

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО НАКОПЛЕНИЯ РАСТЕНИЯМИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА НЕКОТОРЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АЛТАЯ

О.И. Гусева, А.И. Гусев

Бийский педагогический государственный университет, г. Бийск

Биогеохимические индикаторы биологического накопления тяжёлых металлов имеют важное значение для выяснения масштабов интоксикации растений, являющихся начальным звеном в цепочке питания: растения – животные – человек. На некоторых эндогенных месторождениях, где концентрации тяжёлых металлов достигают огромных значений, такие исследования особенно важны. Нами проведено опробование листьев некоторых растений на месторождениях, где проживают люди – на Синюхинском золото-медно-скарновом (Республика Алтай), Золотушинском и Змеиногорском барит-полиметаллических золото-колчеданных.

На Синюхинском золото-медно-скарновом месторождении в процессе проведения биогеохимических поисков рудных тел с участием автора (1992-1993 годы) проведены исследования и по выявлению масштабов захвата и биологического накопления тяжёлых 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 плёнок способствует сохранению элементарных парагенезисов, которые существуют в материнских первичных рудах. Последнее позволило разработать объективные критерии интерпретации вторичных ореолов диффузионной природы с позиций парагенетического анализа.

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 неизмельчённых пробах ветвей, корней, коры и древесины для Cd, Pb, Tl, Zn, B, As, Bi, а для ртути она составляет даже 90-97% (Григорян и др., 1983).

На Синюхинском месторождении апробирована методика определения химических элементов в растениях без озоления материала, а выявление и интерпретация ореолов диффузионной природы, пригодных для биогеохимических целей, выполнена с использованием высокочувствительной съёмки с рентген-радиометрическим анализом (РРА) на аппаратуре типа НОККИА. Вторичные ореолы диффузионной природы представляют собой вертикальную проекцию погребённых 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 тяжёлых металлов, накопленных растениями за их жизнь.

Интерпретация выделенных при таких съёмках аномалий проводится с позиций парагенетического анализа. Сонахождение элементов в объекте исследований не является кри-

териум 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 компонент (МГК) факторного анализа, позволяющий выявлять взаимосвязи элементов в отдельных процессах (Бугаец, Дуденко, 1976).

Перед проведением биогеохимической съёмки 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 съёмке было отобрано 4000 биогеохимических проб по профилям (расстояние между профилями – 200 м, шаг опробования по профилю – 10 м) из наиболее распространённых 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 тяжёлых металлов в надрудном пространстве является отсутствие лишайников в этих местах, которые чутко реагируют на повышенные концентрации металлов и в почве, и в диффузионных геохимических ореолах.

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

Анализ закономерностей концентраций элементов в растениях показывает, что наибольшие концентрации тяжёлых металлов обнаруживаются во мхах, а наименьшие – в мать-и-мачехе. Обращает на себя внимание очень высокий коэффициент концентрации висмута почти во всех растениях Синюхинского рудного поля, что намного превышает приводимые

1. Содержания элементов-индикаторов (%) и значения коэффициентов концентрации в растениях Синюхинского рудного поля в районе рудных тел

Элементы	Мох, n=155		Папоротник, n= 163		Осока, n = 95		Мать-и-мачеха, n=44		Ср. состав золы наземн. растений
	С	К _к	С	К _к	С	К _к	С	К _к	
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 К_к – отношение содержания элемента в пробах растений Синюхинского рудного поля к среднему содержанию в золе наземных растений по (Перельман, 1975); n – количество проанализированных проб по каждому виду растений.

оценки по литературным данным (Перельман, 1975). 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 (Бугаец, Дуденко, 1976):

$X_i = \sum W_{ij} Z_j$, где Z_j – значения j -го фактора; W_{ij} – факторная нагрузка j -го фактора на i -ю переменную; ($i=1,2,3,\dots, m$; $j= 1,2,3, \dots, r$; $r<m$).

Расчёт факторных нагрузок для наших данных по выборкам анализов для наиболее представительных по объёму выборок мха ($n=155$) и папоротника ($n=163$) выглядит следующим образом:

Ф I мха, $D=61\%$, $Bi_{0,96} Ag_{0,88} Cu_{0,61} Co_{0,53} Fe_{0,42}$

Ф I папоротника, $D=49,8$, $Bi_{0,78} Cu_{0,63} Ag_{0,51} Co_{0,51} Fe_{0,34}$

Где Ф I – факторные нагрузки первого порядка, D – вклад факторных нагрузок в процентах; значения факторных нагрузок конкретных 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 содержаний тяжёлых 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 величины их в анализируемых растениях различны. Особенно контрастное различие в фиксации тяжёлых 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 (Гусев, 2006).

Таким образом, на основе приведенных результатов установлены биогеохимические индикаторы биологического накопления тяжёлых металлов во мхе, папоротнике, осоке и мать-и-мачехе при диффузионном процессе восходящей миграции плёночных вод над рудными залежами Синюхинского месторождения. Из большого числа проанализированных элементов к числу индикаторов биологического накопления можно отнести висмут, медь, серебро, кобальт, железо.

Вблизи карьеров участков Рудная Сопка, Западный, Файфановский Синюхинского рудного поля у хвой сосны часто наблюдается заболевание – ауксобилия, проявляющаяся в резко укороченной длине хвоинок и укороченных веточках. Проведено сравнение состава тяжёлых металлов в поражённой болезнью хвое и хвое сосны за пределами Синюхинского рудного поля (район селения Чои) (табл. 2).

Полученные данные указывают на то, что в сравнении с концентрациями тяжёлых металлов с фонового участка в хвое, поражённой 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, поражённой ауксобилией, в основном отражают повышенные концентрации их в рудах. Аномально высокое накопление ртути в поражённой хвое, вероятно, связано с рассеянием ртути в результате процессов цианирования при извлечении золота.

2. Содержания элементов-индикаторов (%) и значения коэффициентов концентрации в хвое фонового участка и хвое, поражённой ауксобилией

Элементы	Хвоя, поражённая ауксобилией, n=15		Хвоя фонового участка (район сел. Чоя), n= 11		Ср. состав золы наземн. Растений
	С	K _к	С	K _к	
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

Аналогичные исследования были проведены в районе Змеиногорского барит-полиметаллического золото-колчеданного месторождения (Гусев, Гусева, 2007).

Следует отметить, что парагенные ассоциации в листьях опробованных растений целиком определяются составом разрабатывавшихся руд подземным и открытым способом (карьер). Ситуация для Змеиногорского участка усугубляется тем, что рядом расположены разрабатываемые и в настоящее время месторождения, относящиеся к тому же геолого-промышленному типу - полиметаллических руд золото-колчеданных барит-полиметаллических месторождений (Корбалихинское, Среднее, Петровское и другие).

Следует указать, что Змеиногорское месторождение известно с 1734 года и разработка его осуществлялась с перерывами до 90-х годов прошлого века. Обогажительные фабрики для расположенных месторождений Среднее, Петровское, Корбалихинское находятся в черте города и они постоянно сбрасывают на город пыль от переработки руд. Ситуация в городе весьма критическая, так как всё в городе (в том числе и редкие растения) покрыто белесой пылью. Видовой состав растений в городе и в районе Змеиногорского месторождения весьма беден. Для тополя и полыни факторные нагрузки в районе Змеиногорского месторождения выглядят следующим образом:

Ф I тополя, D=52,4%, Ba_{0,97} Cu_{0,93} Zn_{0,91} Pb_{0,89} Sr_{0,88} Ag_{0,81} Cd_{0,60} Mo_{0,46} Tl_{0,39}
 Ф I полыни, D=44,5, Ba_{0,92} Ag_{0,91} Cd_{0,85} Zn_{0,81} Pb_{0,69} Cu_{0,53} Sr_{0,48} Mo_{0,42} Tl_{0,29}

Значительную роль в парагенетических ассоциациях тяжёлых 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.

Те же растения были опробованы и в городе Горняк, где расположено Золотушинское месторождение аналогичного состава (по 16 проб из каждого вида растений). Надо указать, что рядом с Горняком на территории Республики Казахстан находится разрабатываемое и в настоящее время близкое по составу Жискенское месторождение. Имеет место трансграничный перенос пыли, а вместе с ней и тяжёлых металлов на территорию Алтайского края. По нашим исследованиям на этом месторождении велика роль таллия в рудах (особенно много его в сфалерите), намного превышающая концентрации в рудах Золотушинского месторождения.

Показателем неблагополучной экологической ситуации в городе являются следующие факторы:

1 – в районе Золотушинского месторождения не встречаются лишайники, которые являются чуткими реагентами-индикаторами негативной экологической обстановки;

2 – Горняк – единственный город в Алтайском регионе, где рождаются «жёлтые» дети; это свидетельствует о том, что элементы-токсиканты в цепочке питания достигли человека в угрожающем масштабе.

Для тополя и полыни факторные нагрузки в районе Золотушинского месторождения выглядят следующим образом:

Ф I тополя, D=57,4%, Ва_{0,99} Cu_{0,95} Zn_{0,93} Pb_{0,92} Sr_{0,89} Ag_{0,89} Cd_{0,69} Tl_{0,59} Mo_{0,56}

Ф I полыни, D=49,5, Ва_{0,96} Ag_{0,94} Cd_{0,81} Zn_{0,81} Pb_{0,77} Cu_{0,55} Sr_{0,49} Mo_{0,42} Tl_{0,41}

Следует указать, что перечень элементов в факторных нагрузках близок таковому в растениях на Змеиногорском месторождении, но сами нагрузки гораздо выше, чем на сравниваемом объекте. Кроме того, обращает внимание, что в листьях тополя гораздо выше накопление таллия, являющегося одним из опаснейших элементов. При этом в факторной нагрузке тополя таллий занимает более высокое положение, чем молибден.

Степное барит-полиметаллическое золото-колчеданное месторождение в настоящее время разведывается. Оно расположено в 4 км от посёлка Таловка (в Таловке находится одноименное месторождение, но оно находится 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 представлены в следующем виде:

Ф I полыни, D=43,4, Ва_{0,90} Ag_{0,87} Cd_{0,81} Zn_{0,81} Pb_{0,69} Cu_{0,53} Sr_{0,41} Tl_{0,21}

Ф I пырея, D=41,5, Ва_{0,92} Ag_{0,90} Cd_{0,82} Zn_{0,80} Pb_{0,69} Cu_{0,56} Sr_{0,48} Tl_{0,25}

Характерной особенностью факторных нагрузок на Степном месторождении является 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.

Литература

Бугаец А.Н., Дуденко Л.Н. Математические методы при прогнозировании месторождений полезных ископаемых. Л.: «Недра», 1976. - 270 с.

Григорян С.В., Соловов А.П., Кузин М.Ф. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983. - 191 с.

Гусев А.И. Биогеохимическая индикация биологического накопления растениями тяжёлых металлов на золото-медно-скарновом Синюхинском месторождении (Горный Алтай) // Современные проблемы геоэкологии горных территорий. Материалы региональной научно-практической конференции. - Горно-Алтайск, 2006. - С. 3-6.

Гусев А.И., Гусева О.И. Тяжёлые металлы в экосистемах городов Алтая // Экологические проблемы урбанизированных территорий. Елец, ЕГУ им. И.А. Бунина, 2007. С. 19-21.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М., Высшая школа, 1975. - 234 с.