

Раздел 4

ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

Section 4

ECOLOGY. FLORA. FAUNA

УДК 631.4

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

И.А. Архипов

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: arhipov@iwer.ru

Изучен уровень содержания микроэлементов в горнопромышленных ландшафтах юго-восточного Алтая, а также выполнен сравнительный анализ их концентрации в объектах окружающей природной среды. Рассчитаны некоторые показатели токсичности Каракульского месторождения полиметаллов. В настоящей статье 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. Выявлены особенности пространственного распределения тяжелых металлов и характер их корреляционных связей, что свидетельствует о наличии, по крайней мере, трех ассоциаций: первая представлена свинцом и цинком, вторая – висмутом, мышьяком, медью и кобальтом, а третья – всеми вышеотмеченными элементами. На основании выполненного расчета и особенностей пространственного распределения микроэлементов был произведен подсчет потенциальной токсичности рудного месторождения. В результате исследований выявлено значительно повышенное содержание свинца, мышьяка и цинка в почвах, что позволяет ориентировочно оценить уровень изначально неблагоприятной эколого-гигиенической ситуации, который может составлять до 40 % его площади, или 1,85 км². Представляется необходимым разработка природоохранных мероприятий, как предотвращающих экологический ущерб, так и реабилитационных.

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

DOI: 10.24411/2410-1192-2019-15410

Дата поступления 13.08.2019

Возрастающие масштабы антропогенной нагрузки обуславливают необходимость учета и прогнозирования изменений в окружающей среде, оценки возможностей сбалансированного развития экосистем. Почва также в значительной мере определяет ресурсный потенциал

биосферы. Сегодня последствия ухудшения состояния почв уже выражаются в целом ряде региональных и местных экологических проблем, связанных с состоянием атмосферы, гидросферы, биоразнообразия и здоровья людей. В настоящей статье показаны предвари-

тельно изученные аспекты воздействия на окружающую среду со стороны месторождения полиметаллических руд «Каракуль», расположенного в Юго-Восточном Алтае. Целью была оценка эколого-биогеохимической обстановки в районах горнодобывающего и перерабатывающего производства. В задачи входило: 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.

Объектами исследования были как почвы и техноземы в районе месторождения полиметаллических руд «Каракуль», так и сама территория в целом. 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 врезках и карах ограниченные по площади участки заняты отложениями ледниковой формации [1].

Содержание растворенной формы микроэлементов в пробах воды определяли в соответствии с ПНДФ 14.1:2:4.140-98, методом ААС (с предварительным окислением проб HNO_3) в Аналитическом Центре ИВЭП СО РАН. Пробы почв отбирали в виде шурфов сечением 10 x 10 см с глубиной 0-10 см. (рис. 1).

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 (Новосибирск). Для уточнения состояния почвенного покрова лицензионного участка 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 опробывания производили от ожидаемой и подтвердившейся структуры полей загрязнения и геологического строения территории. Опробывание почв производилось в соответствии с ГОСТом 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.

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 масштабу 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 исследований выявлены значительно повышенное содержа-

ние свинца, мышьяка и цинка в почвах, что позволяет ориентировочно оценить площадь лицензионного участка с изначально неблагоприятной эколого-гигиенической ситуацией в плане «тяжелометалльного загрязнения» почв, которая может составлять до 40 % его площади, или 1,85 км². Это свидетельствует о достоверности полученных аналитических данных, так и возможности их сопоставления с ранее выделенными геохимическими аномалиями.

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

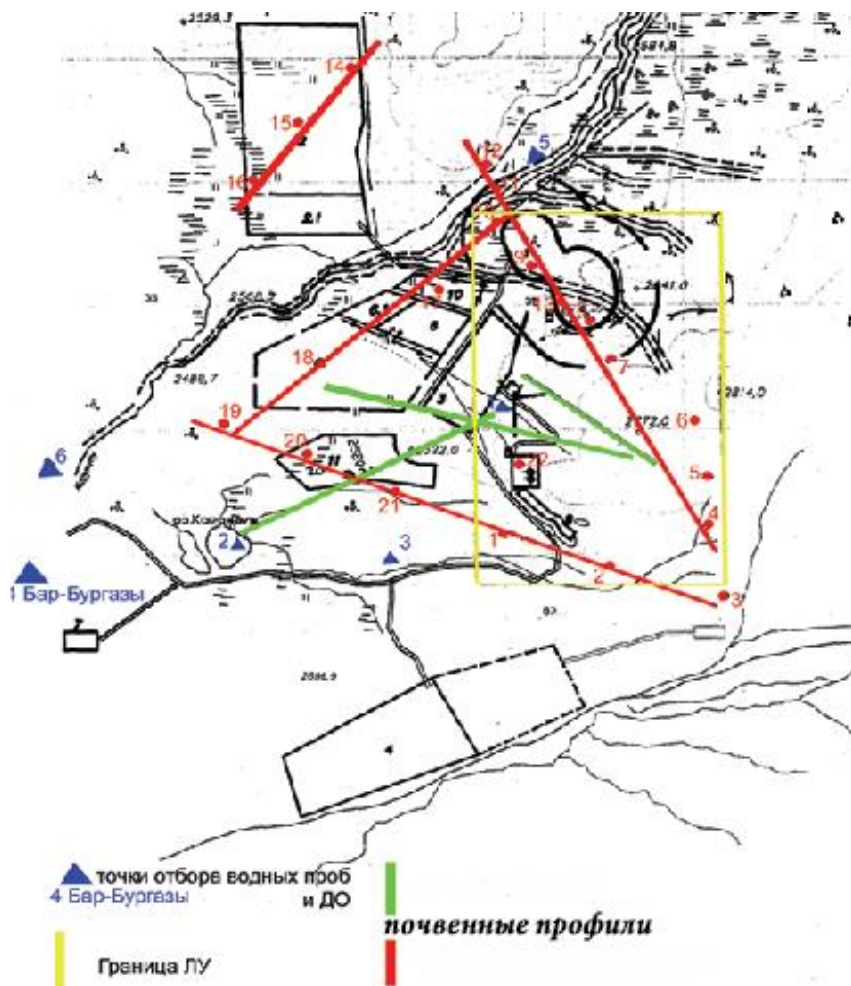


Рис. 1. Точки пробоотбора

Напротив, для «рудной» выборки характерен повышенный, зачастую аномально высокий уровень присутствия большинства тяжелых металлов, распределение которых, за исключением никеля, цинка и бериллия, является весьма неравномерным ($V > 100\%$), что является характерным признаком литохимических аномалий над зонами оруденения [4-5]. Средние и максимальные концентрации свинца, меди, никеля, цинка, мышьяка, и частично, кобальта в «рудной» выборке выше их ПДК в почвах (табл. 1).

Вышеотмеченные различия в распределении изученных тяжелых метал-

лов в пределах Каракульского лицензионного участка и на смежной с ним площади подтверждаются существенными отличиями в характере их корреляционных связей. В частности, 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. 2).

Таблица 1

Параметры распределения ТМ (мг/кг) в пробах почв Каракульского лицензионного участка

Параметры	Ag	Bi	Pb	Cu	Co	Ni	Zn	As	Be
<i>«Безрудная» часть района</i>									
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
<i>«Рудная» часть района</i>									
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 2

Значимые корреляционные связи тяжелых металлов 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: числитель – коэффициенты корреляции тяжелых металлов в почвах «рудной» части лицензионного участка; знаменатель – в «безрудной» части.

Анализ распределения тяжелых металлов на «безрудной» площади позволил установить уровень местного фона, с учетом которого были рассчитаны их минимальное ($C_{a \text{ min}}$) и максимальное ($C_{a \text{ max}}$) аномальное содержание. Соотношение данных с ранее рассчитанными [3] 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 были предложены концентрации тяжелых металлов для выделения их вторичных литохимических аномалий (ореолов рассеяния) (табл. 3). Необходимо отметить, что на западном, северном и южном флангах лицензионного участка вышеотмеченные ореолы отчетливо выклиниваются из-за повышенной мощности перекрывающего чехла пролювиально-делювиальных отложений.

Выявленные литохимические аномалии ряда тяжелых металлов, профилирующих для руд Каракульского месторождения (кобальт, медь, висмут, свинец и др.), позволили оконтурить одну и ту же площадку в центральной части лицензионного участка, отвечающую Западной рудной зоне месторождения. Проявленные на площади лицензионного участка особенности пространственного распределения тяжелых металлов и характер их корреляцион-

ных связей свидетельствуют о наличии, по крайней мере, трех ассоциаций рудных и сопутствующих им тяжелых металлов: первая представлена свинцом и цинком, вторая – висмутом, мышьяком, медью и кобальтом, а третья – всеми вышеотмеченными элементами. Анализ геохимических особенностей рудовмещающих отложений и полиметаллических руд месторождения позволяет предполагать, что первая ассоциация тяжелых металлов характерна для вмещающих пород, вторая – вследствие наложенного оруденения.

На основании выполненного расчета и особенностей пространственного распределения микроэлементов был произведен подсчет потенциальной токсичности рудного месторождения. Имея уточненные экотоксикологические показатели элементов – $T_{л}$ для объектов геологической среды и геохимический показатель $K_{к}$, устанавливается экогеохимическое значение любого объекта, для которого известен химический состав [6]. Этот прием был использован для экспресс-оценки потенциальной токсичности Каракульского месторождения.

$$ГЭр = \sum (T_{л} \times K_{к})_1 + \dots + (T_{л} \times K_{к})_n$$

где: $ГЭр$ – потенциальная токсичность месторождения; $T_{л}$ – коэффициент литотоксичности элемента; $K_{к}$ – кларк концентрации элемента; n – количество исследованных химических элементов.

Таблица 3

Оценка аномальности распределения тяжелых металлов 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*
$C_{a \text{ min}}$	0,32	3	55	55	14	49	238	8,6	1,9
$C_{a \text{ max}}$	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	–
S_{max} , мг/кг	1,65	700	1320	476	202	85	630	6060	6,2
S_{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: * – содержание ≥ 1 ПДК (фона), ** ≥ 3 ПДК (фона), *** – ≥ 10 ПДК (фона).

В результате подсчета получили величину $\Gamma\text{Эр} = 1815$, 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 тем, что имеющиеся фактические данные о формах содержания микроэлементов, а также об особенностях их распространения в веду-

щих депонирующих средах представлены не полно, то все 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.

Список литературы

1. Девяткин Е.В. Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая // Тр. ГИН АН СССР. – 1965. – Вып. 126. – 189 с.
2. Почвы Горно-Алтайской автономной области. – 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. // Applied Geochemistry. – 1990. – V. 5. – P. 327.
5. Blowes D. W., Reardon E. J., Jambor J. L. et al. // Geochim. et cosmochim. acta. – 1991. – V. 55. – P. 965.
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 Ye.V. Kaynozoyzskiyе otlozheniya i neotektonika Yugo-Vostochnogo Altaya // Tr. GIN AN SSSR. – 1965. – Vyp. 126. – 189 s.
2. Pochvy Gorno-Altayskoy avtonomnoy oblasti. – Novosibirsk: Nauka, 1973. – 352 s.
3. Robertus Yu.V., Kats V.E. Ekologicheskoye sostoyaniye geologicheskoy sredy Respubliki Altay // Mineralno-syryevaya baza Respubliki Altay: sostoyaniye i perspektivy razvitiya. – Gorno-Altaysk: RIO «Univer-Print», 1998. – S. 120-122.
4. Blowes D. W., Jambor J. L. // Applied Geochemistry. – 1990. – V. 5. – P. 327.
5. Blowes D. W., Reardon E. J., Jambor J. L. et al. // Geochim. et cosmochim. acta. – 1991. – V. 55. – P. 965.
6. Goleva R.V., Ivanov V.V. Ekologicheskaya otsenka potentsialnoy toksichnosti rudnykh mestorozhdeniy. – M., 2001. – 53 s.
7. Ivanov V.V. O ponyatii «ekologicheskaya mineralogiya» i metodakh prognoza toksikologicheskoy opasnosti mineralov // Mineralogicheskkiye issledovaniya v reshenii ekologicheskikh problem. – M., 1998. – S. 5-15.

EOCHEMICAL ANOMALIES

(BY THE EXAMPLE OF «KARAKUL» COMPLEX ORE DEPOSIT)

I.A. Arkhipov

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, E-mail: arhipov@iwep.ru

The microelements concentrations in the mountain-industrial landscapes of the south-eastern Altai were investigated. The comparative analysis of microelements content in the natural objects was performed. Some toxicity indices of the Karakul complex ore deposit were estimated. This paper presents the pre-studied aspects of the impact of the «Karakul» complex ore deposit (the South-Eastern Altai) on the environment. The objects of study are natural and technogeneous soils of the «Karakul» complex ore deposit including the adjacent territories. 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 here as adverse cause the soils contamination by heavy metals reaches 40 % of its area (1.85 km²). It is strongly recommended to develop measures of environment protection aimed at ecological damage prevention and rehabilitation of the environment.

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

Received August 13, 2019