

**А.И.ГУСЕВ**, д-р геол.-минерал. наук, профессор, [anzerger@mail.ru](mailto:anzerger@mail.ru)  
Алтайская государственная академия образования им. В.М.Шукинина, Бийск

**A.I.GUSEV**, Dr. in geol. & min. sc., professor, [anzerger@mail.ru](mailto:anzerger@mail.ru)  
The Shukshin Altai State Academy of Education, Bийск

## БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ ГОРНО-РУДНЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ РУДНОГО И ГОРНОГО АЛТАЯ

Техногенное загрязнение экосистем, вызванное деятельностью горно-рудных предприятий Рудного и Горного Алтая, оценено на основе биогеохимических индикаторов загрязнения. Содержания тяжелых металлов проанализировано в различных растениях вблизи горных предприятий, которые поглощаются селективно из почв и воздушной среды. Состав тяжелых металлов в растениях определяется составом руд на месторождениях. Аномальные содержания ртути в растениях Синюхинского рудного поля связаны с процессами цианирования золота на золото-извлекающей фабрике.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, биогеохимические индикаторы, экосистемы, загрязнение.

## BIOGEOCHEMICAL INDICATORS OF THE TECHNOGENIC POLLUTION ECOSYSTEMS BY MINING ENTERPRISES OF RUDNY AND MOUNTAIN ALTAI

Technogenic pollution of ecosystems causing by activity mining enterprises of Rudny and Mountain Altai revealed on basis biogeochemical indicators. Content of hard metals analyzed in different plants in mining enterprises that it absorb selectively from soil and air environment. Composition of hard metals in plants determine by composition of ores on the deposits. Anomalous content of Hg in the plant of Sinukhinskoe ore district link with process of cyanidation for selection of gold on the gold-extraction factory.

**Key words:** hard metals, biogeochemical indicators, ecosystems, pollution.

На Алтае известны различные горно-рудные предприятия, оказывающие значительное техногенное влияние на природные экосистемы: Золотушинское, Змеингорское и другие золото-колчеданные барит-полиметаллические, Синюхинское золото-медно-скарновое, Калгутинское молибден-вольфрамовое кварцево-грейзеновое, Акташское, Чаган-Узунское ртутно-рудные и другие. Некоторые из них существуют и действуют еще с XVIII в. (Золотушинское, Змеиногорское). Вокруг них были созданы поселки, и техногенное воздействие на экосистемы в процес-

се отработки и обогащения руд создало весьма напряженную обстановку со значительным загрязнением почв, донных отложений малых рек. Загрязнение тяжелыми металлами природных систем привело к тому, что опасные концентрации металлов вошли в цепь питания: растения – животные – человек [3].

На Синюхинском золото-медно-скарновом месторождении в процессе проведения биогеохимических поисков рудных тел с участием автора (1992-1993 гг.) проведены исследования по выявлению масштабов за-

хвата и биологического накопления тяжелых металлов различными видами растений над участками рудных тел. Поиски рудных тел проводились по диффузионным геохимическим ореолам восходящей миграции. Известно, что в потоке диффундирующего вещества присутствуют все те элементы первичного ионного геохимического поля, для которых отмечается разность концентраций в рудных телах и перекрывающих их породах. Движение ионов в пристеночном слое жидких пленок способствует сохранению элементарных парагенезисов, которые существуют в материнских первичных рудах.

Ранее биогеохимические поиски осуществлялись на основе анализа золы растений после их сжигания. Такая методика определения концентраций элементов в растениях приводила к искажению истинных содержаний элементов в растениях, так как при озолении проб происходит потеря некоторой части летучих элементов (Mo, V, U, Zn, B, Au, As, Sb, Bi, Se, Te, Pb, Cd, Tl, Hg), которая имеет наибольшую величину (от 50 до 90 %) в не измельченных пробах ветвей, корней, коры и древесины для Cd, Pb, Tl, Zn, B, As, Bi, а для ртути она составляет даже 90-97 % [4].

На Синюхинском месторождении апробирована методика определения химических элементов в растениях без озоления материала, а выявление и интерпретация ореолов диффузионной природы, пригодных для биогеохимических целей, выполнены с использованием высокочувствительной съемки с рентген-радиометрическим анализом (РРА) на аппаратуре типа NOKKIA. Вторичные ореолы диффузионной природы представляют собой вертикальную проекцию погребенных рудных тел и фиксируются при мощности перекрывающих отложений до 600 м. При РРА анализируемый слой в листьях, ветвях, коре растений составляет первые микроны поверхности, где концентрируется большая часть тяжелых металлов, накопленных растениями за их жизнь.

Интерпретация выделенных при таких съемках аномалий проводится с позиций парагенетического анализа. Сонахождение элементов в объекте исследований не явля-

ется критерием их парагенетичности. Для выделения природных парагенетических ассоциаций элементов, обусловленных тем или иным компонентом ландшафта, применяют методы многомерной статистики. Наиболее эффективен для этих целей метод главных компонентов (МГК) факторного анализа, позволяющий выявлять взаимосвязи элементов в отдельных процессах [1].

Перед проведением биогеохимической съемки были выполнены опытно-методические работы по выявлению элементов-индикаторов руд Синюхинского месторождения на той же самой аппаратуре РРА. Изучены рентгеновские спектры руд месторождения с анализом проб (более 120) на широкий круг элементов: Fe, Cu, Zn, Pb, As, Zr, Nb, Y, Sr, Rb, Ba, Se, Tl, Ag, Bi, Sb, Co. К числу элементов-индикаторов отнесены Fe, Cu, Zn, Pb, As, Zr, Sr, Ag, Bi, Sb, Co.

При биогеохимической съемке было отобрано 4000 биогеохимических проб по профилям (расстояние между профилями 200 м, шаг опробования по профилю 10 м) из наиболее распространенных растений в рудном поле (мхов, папоротников, осоки, мать-и-мачехи). В дальнейшем анализ проводился по всем предварительно высушенным растениям только на элементы-индикаторы. Следует отметить, что концентрации таких элементов, как медь, серебро, висмут, сурьма, в некоторых растениях в районе рудных тел на порядок и более превышали таковые на участках безрудного пространства. Другим важным свидетельством аномально высоких концентраций тяжелых металлов в надрудном пространстве является отсутствие лишайников, которые чутко реагируют на повышенные концентрации металлов и в почве, и в диффузионных геохимических ореолах.

Результаты анализа проб, отобранных в районе медно-золоторудных тел, сведены в табл. 1.

Анализ закономерностей концентраций элементов в растениях показывает, что наибольшие концентрации тяжелых металлов обнаруживаются во мхах, а наименьшие – в мать-и-мачехе. Обращает на себя внимание очень высокий коэффициент концентрации

Таблица 1

**Содержания элементов-индикаторов  $C$  (%) и значения коэффициентов концентрации в растениях  
Синюхинского рудного поля в районе рудных тел**

Элемент	Мох, $n = 155$		Папоротник, $n = 163$		Осока, $n = 95$		Мать-и-мачеха, $n = 44$		Средний состав зола наземных растений
	$C$	$K_k$	$C$	$K_k$	$C$	$K_k$	$C$	$K_k$	
Fe	3,3	4,1	2,1	2,6	2,0	2,5	2,2	2,75	0,8
Cu	0,015	7,5	0,013	6,5	0,013	6,5	0,014	7,0	0,002
Zn	0,009	3,0	0,0005	1,67	0,004	1,33	0,006	2,0	0,003
Pb	0,0011	2,75	0,009	2,2	0,008	2,0	0,001	2,5	0,0004
As	0,0007	2,33	0,0005	1,67	0,0005	1,67	0,0006	2,0	0,0003
Zr	0,0006	1,5	0,0005	1,25	0,0005	1,25	0,0004	1,0	0,0004
Sr	0,05	1,67	0,04	1,33	0,03	1,0	0,03	1,0	0,03
Ag	0,0002	10,0	0,00007	3,5	0,00007	3,5	0,00008	4,0	0,00002
Bi	0,0007	17,5	0,0005	12,5	0,0004	10,0	0,00032	8,0	0,00004
Sb	0,0012	3,0	0,001	2,5	0,0011	2,75	0,0011	2,75	0,0004
Cd	0,00014	2,8	0,0001	2,0	0,00011	2,2	0,0001	2,0	0,00005
Co	0,0019	4,75	0,0014	3,5	0,0012	3,0	0,0013	3,25	0,0004

*Примечание.* Коэффициент концентрации  $K_k$  – отношение содержания элемента в пробах растений Синюхинского рудного поля к среднему содержанию в золе наземных растений по А.И.Перельман [5];  $n$  – количество проанализированных проб по каждому виду растений.

висмута почти во всех растениях Синюхинского рудного поля, что намного превышает приводимые оценки по литературным данным [5]. Вероятно, это объясняется тем, что в анализируемом районе наряду с высокими концентрациями висмута в рудах имеют место и благоприятные факторы гипергенного перевода этого металла в легкорастворимые формы, что способствует его повышенной миграционной способности в диффузионных ореолах с последующей фиксацией в растениях в аномально высоких концентрациях.

Преимущество использования МГК при выявлении парагенетических ассоциаций элементов в природных объектах заключается в том, что выявляется структурное единство модели, описывающей поведение химических элементов системы при изменении внешних условий, и модели метода главных компонент [1].

Расчет факторных нагрузок (здесь и далее нагрузок первого порядка) для наших данных по выборкам анализов для наиболее представительных по объему выборок мха ( $n = 155$ ) и папоротника ( $n = 163$ ) выглядит следующим образом, соответственно

$$D = 61 \%, \text{Bi}_{0,96}\text{Ag}_{0,88}\text{Cu}_{0,61}\text{Co}_{0,53}\text{Fe}_{0,42};$$

$$D = 49,8 \%, \text{Bi}_{0,78}\text{Cu}_{0,63}\text{Ag}_{0,51}\text{Co}_{0,51}\text{Fe}_{0,34},$$

где  $D$  – вклад факторных нагрузок в процентах. Значения факторных нагрузок конкрет-

ных элементов даны рядом с элементом при значениях вероятности 0,95 %.

Полученные результаты в сопоставлении с данными табл.1 показывают, что выявленные парагенетические ассоциации отражают комплексы химических элементов, имеющих природную дисперсию содержания тяжелых металлов в диффузионных геохимических ореолах, а конкретные значения факторов ранжированы по степени увеличения коэффициентов концентрации или биологического накопления (или аномальности в опробованных растениях). Парагенные ассоциации химических элементов во мхе и папоротнике имеют черты сходства и различий. У них имеются общие ассоциации элементов (висмут, серебро, медь, кобальт, железо), однако вклад факторных нагрузок и величина их различны. Особенно контрастное различие в фиксации тяжелых металлов намечается для мха и папоротника по таким элементам, как медь и серебро. Если в папоротнике больше концентрируется меди, то во мхе – серебра, что подтверждается их различным положением в иерархическом ряду факторных нагрузок.

Вблизи карьеров участков «Рудная Сопка», «Западный», «Файфановский» Синюхинского рудного поля у хвой сосны часто наблюдается ауксобилия, проявляющаяся в резко укороченной длине хвоинок

Таблица 2

**Содержания элементов-индикаторов (%) и значения коэффициентов концентрации в хвое  
фонового участка и хвое, пораженной ауксобилией**

Элемент	Хвоя, пораженная ауксобилией, $n = 15$		Хвоя фонового участка (район селения Чоя), $n = 11$		Средний состав золы наземных растений
	C	K <sub>K</sub>	C	K <sub>K</sub>	
Fe	3,8	4,75	1,3	1,6	0,8
Cu	0,03	15,0	0,001	0,5	0,002
Zn	0,011	3,7	0,004	1,3	0,003
Pb	0,0018	4,5	0,0003	0,75	0,0004
As	0,0011	3,7	0,0002	0,67	0,0003
Zr	0,0009	2,2	0,0003	0,75	0,0004
Sr	0,08	2,7	0,01	0,33	0,03
Ag	0,0009	50,0	0,00002	1,0	0,00002
Bi	0,0010	25,0	0,00002	0,5	0,00004
Sb	0,0019	4,75	0,00003	0,075	0,0004
Cd	0,00017	3,4	0,00003	0,6	0,00005
Co	0,0020	5,0	0,0003	0,75	0,0004
Hg	0,00003	15,0	0,00002	1,0	0,000002

и укороченных веточках. Проведено сравнение состава тяжелых металлов в пораженной болезнью хвое и хвое сосны за пределами Синюхинского рудного поля в районе селения Чоя (табл.2).

Полученные данные указывают на то, что в сравнении с концентрациями тяжелых металлов с фонового участка в хвое, пораженной ауксобилией, наблюдается значительное накопление таких элементов, как Fe, Cu, Zn, Pb, As, Zr, Sr, Ag, Bi, Sb, Cd, Co, Hg. При этом повышенные концентрации элементов в хвое, пораженной ауксобилией, в основном, отражают повышенные концентрации их в рудах. Аномально высокое накопление ртути в пораженной хвое, вероятно, связано с рассеянием ртути в результате процессов цианирования при извлечении золота.

Аналогичные исследования проведены нами и в районе месторождений золото-колчеданной барит-полиметаллической формации в 2005-2009 гг. [2]. Для этого типа экосистем (Змеиногорск) парагенные ассоциации выявлены для листьев тополя и полыни (наиболее распространенных растений в городе) целиком определяются составом добываемых полиметаллических руд из золото-колчеданных барит-полиметаллических месторождений, расположенных вблизи города (Змеиногорское, Корбалихинское, Среднее, Зареченское, Петровское и др.), соответственно:

$$D = 52,4 \%, \text{Ba}_{0,97}\text{Cu}_{0,93}\text{Zn}_{0,91}\text{Pb}_{0,89}\text{Sr}_{0,88}\text{Ag}_{0,81}$$

$$\text{Cd}_{0,60}\text{Mo}_{0,46}\text{Tl}_{0,39};$$

$$D = 44,5 \%, \text{Ba}_{0,92}\text{Ag}_{0,91}\text{Cd}_{0,85}\text{Zn}_{0,81}\text{Pb}_{0,69}\text{Cu}_{0,53}$$

$$\text{Sr}_{0,48}\text{Mo}_{0,42}\text{Tl}_{0,29}.$$

Значительную роль в парагенетических ассоциациях тяжелых металлов в обоих растениях получили барий, медь, серебро, кадмий, таллий. Последние два элемента являются примесями в рудах, тем не менее, они оказались важными поллютантами, поглощаемыми растениями. Для г. Горняк (известное Золотушинское барит-полиметаллическое месторождение и рядом расположенное на территории Казахстана аналогичное по составу месторождение Джискен), где отмечено рождение «желтых детей», факторные нагрузки и парагенные ассоциации тяжелых металлов следующие (листья тополя и полыни соответственно):

$$D = 59,9 \%, \text{Hg}_{0,98}\text{Pb}_{0,96}\text{Ba}_{0,95}\text{Ag}_{0,92}\text{Cu}_{0,90}\text{Ti}_{0,87}$$

$$\text{Zn}_{0,86}\text{Mo}_{0,60}\text{Cd}_{0,41}\text{Tl}_{0,39};$$

$$D = 48,8 \%, \text{Pb}_{0,99}\text{Ba}_{0,92}\text{Hg}_{0,90}\text{Ag}_{0,88}\text{Cu}_{0,73}\text{Cd}_{0,71}$$

$$\text{Zn}_{0,61}\text{Mo}_{0,42}\text{Tl}_{0,29}\text{Ti}_{0,25}.$$

Степное барит-полиметаллическое золото-колчеданное месторождение, расположенное в Рубцовском рудном районе, в настоящее время разведывается. Оно расположено в 4 км от пос. Таловка (в Таловке находится одноименное месторождение, но

оно расположено на глубине и ранее разведывалось скважинами колонкового бурения). На Степном месторождении пройден карьер с отвалами, занимающими значительную площадь. Месторождение находится в степи, и в его районе деревья отсутствуют. Нами опробованы полынь и пырей ползучий (по 15 проб каждая из трав). Для указанных растений факторные нагрузки следующие, соответственно:

$$D = 43,4 \%, \text{Ba}_{0,90}\text{Ag}_{0,87}\text{Cd}_{0,81}\text{Zn}_{0,81}\text{Pb}_{0,69}\text{Cu}_{0,53}$$

$$\text{Sr}_{0,41}\text{Ti}_{0,21};$$

$$D = 41,5 \%, \text{Ba}_{0,92}\text{Ag}_{0,90}\text{Cd}_{0,82}\text{Zn}_{0,80}\text{Pb}_{0,69}\text{Cu}_{0,56}$$

$$\text{Sr}_{0,48}\text{Ti}_{0,25}.$$

Характерной особенностью факторных нагрузок на Степном месторождении являются значительно меньшие их значения, чем на Змеиногорском и Золотушинском месторождениях. Кроме того, в обоих видах растений отсутствует молибден, что также отличает это месторождение от ранее рассмотренных колчеданных объектов Рудного Алтая.

Таким образом, на основе полученных результатов установлены биогеохимические индикаторы биологического накопления тяжелых металлов во мхе, папоротнике, осоке и мать-и-мачехе при диффузионном процессе восходящей миграции пленочных вод над рудными залежами Синюхинского месторождения. Из большого числа проанализированных элементов к числу индикаторов биологического накопления можно отнести висмут, медь, серебро, кобальт, железо. Обращает на себя внимание резко аномальные концентрации всех элементов в хвое сосен, пораженных ауксобилией.

На колчеданных барит-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая поллютанты в листьях тополя и полыни также отражают состав основных рудных компонентов и некоторых примесных металлов (таллий, кадмий).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаец А.Н. Математические методы при прогнозировании месторождений полезных ископаемых / А.Н.Бугаец, Л.Н.Дуденко. Л., 1976. 270 с.
2. Гусев А.И. Биогеохимическая индикация антропогенного загрязнения растительности Алтайских городов / А.И.Гусев, О.И.Гусева // Международный журнал экспериментального образования, 2010. № 7. С.17-19.
3. Гусев А.И. Биогеохимические индикаторы биологического накопления растениями тяжелых металлов на некоторых месторождениях Алтая / А.И.Гусев, О.И.Гусева // Природные ресурсы Горного Алтая. 2010. № 1. С.114-118.
4. Григорян С.В. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений / С.В.Григорян, А.П.Соловов, М.Ф.Кузин. М., 1983. 191 с.
5. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М., 1975. 234 с.

## REFERENCES

1. Bugaets A.N., Dudenko L.N. Mathematic methods for prognosis deposits ore materials. Leningrad, 1976. 270 p.
2. Gusev A.I., Guseva O.I. Biogeochemical indication of antropogenic pollution of pants of Altay cities // International magazine of experimental education, 2010. N 7. P.17-19.
3. Gusev A.I., Guseva O.I. Biogeochemical indicators of biologic pollution of plants hard metals on some deposits of Altay // Nature resources of Mountain Altay., 2010. N 1. P.114-118.
4. Grigorjan S.V., Solovov A.P., Kuzin M.F. Instruction on geochemic methods of searching ore deposits. Moscow, 1983. 191 p.
5. Perelman A.I. Geochemistry of landscape. Moscow, 1975. 234 p.