские otlozheniya i neotektonika Yugo-Vostochnogo Altaya // Trudy GIN AN SSSR. – Вып. 126. – 1965. – 189 s.
2. Pochvy Gorno-Altayskoy avtonomnoy oblasti / pod red. R.V. Kovaleva. – Novosibirsk: Nauka, 1973. – 352 s.
3. Robertus Yu.V., Kats V.E. Ekologicheskoe sostoyanie geologicheskoy sredy Respubliki Altay // Mineralno-syrevaya baza Respubliki Altay: sostoyanie i perspektivy razvitiya. – Gorno-Altaysk: RIO «Univer-Print», 1998. – S. 120-122.
4. Blowes D.W., Jambor J.L. The pore water geochemistry and the mineralogy of the vadoze zone of sulphide tailings, Waite Amulet, Quebec, Canada // Applied Geochemistry. – 1990. – Vol. 5. – P. 327-346.
5. Blowes D.W., Reardon E.J., Jambor J.L., et al. The formation and potential importance of cemented layers in inactive sulphide mine tailings // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1991. – Vol. 55. – P. 965-978.
6. Goleva R.V., Ivanov V.V. Ekologicheskaya otsenka potentsialnoy toksichnosti rudnykh mestorozhdeniy. – М., 2001. – 53 s.
7. Ivanov V.V. O ponyatii “ekologicheskaya mineralogiya” i metodakh prognoza toksikologicheskoy opasnosti mineralov // Mineralogicheskie issledovaniya v reshenii ekologicheskikh problem. – М., 1998. – S. 5-15.

