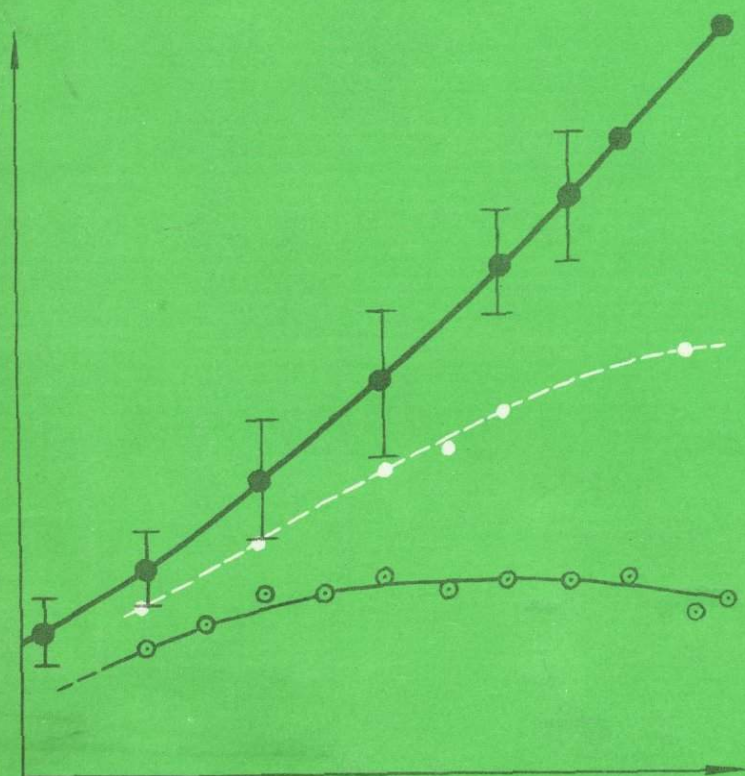


А. Л. КОВАЛЕВСКИЙ

# БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



А. Л. КОВАЛЕВСКИЙ

# БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Издание второе,  
переработанное и дополненное

4269



МОСКВА "НЕДРА" 1984



Ковалевский А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1984, 172 с.

Во 2-м издании (1-е изд. — 1974) значительно расширены данные по биогеохимии элементов-индикаторов и особенностям биогеохимических поисков различных руд. Рассмотрены закономерности формирования рудных биогеохимических ореолов на примере Zn, Pb, Cu, Hg и Mo и данные о биогеохимии 45 других элементов-индикаторов. Даны новые примеры и методические приемы биогеохимических исследований, в том числе экспрессные рентгено-биогеохимические поиски с определением ряда элементов-индикаторов в коре стволов деревьев непосредственно в поисковом маршруте.

Для геологов, геохимиков, а также биологов, географов и химиков, интересующихся биогеохимией растений.

Табл. 29, ил. 41, список лит. — 50 назв.

Рецензент — д-р геол.-минер. наук А.Б. Каждан (МГРИ)

Второе издание этой книги необходимо в связи со значительным прогрессом в области разработки теоретических основ и практического применения биогеохимических поисковых методов. Прогресс заключается прежде всего в разработке и апробации научно-практических основ количественно-информативных биогеохимических методов поисков по небольшому числу (порядка 5–20 из 500 изученных) безбарьерных видов и частей растений, накапливающих элементы-индикаторы линейно-пропорционально концентрации на горизонте питания растений. Этот метод получил сокращенное название безбарьерных биогеохимических поисков (ББП).

Новым по сравнению с первым изданием является раздел, касающийся биогеохимии ртути. Ртутнобиогеохимические поиски — наиболее глубокий вариант поисков с помощью растений — применимы для самых разнообразных полезных ископаемых, так как ртуть является индикатором многих видов рудных и нерудных полезных ископаемых, в том числе нефти и газа. Ожидаемая глубинность ртутнобиогеохимических поисков соответствует глубинности газортутных поисков (порядка 500–2000 м), так как растения весьма интенсивно поглощают газообразные формы химических элементов, в том числе паробразную ртуть. Интересным результатом изучения биогеохимии ртути является установление стабильности ее содержания в золе растений, что делает возможным ее определение в старых коллекциях проб золы, хранящихся 10–20 лет и более. Как известно, из проб почв и донных осадков с высокими содержаниями ртути этот элемент улетучивается на 90 % и более в течение 0,5–2 лет. Опыт производственных ртутнобиогеохимических поисков, начатых в 1981 г., свидетельствует об их высокой информативности и значительной перспективности.

В настоящей работе приведены данные о следующих четырех видах поисковых биогеохимических работ, применяемых на соответствующих подстадиях геологопоисковых работ: 1) региональные, мелкомасштабные (1 : 500 000 — 1 : 100 000) поиски, в том числе по биогеохимическим потокам рассеяния; 2) среднемасштабные (1 : 50 000 — 1 : 25 000) поиски, являющиеся основным видом биогеохимических работ; 3) общие поиски (в масштабе 1 : 10 000 — 1 : 5 000); 4) детальные поиски отдельных рудных тел и рудоносных зон в масштабе 1 : 5 000 — 1 : 1 000.

Кроме того, рассматриваются три новых направления в использовании биогеохимии при геологических работах: 1) структурно-геологические исследования с использованием комплекса биогеохимических и геофизических работ; 2) минералогическое картирование площадей рудных полей и месторождений по данным детальных биогеохимических или литобиогеохимических съемок в комплексе с прямыми минералогическими исследованиями на ключевых точках и профилях; 3) оценка интенсивности литохимических ореолов на различных глубинах с определением мощности рыхлого покрова, экранирующего рудные тела, которое может быть названо биогеохимическим каротажем.

В основу настоящей книги положены обобщенные фактические дан-

ные, полученные автором с 1957 по 1983 г., а также сведения из литературных источников. Автором проведены полевые работы на 72 ключевых участках Западной и Восточной Сибири, отобрано и изучено приблизительно 80000 проб растений, почв и горных пород, сделано около 2 млн. определений 45—54 химических элементов в более чем 500 разнообразных биологических объектах.

Автор выражает глубокую благодарность коллективам спектральных лабораторий производственных геологических объединений Бурятгеология и Иркутскгеология, Геологического института Бурятского филиала СО АН СССР и других лабораторий НИИ и производственных геологических объединений СССР, в которых проводились многочисленные анализы, являющиеся основой фактических данных настоящей книги.

Автор признателен В.А. Загоскину, А.И. Пелепягину и А.Б. Каждану за ценные критические замечания, способствовавшие улучшению книги.

## ВВЕДЕНИЕ

Биогеохимические поиски основаны на выявлении биогенных ореолов элементов-индикаторов полезных ископаемых в живых организмах и их остатках. Эти поисковые методы, являющиеся прямыми, комплексными, экономичными и глубинными, до настоящего времени используются незначительно.

Целесообразность их применения в комплексе современных поисково-разведочных работ обусловлена быстро увеличивающейся потребностью в минеральном сырье при значительном (а в ряде случаев практически полном) исчерпании фонда легкооткрываемых месторождений полезных ископаемых в известных рудных регионах. Это требует проведения поисковых работ на закрытых площадях таких регионов, а также в предгорьях, впадинах, на платформах и других закрытых перспективных территориях, где поиски рудных месторождений ранее не проводились. Переход к поискам труднооткрываемых месторождений на закрытых площадях с использованием поискового бурения сопровождается снижением геологической эффективности поисковых работ, несмотря на значительное увеличение затрат. Анализ этих данных позволяет утверждать, что применяемый комплекс поисковых методов является недостаточно эффективным из-за малой глубинности наиболее применяемого на практике прямого геохимического метода — почвенно-геохимического. Очевидно, использование глубинных биогеохимических методов на перспективных закрытых и полузакрытых площадях, рыхлый покров которых не препятствует формированию статистически достоверных ореолов элементов-индикаторов в растениях, будет способствовать повышению эффективности комплекса поисковых работ и открытию новых рудных месторождений.

Целесообразность использования прямых и глубинных биогеохимических поисков на закрытых площадях обусловлена не только низкой эффективностью традиционных геохимических методов в этих сложных условиях ведения поисковых работ, но и выявившимися в последние годы возможностями применения биогеохимии на разных стадиях геолого-разведочных работ (от региональной геологической съемки до детальных поисков) и для решения различных геологических задач.

Опыт производственных работ показывает, что стоимость биогеохимических поисков приблизительно равна затратам на почвенно-геохимические поиски с отбором проб на глубине 0,3–0,4 м и вместе с тем ниже приблизительно в 3 раза стоимости глубинных литохимических поисков при глубине отбора проб рыхлого покрова 2 м, в 10 раз — при глубине отбора 4–6 м и в 100 раз при глубине опробуемых скважин 30–35 м. В связи с этим на закрытых площадях целесообразно проведение глубинных литобиогеохимических поисков с опосредованным опосредованием всей изучаемой площади биогеохимическим методом и проверкой выявленных при этом перспективных аномалий глубинными литохимическими поисками. Это существенно снизит затраты по сравнению с глубинными литохимическими поисками на всей изучаемой территории и обеспечит опосредованное опосредование закрытых площадей с наименьшими затратами времени и средств при минимальном

использовании дорогостоящих буровых работ. Особенно это касается зеленых территорий, непроходимых для самоходных буровых станков. На полузакрытых площадях с мозаичным чередованием открытых участков на водоразделах и закрытых — на склонах и в долинах, а иногда и на низких водоразделах целесообразно проведение литобиогеохимических поисков с одновременным отбором биогеохимических или литохимических проб. Таким образом, как на закрытых, так и на полузакрытых площадях с растительным покровом биогеохимические поиски следует вести в комплексе с литохимическими. Сочетание биогеохимических с другими геологическими, структурно-геологическими, геофизическими и геохимическими методами будет рассмотрено ниже.

Возникновение, становление и развитие биогеохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых стало возможным в связи с быстрым развитием биогеохимии, изучающей закономерности распределения и миграции атомов химических элементов в живых организмах биосферы земного шара, и появлением высокопроизводительных аналитических методов (например, эмиссионного спектрального анализа).

Одним из прикладных направлений современной биогеохимии являются биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых. Начало их в СССР было положено в 20-х годах С.П. Александровым, обнаружившим в золе растений одного из урано-ванадиевых месторождений повышенное содержание ванадия, радия и урана по сравнению с золой растений, произрастающих за пределами рудоносных зон. В начале 30-х годов научные работы в этом направлении проводились в Биогеохимической лаборатории АН СССР по инициативе В.И. Вернадского. Значительный вклад в развитие биогеохимических поисковых методов был сделан академиком А.П. Виноградовым.

Теоретические основы и практическое применение биогеохимических поисковых методов в 30—50-е годы разработаны советскими исследователями С.М. Ткаличем и Д.П. Малюгой и зарубежными — В.М. Гольдшмидтом, С. Палмквистом, Н. Брундиным, Дж.Х. Фоггом, Г.В. Уорреном, Х.Е. Хоксом, Х.Т. Шаклитом и Х.Л. Кэнноном. В конце этого периода вышло первое методическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений, составленное С.М. Ткаличем. 60—70-е годы ознаменовались значительным прогрессом в развитии теории и практики биогеохимических методов.

Практическое значение для геологоразведочных работ имеют методы изучения химического состава живых растений (фитогеохимические методы) и их остатков (торфгеохимические методы, поиски по лесной подстилке и гумусовым горизонтам почв).

С биогеохимическими методами тесно связаны биологические (геоботанические и микробиологические), использующие распространение специфических видов организмов или их физиологических изменений: карликовость, уродства, мелколистность, изменения формы и цвета — хлороз и т.д. Использование геоботанических методов восходит к античным временам. Поэтому в начальные стадии своего развития биогеохимические методы разрабатывались в комплексе с геоботаническими. Многие исследо-

ватели считали и считают до настоящего времени фитогеохимические и геоботанические методы единым методом. На самом деле это самостоятельные методы, использующие различные признаки рудной минерализации, требующие специалистов различной квалификации и имеющие различные сферы практического применения (геоботанические — в основном при поисках вод). Поэтому геоботанические методы, так же как и микробиологические, в этой монографии не рассматриваются.

За последние 15 лет было установлено, что при высоких концентрациях химических элементов в питающей среде, характерных для рудных тел и их лито-, гидро- и атмохимических ореолов, большинство (~95 %) видов и частей растений, а также их остатков (биообъектов) накапливают элементы по различным барьерным типам. Эти типы концентрационных зависимостей в системе "питающая среда — растение" характеризуются наличием предела накопления при частом появлении обратно пропорциональной зависимости в диапазоне максимальных концентраций в питающей среде [3, 14—17]. При барьерных типах накопления элементов-индикаторов биогеохимические ореолы рудных тел искажены в большей или меньшей степени, а в неконцентрирующих, фоновых (неинформативных) биообъектах, имеющих предельные содержания, близкие к фоновым, эти ореолы отсутствуют. Очевидно, что нецелесообразно использовать фоновые биообъекты при поисках руд. Для полного или частичного исключения барьерного накопления элементов-индикаторов растениями и их остатками при биогеохимических поисках рекомендуется использовать небольшое число наиболее информативных в поисковом отношении безбарьерных видов и частей растений. Такие биологические объекты накапливают рудные элементы линейно-пропорционально содержаниям в питающей среде вплоть до весьма высоких концентраций, превышающих местный фон или кларк в соответствующих биообъектах в сотни и тысячи раз. Безбарьерные биообъекты не искажают поисковой информации. Поэтому биогеохимические ореолы в них могут интерпретироваться количественно, а сами безбарьерные биообъекты являются количественно-информативными в корнеобитаемой зоне соответствующих растений. При отсутствии безбарьерных биообъектов наилучшую, приближенно-количественную поисковую информацию о содержании рудных элементов в корнеобитаемой зоне почв и горных пород дают практически безбарьерные виды и части растений, в которых предельные, барьерные концентрации соответствующих элементов-индикаторов значительно (в среднем в 100 раз) превышают местный фон. Такие биообъекты искажают поисковую информацию только в диапазоне наиболее высоких, барьерных концентраций в системе "почва — растение". Практически безбарьерные биообъекты более многочисленны по сравнению с безбарьерными и успешно используются при биогеохимических поисках с учетом того, что выявляемые в них интенсивные ореолы могут быть занижены из-за функционирования антиконцентрационных барьеров. Подробные сведения о физиологических барьерах растений рассмотрены в работах [14—18] и др.

Биогеохимические поиски по безбарьерным и практически безбарьерным биообъектам рекомендуется использовать в практике поисковых ра-

## Месторождения, открытые биогеохимическим методом

Месторождение (страна)	Объекты опробования	Элементы-индикаторы	Концентрация элемента-индикатора, %		Глубина залегания руд, м	Литературный источник
			в золе растений	в почве		
Молибденовое, Эндако (Канада)	Хвойные деревья (хвоя и ветви)	Mo	0,03–1,0	0,001–0,03	0–15	[48, 49]
Медно-молибденовое, Бетлехем (Канада)	То же	Mo	0,002–0,056	Нет данных		[48, 49]
Молибденовое (СССР)	Корка сосны обыкновенной	Mo	0,002–0,02	0,0001–0,1 (на закрытых ореолах 0,0001–0,0003)	0–30	[9, 32]
	Шишки сосны	Mo	0,01–0,1			
	Нижние части стеблей рододендрона	Mo	0,03–0,6			
Стронциевое (СССР)	Корка сосны обыкновенной	Sr	0,3 – > 3,0	0,2–1,0	2 – > 12	[32]
		Ba	0,3 – > 3,0	0,3–3,0		

бот в комплексе с литохимическими, т.е. в рассмотренных выше вариантах литобиогеохимических поисков. При этом в первую очередь опробуют безбарьерные объекты, а во вторую – практически безбарьерные (по отношению к основным рудным элементам) виды и части растений. При отсутствии на точке наблюдения безбарьерных и практически безбарьерных биообъектов могут использоваться барьерные виды и части растений с предельными содержаниями основного элемента-индикатора, превышающими местный фон в 3–30, в среднем в 10 раз. Поиски по этим барьерным биообъектам, называемые *барьерными биогеохимическими*, являются в большинстве случаев малоинформативными, и их результаты нельзя интерпретировать количественно.

Таким образом, в зависимости от количественных барьерных характеристик используемых видов и частей растений выделяют три существенно различных по поисковой информативности вида биогеохимических работ: 1) поиски по безбарьерным или практически безбарьерным видам и частям растений – безбарьерные, количественно-информативные поиски; 2) барьерные, качественно-информативные поиски и 3) биогеохимические псевдопоиски – неинформативные в поисковом отношении биогеохимические исследования.

В настоящей работе под биогеохимическими поисками понимаются в основном поиски по безбарьерным и практически безбарьерным биообъектам.

ектам, получившим сокращенное название *безбарьерные биогеохимические поиски* [16—18, 30].

Практическое использование биогеохимических поисков по сравнению с почвенно-геохимическими незначительно. Наибольшее применение они имели в США (их относительное число в 1970—1971 гг. составило 4,3%), и в Канаде (1,9% [23]). В СССР относительное число биогеохимических проб находилось за последние 25 лет на уровне 0,5—1%, увеличившись в последнее десятилетие до 2%. Биогеохимические поиски ведутся несколькими геологическими организациями. Среди них выделяется производственно-геологическое объединение (ПГО) Центрказгеология, где в 1965—1982 гг. ежегодно исследовалось 60—120 тыс. биогеохимических проб. В 1975—1981 гг. относительно большое число проб растений изучалось в ПГО Бурятгеология (20—60 тыс. проб в год), Самаркандгеология (~20 тыс. проб в год) и Якутскгеология (~10 тыс. проб в год). В большинстве ПГО СССР биогеохимические поиски в производственных масштабах не применяются, хотя во многих из них проводятся опытно-методические и опытно-производственные работы.

Наиболее значительные открытия с помощью биогеохимических методов поисков были сделаны в Канаде, где по повышенному содержанию молибдена в растениях выявлены крупное молибденовое месторождение Эндако и медно-молибденовое месторождение Бетлехем (табл. 1). В СССР первое месторождение (молибденовое) было открыто в 1978 г. [9]. Кроме того, при проверке биогеохимической аномалии в 1978—1980 гг. было выявлено стронциевое месторождение [32]. Можно надеяться, что более широкое производственное применение биогеохимического метода позволит открыть новые месторождения, расположенные на площадях с трудными поисковыми условиями.

## Глава 1. ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

До недавнего времени теоретические основы биогеохимических поисков большинству исследователей представлялись весьма простыми. Они базировались на общих соображениях о наличии тесной геохимической связи между биосферой и литосферой, на представлениях об участии живых организмов в целом и растений в особенности в процессах геохимической миграции, рассеяния и концентрации химических элементов в биосфере, на "твердо установленных" фактах прямой корреляции между содержанием химических элементов в растениях и их содержанием в почвах и материнских породах, подстилающих эти почвы, или же на теории тождественности химического состава живых организмов и мертвой материи. Ряд исследователей исходили при этом из наличия сложной зависимости химического состава живых организмов и, в частности, растений от химического состава среды их обитания. Кроме того, существовало мнение, что химический состав растений имеет незакономерные изменения, которые не могут быть раскрыты и использованы в практике поисковых работ. Эта точка зрения фактически отрицала возможность создания научных основ биогеохимических поисков.

Основываясь на идее о тесной связи между содержаниями элементов-индикаторов руд в растениях и в корнеобитаемой зоне почв и почвообразующих горных пород, большинство исследователей ошибочно считали, что над рудными телами содержание химических элементов увеличивается во всех видах и частях растений. Причины отсутствия биогеохимических ореолов в растениях, корни которых контактируют с рудными телами или их литохимическими ореолами, были выявлены и изучены только в последние годы.

Первой причиной является наличие антиконцентрационных физиологических барьеров у определенных видов и частей растений, ограничивающих накопление некоторых рудных элементов на уровне местных фоновых или кларковых (средних для земного шара) содержаний и делающих такие биообъекты неинформативными в поисковом отношении. Согласно статистическим данным, полученным в последние годы для 23 элементов-индикаторов разнообразных руд, приблизительно половина изученных видов и частей растений характеризуется таким фоновым типом накопления. В связи с этим статистически достоверные биогеохимические ореолы в них над рудными телами отсутствуют.

Второй причиной является абсолютная или практическая недоступность растениям некоторых весьма устойчивых минеральных форм элементов-индикаторов. Примерами таких недоступных растениям минеральных форм химических элементов является бор турмалина и джумортьерита, над зонами распространения которых содержание бора в безбарьерных видах и частях растений уменьшается или остается неизменным при значительном увеличении содержания этого элемента в почвах. Другими примерами устойчивых минералов, химические элементы которых недоступны растениям, являются крупные зерна, агрегаты и выделения самородного

золота, вольфрамита, гюбнерита, шеелита, касситерита, киновари и других, над открытыми рудными телами которых статистически достоверные биогеохимические ореолы в соответствующих безбарьерных биообъектах часто отсутствуют. Третьей причиной отсутствия биогеохимических ореолов в растениях, произрастающих над рудными телами, может быть незначительная глубина проникновения корневых систем у некоторых изучаемых видов растений. При наличии неглубокопогребенных (на 0,5–1 м) рудных тел и литохимических ореолов это может приводить к отсутствию биогеохимических ореолов в безбарьерных видах растений с неглубокопроникающими (0,2–0,4 м) корневыми системами при наличии их в видах растений с более глубокими (1–2 м) корневыми системами. Рассмотренные примеры свидетельствуют о том, что корреляционная связь между содержанием элементов-индикаторов руд в растениях и в корнеобитаемой зоне почв и почвообразующих горных пород может по разным причинам полностью отсутствовать. Выяснение условий, при которых между содержаниями элементов-индикаторов в растениях и в рудах, а также в их лито-, гидро- и атмосхимических ореолах действительно наблюдается тесная связь, является важнейшей проблемой в разработке теоретических и практических основ биогеохимических поисков.

Наши представления об общих теоретических основах биогеохимических поисков приведены в работах [14–17]. Кратко они могут быть сформулированы следующим образом.

1. Растения поглощают химические элементы всеми своими органами и частями из твердой, жидкой и газообразной фаз внешней среды. Поглощенные растениями химические элементы частично выделяются во внешнюю среду в газообразной и водной фазах. Это положение обращает внимание на необходимость учета не только лито- и гидрохимических ореолов рудных тел, но и их малоизученных атмосхимических ореолов.

2. Интенсивность накопления химических элементов растениями имеет наибольшую величину для доступных растениям газообразных форм, значительно меньшую — для растворенных в водах форм жидкой фазы и наименьшую — для форм химических элементов, находящихся в твердой фазе. Отношение интенсивностей накопления растениями химических элементов, находящихся в этих трех фазах внешней среды, характеризуемых растительно-газовым (РГК), растительно-водным (РВК) и растительно-почвенным (РПК) коэффициентами\*, равно в среднем  $300000 : 3000 : 1,0$  при значительных (на 1–2 математических порядка и более) пределах изменения каждого из этих коэффициентов в конкретных условиях (табл. 2).

Это положение делает принципиально возможным количественный учет относительного вклада каждой из трех фаз внешней питающей среды в наблюдаемое содержание изучаемых химических элементов в растениях

---

\* Величина соответствующего коэффициента накопления вычисляется как отношение содержания изучаемого химического элемента в золе растения и в соответствующей фазе внешней среды. В "чистом виде" эти коэффициенты определяются в экспериментальных условиях при питании растений из одной фазы.

Коэффициенты накопления химических элементов для безбарьерных видов и частей растений

Коэффициент накопления	Значения коэффициентов		Химические элементы
	пределы колебаний	среднее	
Растительно-почвенный (РПК)	0,001–0,01	0,01	Au, Be, Hg, B, Al, Si, Sn, Pb, W, Fe в крупных зернах устойчивых минералов
	0,1–0,5	0,3	Be, Ce, Th, Fe
	0,5–2,0	1,0	Большинство элементов
	2,0–5,0	3,0	Cu, Ag, Mg, Tl, Mo
	5–30	10	K, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, B
	30–300	100	Zn, Cd, B, N, P
Растительно-водный корневой (РВК <sub>к</sub> )	10 <sup>2</sup> –10 <sup>5</sup>	3 · 10 <sup>3</sup>	Большинство элементов
Растительно-газовый надземный (РГК <sub>н</sub> )	10 <sup>4</sup> –10 <sup>7</sup>	3 · 10 <sup>5</sup>	C(CO <sub>2</sub> ), N(NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, NO), S(SO <sub>2</sub> ), Hg, Se, F(F <sub>2</sub> , HF), Cl, Br, I
Растительно-газовый корневой (РГК <sub>к</sub> )	–	3 · 10 <sup>5</sup>	N(NH <sub>3</sub> ) и др.

в тех случаях, когда их источником является не одна, а две или три фазы внешней питающей среды. Практически оно делает возможным выявление случаев, когда причиной биогеохимических ореолов и аномалий являются не руды или горные породы и их литохимические ореолы, а гидро- и атмосферические ореолы и аномалии соответствующих ореолообразующих химических элементов.

3. Несмотря на наименьшую интенсивность накопления растениями химических элементов из твердой фазы, основным источником большинства элементов-индикаторов руд является твердая фаза корнеобитаемой зоны почв, почвообразующих горных пород и руд – литохимические ореолы. Это обусловлено тем, что для большинства рудных элементов их газообразные формы во внешней среде отсутствуют, а формы, растворенные в водах, находятся в ничтожных количествах (в 10<sup>4</sup>–10<sup>7</sup> раз меньших, чем в твердой фазе). В связи с этим основная или существенная роль жидкой фазы в накоплении химических элементов в растениях, произрастающих в естественных условиях, устанавливается редко и только для небольшого числа интенсивных водных мигрантов (Na, Cl, S, Cu, B, Zn и др.), присутствующих в больших концентрациях в водах, контактирующих с корнями изучаемых растений. Формирование биогеохимических ореолов и аномалий за счет газообразной фазы внешней среды возможно только для эле-

ментов — газовых мигрантов (Hg, S, Se, F, Cl, Br, I, Rn и изредка других) при наличии их атмосферических ореолов и аномалий.

4. Основными факторами накопления химических элементов безбарьерными биообъектами из твердой фазы почв и горных пород являются их содержание в корнеобитаемой зоне, а также растворимость и крупность зерен минералов, изменяющие интенсивность накопления соответствующих элементов при прочих равных условиях в сотни и тысячи раз. Существенными факторами являются также рН почв и физиологическое взаимодействие химических элементов, изменяющие содержание их в растениях в пределах одного математического порядка (табл. 3). В связи с этим над некоторыми рудными телами, представленными, например, крупными выделениями галенита, вольфрамита, гюбнерита, шеелита, берилла, фенакита, касситерита, самородного золота, турмалина и дюротьерита, биогеохимические ореолы соответствующих рудных элементов (Pb, W, Be, Sn, Au, V) могут отсутствовать, а над зонами с водо- или кислоторастворимыми, а также дисперсными минералами могут наблюдаться биогеохимические ореолы значительно большей интенсивности, чем в корнеобитаемой зоне почв и горных пород. В связи с резко различной доступностью растениям элементов-индикаторов минеральные типы руд и их литохимических ореолов могут быть разделены на весьма благоприятные, благоприятные и непригодные для выявления биогеохимическими методами [14, 15]. Количественная связь между величинами РПК и минеральными формами нахождения ряда рудных элементов, примеры которой приведены в табл. 3, делает возможным и целесообразным определение и оконтуривание с помощью литобиогеохимических данных минеральных форм нахождения рудных элементов в корнеобитаемой зоне почв, почвообразующих горных пород и руд.

5. Количественно-информативные в поисковом отношении рудные биогеохимические ореолы образуются только в безбарьерных видах и частях растений, концентрирующих соответствующие рудные элементы и их спутники линейно пропорционально их содержанию в корнеобитаемой зоне руд, а также в их лито-, гидро- и атмосферических ореолах. В барьерных биообъектах рудные биогеохимические ореолы искажаются в большей или меньшей степени в связи с нарушением прямо пропорциональной зависимости и частым появлением диапазона обратно пропорциональной зависимости при максимальных концентрациях химических элементов в питающей среде.

При биогеохимических поисках выделяют четыре типа биообъектов (рис. 1), характеризующихся различными концентрационными зависимостями химических элементов в системе "питающая среда — биообъект": 1) безбарьерный (количественно-информативный, концентрирующий); 2) практически безбарьерный (приближенно-количественный, с высокими предельными концентрациями, превышающими местный фон или кларк в среднем в 100 раз); 3) барьерный (качественно-информативный, слабоконцентрирующий, с предельными содержаниями, превышающими кларк в среднем в 10 раз); 4) фоновый (неинформативный, неконцентрирующий с низкими предельными содержаниями, близкими к кларку или

Приближенные значения растительно-почвенных коэффициентов (РПК) для различных форм элементов-индикаторов в корнеобитаемой питающей среде

Элемент	Биообъект	Минеральные и неминеральные формы элементов-индикаторов при значениях РПК						
		1000	100	10	1	0,1	0,01	0,001
Zn	Внешние слои корки сосны обыкновенной, лиственницы даурской и сибирской	Растворенные в водах соли	Сфалерит, сульфаты	Сфалерит, смитсонит, НМ-формы*	Fe-формы**	—	—	—
F	Корка березы бородавчатой и плосколистной	Газообразные формы, растворенные в водах соли	Виллиомит, криолит, дисперсный флюорит	Криолит, мелкозернистый флюорит	Крупнозернистый флюорит, НМ-формы	—	—	—
Cu	Корка березы бородавчатой и плосколистной	Растворенные в водах соли	Водорастворимые соединения	Халькопирит, тетраэдрит, ковеллин, НМ-формы при pH почв < 5,0, мелкозернистые выделения малахита	НМ- и Fe-формы при pH почв > 6,0, среднезернистые выделения малахита	Fe-формы, крупные выделения малахита	—	—
Li	Надземные части различных видов василистника	Растворенные в водах соли	Водорастворимые соединения	Лепидолит, циннвальдит, Li-мусковит, мелкие кристаллы сподумена,	Амблигонит, монтебразит, НМ-формы при pH почв 4,0–6,0, мелкие кристаллы сподумена	Средние кристаллы сподумена	Крупнокристаллический сподумен	—
Mo	Надземные части василистника, бобовых, злаковых, осок и полыней; нижние части стеблей рододендрона даурского	То же	Водорастворимые соединения, вульфенит	Вульфенит, йордизит, повеллит, зейрегит, Fe- и НМ-формы при pH почв 7,0–8,0	Зейрегит, мелкошуйчатый молибденит, Fe- и НМ-формы при pH почв 4,0–6,0	Среднешуйчатый молибденит	Крупношуйчатый молибденит	—
B	Корка березы бородавчатой и плосколистной; нижние части стеблей рододендрона даурского	”	Водорастворимые бораты	Улексит, датолит, НМ-формы	Ашарит, данбуригит	Аксинит	Турмалин, дюмортьерит	—
K	Надземные части бобовых, злаковых, осок и полыней	”	Флогопит	Флогопит, биотит, нефелин	Нефелин, гидрофлогопит, мусковит, глаукоцит, гидромусковит	Ортоклаз, микроклин	Крупнозернистые ортоклаз и микроклин	—
Hg <sup>total</sup>	Корка березы бородавчатой и плосколистной	Парообразная ртуть	Дисперсная самородная ртуть	Самородная ртуть, каломель	НМ-формы	Дисперсная киноварь	Мелкозернистая киноварь	Крупнозернистая киноварь
Sn	Надземные части осок	—	—	Станнин, дисперсный кассит	Кварц-сульфиднокасситерит	Среднезернистый кассит	Крупнокристаллический кассит	Крупнокристаллический кассит

Элемент	Биообъект	Минеральные и неминеральные формы элементов-индикаторов при значениях РПК						
		1000	100	10	1	0,1	0,01	0,001
W	Корка березы бородавчатой и плосколистной; внешние слои корки сосны обыкновенной; внешние слои корки лиственницы даурской и сибирской	—	—	терит в сульфидах, НМ-формы Зейрегит, вторичные минералы (тунгстит и другие)	вая минерализация, НМ-формы Зейрегит, вторичные минералы, мучнистый шеелит, НМ-формы	ситерит Мелкозернистый шеелит	касситерит Среднезернистый шеелит, мелкозернистый вольфрамит и гюбнерит	касситерит в кварце Крупнозернистые вольфрамит и гюбнерит
Ra	Корка березы бородавчатой и плосколистной; внешние слои корки лиственницы даурской и сибирской	—	—	Урановые черни, сорбированные формы в глинах, НМ-формы	Дисперсные урановые смолки и слюдки, НМ-формы	Fe-формы, урановая смолка	Уранинит, монацит, титанаты урана	
Be	Корка березы бородавчатой и плосколистной;	—	—	Дисперсные гельвин, даналит, гентгель-	Гельвин, даналит, гентгельвин, гельберт-	Бертрандит, мелкозернистый фенакит	Среднезернистые фенакит и берилл	Крупнозернистые фенакит и берилл

4269

Pb	внешние слои корки сосны обыкновенной Корка березы бородавчатой и плосколистной; внешние слои коры сосны обыкновенной, лиственницы даурской и сибирской	—	—	вин, фосфаты и арсенаты Англезит, церуссит, НМ-формы	рандит, дисперсный берtrandит, НМ-формы Вульфенит, НМ-и Fe-формы	и НМ-формы Мелкозернистый галенит	Среднезернистый галенит	Крупнозернистый галенит
Au	То же	—	—	Дисперсное (< 0,01 мм) самородное золото в глинах и сульфидах, Fe-формы, НМ-формы		Мелкозернистое (0,01–0,1 мм) золото	Среднезернистое (0,1–1 мм) золото	Крупнозернистое (> 1 мм) золото
Fe	"	—	—		НМ-формы, пирит, дисперсный магнетит	Мелкозернистый (0,01–0,1 мм) магнетит	Среднезернистый (0,1–1 мм) магнетит	Крупнозернистый (> 1 мм) магнетит

\* НМ-формы — неминеральные, минералогически не определяемые (изоморфные, солевые и сорбированные формы химических элементов, а также находящиеся в газовой-жидких включениях минералов и в межзерновых промежутках).

\*\* Fe-формы — формы элементов, сорбированные гидроокислами железа.

\*\*\* Данные для золы растений без ~10-кратной поправки на ее потери при озолении проб.



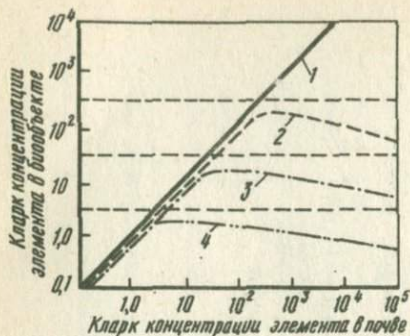


Рис. 1. Типы биообъектов:

1 — безбарьерный; 2 — практически безбарьерный; 3 — барьерный; 4 — фонобарьерный. Пунктирной линией показаны приближенные границы между приведенными типами

безбарьерными по отношению к значительному комплексу элементов-индикаторов разнообразных руд, а также анатомические части растений, для которых типично барьерное накопление большинства рудных элементов с низкими предельными содержаниями. К биообъектам первого типа (преимущественно безбарьерным) относятся внешние покровные ткани корней и внешние, опробковевшие и одревесневшие поверхностные ткани стволов (корка) древесных растений. К биообъектам второго типа (преимущественно барьерным) относятся молодые растущие (листья, побеги, ветви) и репродуктивные (цветы, плоды и семена) органы и части растений. При этом у одинаковых или подобных анатомических частей растений различных видов, родов, семейств и классов КБХ для многих элементов-индикаторов могут иметь близкие величины, различающиеся обычно в 1,5–3 раза (не более чем на один математический порядок), в то время как у различных частей одного вида КБХ могут различаться в сотни и тысячи раз (рис. 2).

Статистические результаты группировки от 50 до 500 видов и частей растений Сибири по отношению к 23 элементам-индикаторам разнообразных руд (табл. 4) показывают, что приблизительно половина (42%) изученных биообъектов являются неконцентрирующими, фонобарьерными (неинформативными), а более трети (36%) — слабokonцентрирующими, барьерными (малоинформативными). Таким образом, почти 80% изученных видов и частей растений Сибири являются неинформативными или малоинформативными в поисковом отношении. Практически безбарьерными (приблизительно количественно-информативными) и безбарьерными (количественно-информативными) видами и частями растений является относительно небольшое их число (соответственно 17% и 5%). Эти статистические данные свидетельствуют о необходимости выбора и использова-

фону). Барьерные типы накопления химических элементов характеризуются наличием у растений (и живых организмов вообще) антиконцентрирующих физиолого-биохимических барьеров при высоких (избыточных для растений) содержаниях в питающей среде.

Исследования антиконцентрирующих барьеров, проведенные в последнее десятилетие на разнообразных рудных месторождениях, показали, что основным фактором, определяющим количественные барьерные характеристики (КБХ) биообъектов растений, является не вид растения, а тип его анатомической ткани. Это позволило выявить биообъекты, являющиеся безбарьерными или практически

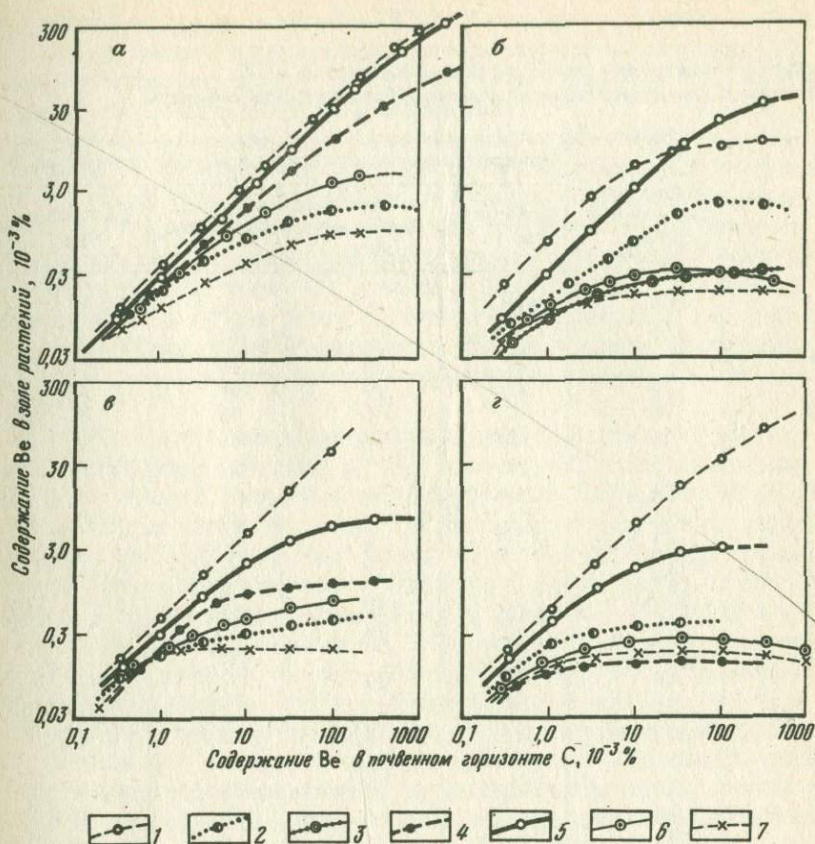


Рис. 2. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями бериллия в системе "почвенный горизонт С (0,7–1,4 м) – биообъекты древесных растений" редкометалльного месторождения

*а* – сосна обыкновенная; *б* – береза плосколистная; *в* – лиственница даурская; *г* – осина дрожащая

1 – корни; 2 – древесина; 3 – луб; 4 – внутренний слой корки; 5 – внешний слой корки; 6 – ветви; 7 – листья (хвоя)

ния при производственных биогеохимических поисках небольшого числа безбарьерных и практически безбарьерных биообъектов, наиболее информативных по отношению к основным элементам-индикаторам руд в конкретных условиях поисковых работ. Эта рекомендация используется на практике с помощью таблиц группировки большого числа видов и частей растений по их барьерным и, соответственно, поисковым характеристикам по отношению к элементам-индикаторам руд. Примеры этих таблиц будут приведены ниже при рассмотрении закономерностей формирования биогеохимических ореолов отдельных рудных элементов. При отсутствии опубликованных данных информация о КБХ широко распространенных

Результаты группировки элементов-индикаторов по их КБХ и поисковым характеристикам в наземных биологических объектах

Элемент	Число изученных видов и частей растений	Относительное число биообъектов различных типов, %			
		безбарьерные	практически безбарьерные	барьерные	фоновбарьерные
Ra	139	100	0	0	0
Sr	157	3	63	32	2
Mo	437	36	25	28	11
Au	178	29	32	26	13
Bi	76	6	40	35	19
Cd	116	7	30	45	18
W	115	18	17	27	38
Rb	152	1	31	57	11
As	91	1	30	52	17
Zn	162	0	18	60	22
Pb	280	4	12	38	46
Fe	226	5	10	30	55
Ba	303	0	14	54	32
Ag	227	3	7	53	37
Cs	65	0	12	48	40
V	116	0	10	51	39
Co	151	0	7	50	43
Cu	238	0	2	41	57
Li	124	1	3	33	63
U	65	0	3	17	80
Fe	212	0	6	6	88
F	235	1	3	3	93
Mn	54	0	0	6	94
Среднее без Ra	—	5	17	36	42

растений может быть получена с помощью специальных опытно-методических работ на известных месторождениях и рудопроявлениях изучаемого района.

6. Глубинность биогеохимических поисков по безбарьерным видам и частям растений в конкретных условиях имеет определенное значение. Она складывается из одной или нескольких составляющих: а) глубины корневых систем, равной обычно 1–5 м и достигающей иногда 70 м; б) величины капиллярного подъема воды над верхним водоносным горизонтом, равной 12 м; в) мощности верхнего водоносного горизонта, несущего рудные гидрохимические ореолы; г) величины восходящей миграции сорбционно-солевых ореолов, достигающей 150 м; д) величины восходящей миграции атмохимических и сорбционно-атмохимических ореолов рудных тел газообразных мигрантов: Hg, S, Se, F, Cl, Br, I, Rn, дости-

гающей для газортутных ореолов 2000 м. В конкретных условиях глубинность определяется с помощью специальных опытно-методических работ и систематических определений при оценке биогеохимических аномалий и ореолов горными выработками и скважинами.

7. В связи с постепенным затуханием биогеохимических ореолов при увеличении мощности экранирующего аллохтонного или склонового покрова, а также с увеличением глубины полного выщелачивания выходов рудных тел и их литохимических ореолов, количественная интерпретация биогеохимических ореолов и аномалий возможна только при небольшом ослаблении биогеохимических ореолов в безбарьерных биообъектах (в пределах одного математического порядка). Возможности качественной интерпретации таких биогеохимических ореолов и аномалий сохраняются вплоть до значений статистически достоверного минимально-аномального уровня.

8. На количественные характеристики рудных биогеохимических ореолов (концентрации основных рудных элементов и их спутников, интенсивность и площадь) влияет масштаб оруденения. В большинстве случаев, когда проекция выходов рудных тел на дневную поверхность равна или превышает диаметр корневых систем изучаемых растений или диаметр площади отбора индивидуальной биогеохимической пробы, с помощью биогеохимических данных, полученных по достаточно густой сети точек отбора безбарьерных биообъектов, возможна приближенно-количественная оценка площадных размеров и продуктивности выходов отдельных рудных тел и месторождений и, соответственно, оценка их прогнозных запасов на уровне эрозионного среза. При весьма локальной рудной минерализации, меньшей некоторой критической величины (например, гнездовые выделения размером менее 10 см или прожилки, линзы и слои мощностью менее 3 см, отдельные рудные глыбы, обломки и т.п.), связанные с ней биогеохимические ореолы могут отсутствовать.

9. Влияние на рудные биогеохимические ореолы геохимических особенностей ландшафта, загрязнения внешней среды, климата, времени исследования растений, неоднородности изучаемых биологических объектов и других искажающих факторов при современной методике проведения биогеохимических поисков обычно несущественно и может быть исключено или учтено при интерпретации полученных результатов.

10. Целесообразность практического применения биогеохимических поисков обусловлена необходимостью достаточно быстрого и достоверного опоскования с наименьшими затратами времени и средств широко распространенных площадей с труднооткрываемыми рудными телами, погребенными под маломощным (от 2 до 50 м) покровом аллохтонных и склоновых (транзитных) образований или полностью выщелоченными на небольшую (1–10 м) глубину. Эта целесообразность определяется в основном экономическим фактором — значительно меньшей стоимостью глубинного опоскования закрытых и полузакрытых территорий биогеохимическим методом по сравнению с лито- и гидрохимическими исследованиями поисковых скважин соответствующей глубины.

11. Биогеохимические поиски являются составной частью современно-

го комплекса поисково-разведочных и структурно-геологических работ. Основой геохимических поисков в ближайшем будущем должны быть комплексные литобиогеохимические поиски.

Сформулированные выше общие теоретические основы биогеохимических поисков месторождений полезных ископаемых не охватывают всего разнообразия факторов, влияющих на минеральный состав растений и формирование биогеохимических ореолов разнообразных полезных ископаемых в конкретных условиях. Поэтому они требуют разработки применительно к биогеохимическим поискам основных видов полезных ископаемых [19].

## Глава 2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНЫХ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ НА ПРИМЕРЕ

### Zn, Pb, Cu, Hg, Mo И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ

Закономерности формирования рудных биогеохимических ореолов подробно изложены в монографии [15]. Ниже они будут кратко рассмотрены на примере Zn, Pb, Cu, Hg, Mo, являющихся индикаторами месторождений полиметаллов, меди, ртути, молибдена и ряда других рудных месторождений, для которых они являются надежными элементами-индикаторами руд, их формационной принадлежности и уровня эрозионного среза. Приведены также основные данные по биогеохимии Ag, Au, Cd, В, Tl, Ti, Zr, Sn, V, As, Sb, Bi, Cr, W, Mn, F, Fe, Co, Ni, Na, Li, Rb, Cs, Be, Sr, Ba, Ra, Sc, Y, La, Ce, Yb, Th, U, Hf, Ge, Nb, которые являются литохимическими индикаторами или спутниками многих типов месторождений черных, цветных, редких и благородных металлов, а также месторождений бора, флюорита и радиоактивных элементов.

Основной целью рассмотрения закономерностей формирования биогеохимических ореолов является ознакомление с данными по барьерным и безбарьерным биообъектам растений, по доступности растениям элементов-индикаторов руд и другим вопросам, имеющим важнейшее значение при биогеохимических поисках разнообразных полезных ископаемых. Дополнительную информацию по биогеохимии отдельных рудных элементов и особенностям формирования их рудных биогеохимических ореолов можно найти в работах по биогеохимическим поискам рудных месторождений, биогеохимии и микроэлементам в биосфере [2-8, 12, 14-25, 27, 29-31, 34, 36-45, 47-50 и др.].

#### Цинк

Цинк является универсальным индикатором большинства рудных месторождений: железорудных, полиметаллических, золоторудных, ртутных, редкометалльных, молибденовых и вольфрамовых. Он выделяется среди других элементов-индикаторов большой интенсивностью поглощения растениями, произрастающими в естественных условиях. Это обусловлено значительной подвижностью цинка и малой устойчивостью в зоне гипергенеза его основного минерала — сфалерита. Вследствие этого для распределения цинка в вертикальных почвенных разрезах над цинксодержа-

щими рудоносными зонами характерно резкое (в 10–100 раз) увеличение его содержаний при углублении от горизонта А к горизонтам С и Д. За пределами зон цинковой минерализации увеличение содержаний цинка с глубиной обычно незначительно — только в 1,2–2 раза. По нашим данным, отношение средних содержаний цинка в золе растений и в горных породах земного шара для корки стволов большинства видов древесных растений Сибири равно 6, а для корки различных видов березы 30 (без поправки на потери цинка при озолении растений). Истинные значения РПК цинка для корки стволов деревьев находятся обычно в пределах от 20 до 30, достигая у корки березы (бересты) 200. В связи с высокой интенсивностью поглощения цинк выявляется в золе растений даже в тех случаях, когда не обнаруживается в почвах (< 0,005 % — предел обнаружения цинка эмиссионным спектральным анализом). Это дает возможность определения его в корке стволов живых деревьев непосредственно в поисковом маршруте с помощью полевых рентгеноспектральных анализаторов [19 и др.].

Фоновые содержания цинка в золе растений изменяются от 0,005 до 1 %. Наименьшие значения (порядка 0,005–0,02 %) характерны для травянистых растений, произрастающих на почвах с пониженными содержаниями цинка (0,001–0,003 %). Максимальные фоновые содержания цинка, близкие к 1 %, наблюдаются в корке стволов различных видов березы, произрастающих на почвах с повышенными содержаниями этого элемента. Наиболее часто встречающиеся содержания цинка в корке стволов хвойных деревьев (сосна, кедр, лиственница, ель, пихта) составляют 0,02–0,04 % (в среднем 0,03 %). Для корки березы характерен фон порядка 0,1–0,3 % с увеличением на отдельных участках до 1 %. Это иногда вводит в заблуждение поисковиков, принимающих такие высокие содержания цинка за аномальные. Максимальные содержания цинка в золе большинства видов и частей растений, произрастающих над цинксодержащими рудными телами, равны обычно 0,2–2 %, достигая 5 % и превышая местный фон в 10–100, редко в 150–300 раз. В корке стволов берез в этих условиях обычны содержания 3–10 %, превышающие местный фон (0,1–0,3 %) в 10–100 раз. Иногда максимальные концентрации цинка в ней достигают 20 %, превышая фон в 30–200 раз. Приведенные выше данные о содержаниях цинка в золе растений не учитывают его потери при озолении и являются заниженными в 1,5–3 раза. Поэтому при сравнении содержаний цинка в золе и в неозоленных пробах следует определять коэффициент потерь цинка при принятой технологии озоления растений.

Следует иметь в виду, что оба одновременно действующих фактора (повышенные в несколько раз содержания цинка в корке березы и максимальная глубина ее корней) делают бересту биообъектом, наиболее целесообразным для биогеохимического опробования при использовании цинка в качестве элемента-индикатора разнообразной рудной минерализации. Поэтому в районах и на участках, где возможно опробование берез с необходимой густотой точек наблюдения, рекомендуется использовать для опробования бересту. Отбор проб бересты в этих условиях целесообразен также в связи с тем, что она является наиболее информативным, безбарьерным или практически безбарьерным биообъектом по отношению к Cu,

## Группировка биологических объектов Сибири по поисковой информативности на цинк

Группа	Тип био-объекта	Характеристика биообъектов над цинксодержащими рудными телами*	Номер био-объекта**	Число биообъектов (относительное число, %)	
				надземные части	корни
I	Безбарьерный	$C_M \geq 3-20\%$ и превышают $C_F$ в 300 раз и более; РПК = 20-300	—	—	—
II	Практически безбарьерный	$C_M = 0,3-10\%$ и превышают $C_F$ в среднем в 100 раз; РПК = 5-50	1-5	30	6
III	Барьерный	$C_M = 0,03-3\%$ и превышают $C_F$ в среднем в 10 раз; РПК = 0,5-5	6-66	(18)	(35)
			67-117	97	11
IV	Фонобарьерный	$C_M < C_a$ ; РПК = 0,2-2,0	118-170	(60)	(65)
			171-179	35	—
				(22)	

\*  $C_M$ ,  $C_F$  и  $C_a$  — максимальное, фоновое и минимально-аномальное содержания цинка в золе соответствующих биообъектов.

\*\* Номера биообъектов: 1-3 — корка стволов сосны обыкновенной, березы бородавчатой и плосколистной; 4 — мох (кукушкин лен); 5 — лишайник (олений мох);

6-9 — корка стволов лиственницы даурской и сибирской, кедра сибирского и пихты сибирской; 10-30 — ветви и побеги березы бородавчатой и плосколистной, сосны, лиственницы даурской и сибирской, ели сибирской, кедра, багульника болотного, голубики, жимолости голубой и обыкновенной, малины сахалинской, рододендрона даурского, смородины мелкоцветной и шиповника иглистого; 40-42 — листья березы бородавчатой и плосколистной и осины дрожащей; 43-53 — зеленые надземные части злаковых (волосенца сибирского, ковыля сибирского, костера иркутского и сибирского, овсяницы луговой, райграса высокого, тонконога тонкого), княжика сибирского, липучки обыкновенной, прострела и хвоща лесного; 54-66 — корни березы бородавчатой и плосколистной, ивы козьей, осины, кедра, лиственницы даурской и сибирской, василистника байкальского, вики однопарной, лапчатки пикмолостной, полыни Гмелина, обыкновенной и холодной;

67-70 — корка стволов осины, ивы, ольхи кустарниковой и рябины; 71-86 — ветви и побеги ивы, осины, ерника, ивки, курильского чая, ольхи, рябины и таволги; 87-91 — листья ивы, таволги, ерника, ивки, курильского чая; 92-101 — хвоя (листья) сосны, лиственницы даурской и сибирской, ели, кедра, багульника, голубики, жимолости обыкновенной, рододендрона и смородины; 102-112 — зеленые надземные части астры альпийской, брусники, черники, вейника наземного, кипрея узколистного, осоки лесной, скабиозы вечной, скерды тонколистной, полыни Гмелина, обыкновенной и холодной; 113-116 — корни аконита бородавчатого, кипрея, поповника и схизонепеты многонадрезной; 117 — весенний сок березы плосколистной;

118-123 — древесина стволов березы бородавчатой и плосколистной, ольхи,

Ag, Au, Cd, Hg, Tl, As, Sb, Bi, F. При слабой густоте произрастания берез рекомендуется опробовать отдельные растения этого вида дополнительно к сети опробования других видов.

Статистические результаты группирования 179 видов и частей растений Сибири по их количественным барьерным и, соответственно, поисковым характеристикам по отношению к цинку (табл. 5) говорят о пригодности для опробования на этот элемент 117 из 179 (67%) биообъектов. Однако наиболее информативными, практически безбарьерными являются пять биообъектов: корка стволов сосны обыкновенной, корка березы бородавчатой и плосколистной, мох (кукушкин лен) и лишайник (олений мох). Количественные барьерные характеристики растений по отношению к цинку требуют дальнейшего изучения, так как наши исследования были проведены на участках с относительно небольшим содержанием цинка в почвах, превышающим фоновое не более чем в 200 раз (до 1% при фоне 0,005%). Весьма вероятно, что на почвах с более высокими содержаниями цинка (порядка 5–10%) будут выявлены наиболее ценные биообъекты, безбарьерные по отношению к цинку. Примеры концентрационных кривых для цинка в системе "почвенный горизонт питания растения – изучаемый биообъект" приведены на рис. 3.

Интенсивность поглощения цинка безбарьерными и практически безбарьерными видами и частями растений зависит от форм его нахождения в почвах. Наибольшие величины РПК цинка, характеризующие количественно эту интенсивность, наблюдаются над слабыветрелыми рудными телами, в которых цинк в корнеобитаемой зоне представлен сфалеритом и ближайшими продуктами его разложения, в основном сульфатами (см. табл. 3). Так как неминеральные формы цинка, характерные для безрудных горных пород, менее доступны растениям, то над слабыветрелыми цинксодержащими зонами обычно наблюдаются более контрастные биогеохимические ореолы по сравнению с почвенно-геохимическими (рис. 4). В подобных условиях коэффициент контрастности (отношение макси-

---

ели, кедр и осины; 124–135 – луб березы бородавчатой и плосколистной, ивы, осины, ольхи, рябины, лиственницы даурской и сибирской, ели, кедр, сосны, пихты; 136–139 – листья жимолости голубой, ольхи и рябины, хвоя пихты; 140–144 – сухие опробковевшие шишки ели, лиственницы даурской и сибирской, кедр и сосны; 145–170 – зеленые надземные части бобовых (астрала донникового, перепончатого и приподнимающегося, бобового гигантского, вики однопарной, горошка заборного и мышьиного, клевера лугового), аконита бородачатого и Чекановского, борщевика, василистника, костяники, кроволебки аптечной, лапчатки, марьиного корня, очитка пурпурового, поповника, саранки, серпухи васильковой, смолевки обыкновенной, схизонепеты, тысячелистника азиатского, хвеща, чемерицы и черемши;

171–176 – древесина стволов лиственницы даурской и сибирской, пихты, ивы, осины и рябины; 177–179 – надземные части зопника, лебеды и морковника.

В этой и следующих аналогичных таблицах номера биообъектов, имеющих характеристики, соответствующие смежным группам, подчеркнуты

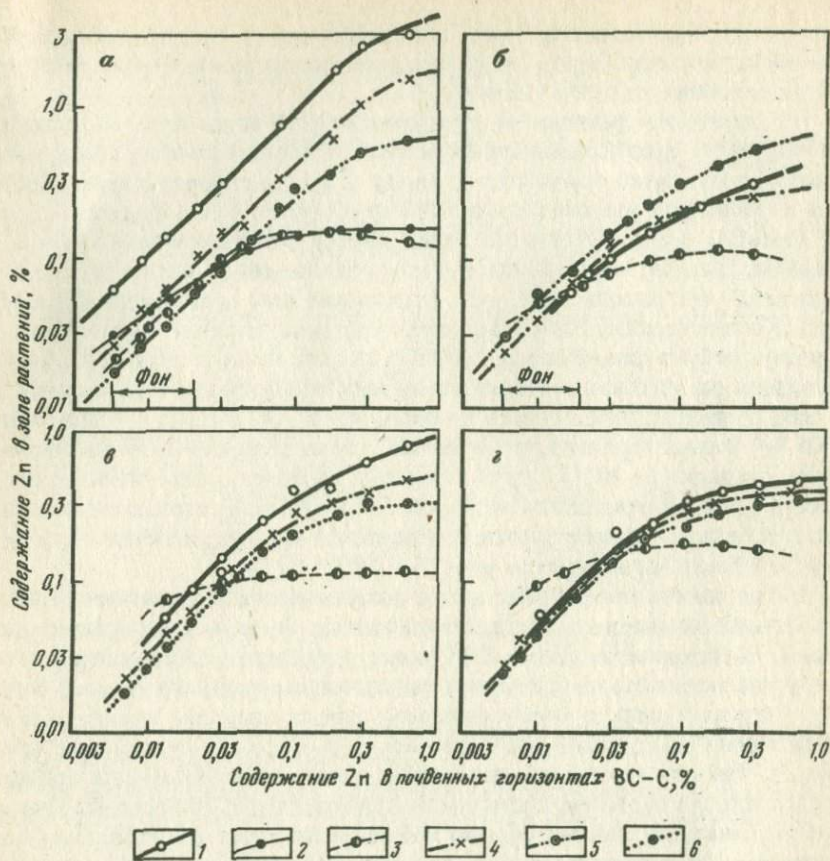


Рис. 3. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями цинка в системе "почвенный горизонт ВС-С (0,5–2,0 м) – биообъекты древесных растений"  
*a* – береза плосколистная; *б* – осина дрожащая; *в* – лиственница даурская; *г* – ива козья  
 1 – корка; 2 – луб; 3 – древесина; 4 – ветви; 5 – листья; 6 – хвоя

мального содержания к фону) биогеохимических ореолов в 2–10 раз больше почвенно-геохимических. Это свидетельствует о том, что над слабовыветрелыми рудоносными зонами биогеохимические поиски по цинку в безбарьерных биообъектах растений имеют существенное преимущество перед почвенно-геохимическими даже при наличии открытых вторичных литохимических ореолов, в том числе на водоразделах. При наличии хорошо проработанных кор выветривания, мощность которых в несколько раз превышает глубину проникновения корней, например при развитии зон окисления сульфидных месторождений типа "железной шляпы", остаточные формы цинка прочно связаны с гидроокислами железа. В этих условиях РПК цинка над рудными телами меньше, чем за пределами рудоносных

зон, а биогеохимические ореолы менее контрастны по сравнению с почвенно-геохимическими [3, 14]. Эти неблагоприятные для биогеохимических поисков условия обычно имеют локальное распространение [3, 13].

Поскольку в зоне гипергенеза цинк легко мигрирует с водами, на формирование биогеохимических ореолов этого элемента могут оказывать влияние гидрохимические ореолы рудных тел и месторождений. Это влияние вполне возможно в зоне гумидного климата. Пример смещения биогеохимических ореолов цинка под влиянием гидрохимических ореолов приведен на рис. 5, на котором видно, что биогеохимические ореолы цинка (и меди) только частично совпадают с гидрохимическими, оконтуренными при опробовании колодцев. Они охватывают площадь, смещенную в направлении течения подземных вод на сотни метров. Известны и другие примеры взаимосвязи между био- и гидрохимическими ореолами цинка. При этом в одних случаях площадь биогеохимических ореолов цинка совпадает с площадью известной цинковой минерализации, а в других — превышает ее, смещаясь на десятки, а иногда на 100–300 м, в основном в направлении современного течения подземных вод.

Цинк является одним из элементов контрастного накопления одинаковыми частями различных видов растений. Для практики биогеохимических поисков важно то, что относительное содержание цинка в одинаковых или близких видах растений, произрастающих в различных регионах земного шара, является стабильной величиной [15 и др.]. Это дает возможность использовать *относительные содержания цинка в биологических объектах* (ОСБО), характеризующиеся стабильными во времени содержаниями этого элемента, в качестве поправок на разнородность биогеохимического опробования. В табл. 6 приведены данные о величинах ОСБО цинка для биологических объектов, рекомендуемых для опробования на этот элемент. Они показывают, что наибольшие значения ОСБО характерны для различных частей березы, особенно для корки ее стволов и отчасти для корки стволов осины дрожащей. Это требует введения поправок в тех случаях, когда при систематическом опробовании, например, сосны и лиственницы на отдельных точках наблюдения или на отдельных участках опробуется береза или осина. Без введения этих поправок могут быть выявлены ложные "березовые", "осиновые" и другие видовые биогеохимические аномалии цинка.

Для получения стабильных во времени результатов биогеохимических поисков для опробования на цинк следует использовать старые опробованные или одревесневшие части древесных и кустарниковых растений: корку стволов деревьев и 2–8-летние отрезки ветвей древесных и кустарниковых растений, в которых содержание цинка во времени изменяется не более чем на  $\pm 10$ –20 %.

Результаты опробования травянистых растений показывают, что возможно существенное изменение содержания цинка во времени. По имеющимся данным, эти изменения незакономерны. У одних видов растений содержание цинка в сухом веществе наземных частей от весны к осени увеличивается, а у других — уменьшается. В золе содержание цинка изменяется в меньшей степени — обычно не более чем в 1,5–2 раза, так как со-

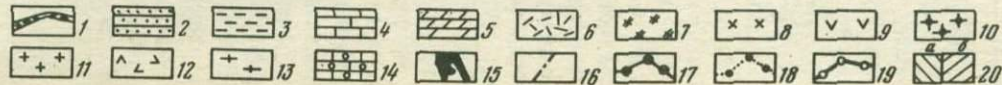
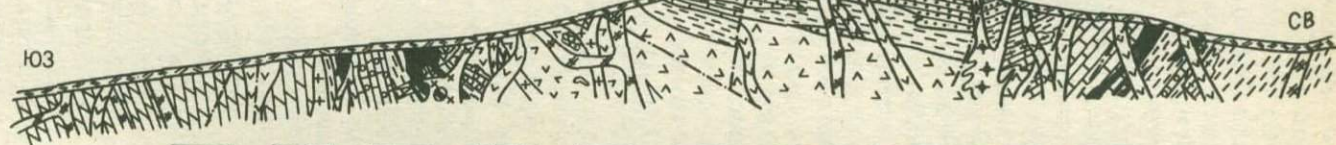
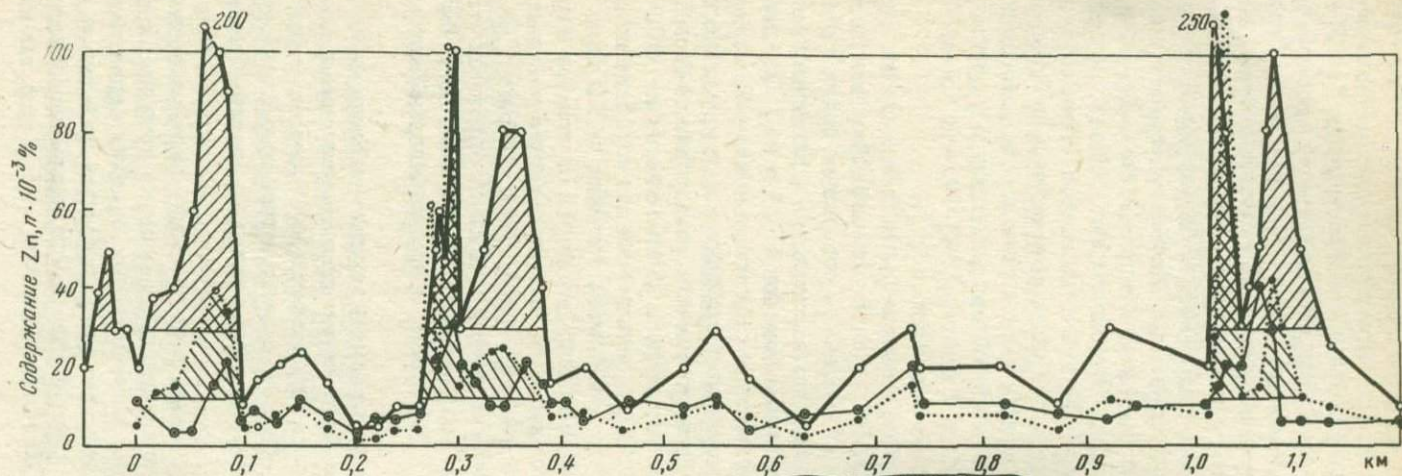


Рис. 4. Распределение цинка в почвах и золе растений по профилю редкометалльного месторождения (геологический разрез по В.И. Гальченко)

1 - рыхлые образования; 2-5 - метаморфические породы (2 - песчаники, 3 - сланцево-карбонатные породы, 4 - известняки, 5 - доломиты); 6-13 - интрузивные породы (6 - фельзит-порфиры, 7 - лейкократовые сиенит-порфиры, 8 - сиенит-порфиры роговообманковые и сиенито-диоритовые порфиры, 9 - диоритовые порфиры, 10 - граниты и граносиениты субщелочные, 11 - граниты биотитовые и плагиограниты, 12 - габбро-диориты скаполитизированные, диориты, 13 - габбро-диориты и диориты мелко-среднезернистые гнейсовидные); 14 - скарны; 15 - редкометалльные рудные тела; 16 - разрывные нарушения; 17-19 - содержание цинка (17 - в горизонте А почв (0-0,1 м), 18 - в горизонте С почв (0,7-1,4 м), 19 - в корке сосны обыкновенной); 20 - аномалии (а - в почвах, б - в растениях)

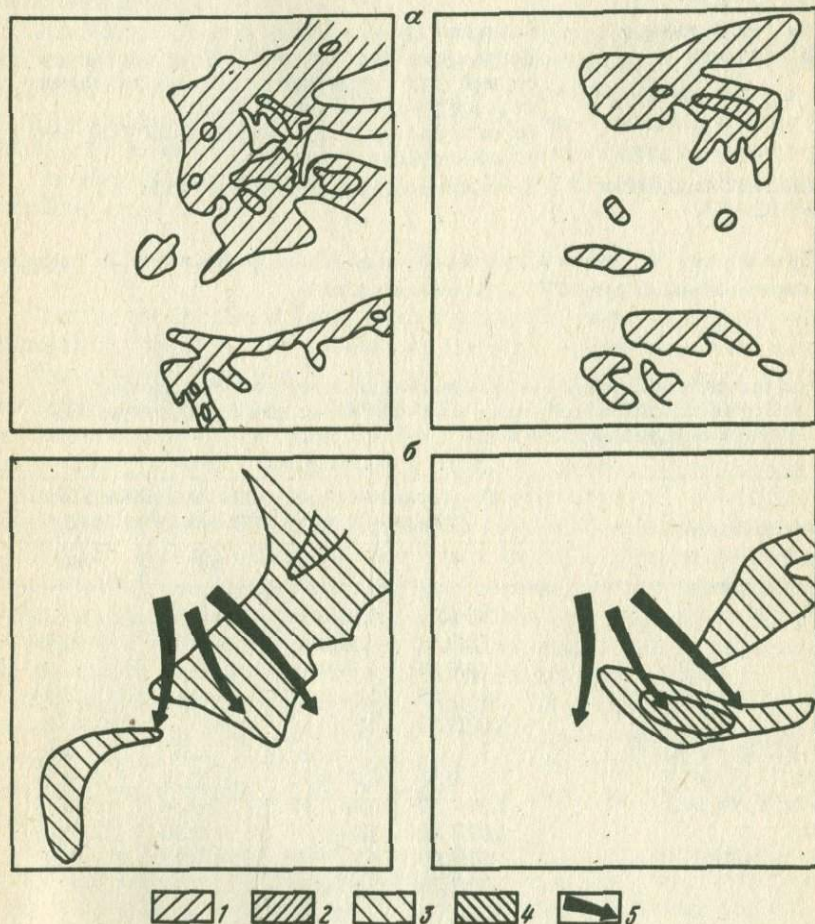


Рис. 5. Соотношения между биогеохимическими (а) и гидрохимическими (б) аномалиями в районе Нокса в Финляндии (по В. Мармо)

Содержание в бруснике, мг/кг: 1 - медь 20-30, цинк 50-55; 2 - медь > 30, цинк > 55. Содержание в колодезных водах, мг/л: 3 - медь 0,5-2,0, цинк 5-10; 4 - медь > 2,0, цинк > 10; 5 - основные направления течения грунтовых вод

## Группировка биологических объектов по величине ОСБО

Группа биообъектов	Виды, органы и части органов растений (значения их ОСБО без поправки на потери при озолении)
Умеренные концентраторы (ОСБО 5-20)	Корка березы бородавчатой, плосколистной и пушистой (6,4)
Слабые концентраторы (ОСБО 2,5-4,0)	Не выявлены
Повышенного накопления (ОСБО 1,5-2,5)	Ветви березы (2,3); корка осины дрожащей (2,1)
Среднего накопления (ОСБО 0,6-1,4)	Ветви ивы (1,4) Корка сосны обыкновенной (1,0); ветви таволги средней (1,0); ветви осины (1,0); корка лиственницы даурской и сибирской (0,8)
Пониженного накопления (ОСБО 0,3-0,5)	Ветви осины (0,7); ветви лиственницы (0,6); ветви рододендрона даурского (0,6) Ветви жимолости обыкновенной (0,4)

Примечание.  $C_{\Phi}$  цинка в золе биообъектов (без поправки на потери при полевом методе озоления) при ОСБО 1,0 составляет 0,03 %.

Таблица 7

Среднее относительное содержание химических элементов в свежих пробах листьев березы плосколистной, осины дрожащей и хвой лиственницы даурской, обработанных дистиллированной водой

Химический элемент	Относительное содержание элементов в пробах в зависимости от времени выщелачивания, ч			
	3	15	60	300
B	0,83/0,77	0,58/0,50	0,53/0,40	0,38/0,25
Mo	0,88/0,82	0,66/0,58	0,66/0,50	0,50/0,33
Zn	0,90/0,84	0,86/0,76	0,86/0,65	0,61/0,40
Ni, Sn, Ra ( $\alpha$ -активность)	0,94/0,87	0,93/0,82	0,90/0,68	0,76/0,50
Fe, Co	0,97/0,90	0,95/0,84	0,96/0,73	0,92/0,60
Зола, Na, Ca, Mg, As, V	1,0/0,93	1,0/0,88	1,0/0,76	1,0/0,66
Mn, Ba, Ti, Ga, Be	1,02/0,95	1,02/0,90	1,05/0,80	1,06/0,70
Si, P, Zr, Y, Yb, Sc	1,04/0,97	1,06/0,93	1,10/0,84	1,13/0,75
Sr, Cd	1,07/1,00	1,09/0,96	1,18/0,90	1,20/0,79
Al, Cu, Ag	1,07/1,00	1,10/0,97	1,21/0,92	1,30/0,86
Pb, Cr	1,07/1,00	1,13/0,98	1,25/0,95	1,39/0,90

Примечания. 1. Содержание в исходных пробах принято равным единице. 2. Данные по B, Sn, Na, As, V, Be, Y, Yb, Sc, Cd предварительные (получены по результатам анализов 2-4 проб). 3. В числителе приведено содержание в золе, в знаменателе - в сухом веществе.

держания цинка и золы в сухом веществе растений в некоторой степени синхронны.

Изучение вымывания цинка из надземных частей травянистых растений дождями показывает, что в результате этого фактора содержание цинка может уменьшаться на 40–50 % от их первоначальной величины, а спустя 24 ч восстанавливается до 100 %. Данные о выщелачивании цинка из растений водой приводятся в ряде работ. Они подтверждаются и нашими экспериментами. Как видно из данных табл. 7, цинк является одним из наиболее подвижных элементов в листьях растений. В связи с выщелачиванием его дождями и быстрым восстановлением опробование травянистых растений на цинк следует проводить через два-три дня после окончания интенсивных дождей.

При использовании цинка в качестве индикатора рудных месторождений следует иметь в виду, что при озолении проб часть его улетучивается. В связи с тем что величина потерь цинка одинакова при фоновом и аномальном содержании, необходима стандартизация условий озоления всех проб; отбираемых на поисковом планшете. В необходимых случаях должны определяться и вводиться поправки на потери цинка при озолении растений.

### Свинец

Свинец, так же как и цинк, является элементом-индикатором многих рудных месторождений. Особенности накопления свинца растениями более благоприятны для его использования при биогеохимических поисках, чем цинка. Это обусловлено малой подвижностью свинца в зоне гипергенеза. Вследствие этого при значительном и даже полном выщелачивании цинка (и меди) из почв и элювиального рыхлого покрова (элювиальных литохимических ореолов), например в "железных шляпах" колчеданно-полиметаллических месторождений, обычно наблюдаются интенсивные литохимические ореолы свинца. В некоторых случаях содержание свинца в этих элювиальных, остаточных литохимических ореолах по сравнению с их содержанием в неизмененных рудах увеличивается в 1,5–5 раз. Чаще же элювиальные литохимические ореолы свинца выщелочены и содержание его в обычно опробуемых подгумусовых почвенных горизонтах В и С меньше содержания в неизмененных рудах в 1,3–3 раза, в гумусовом горизонте в 2–5 раз, а по сравнению с элювиальными ореолами "железной шляпы" — в 3–10 раз. Биогеохимические ореолы этого элемента в основном локальны и тесно связаны с рудными телами и их вторичными литохимическими ореолами.

Фоновые содержания свинца в золе растений находятся в пределах от 5 до  $200 \cdot 10^{-4}$  % (в среднем приблизительно  $20-50 \cdot 10^{-4}$  %). Из-за существенных потерь при озолении растений наблюдаемые фоновые содержания свинца могут быть в 1,5–3 раза меньше приведенных выше величин и равны обычно  $10-30 \cdot 10^{-4}$  %. Поскольку кларк свинца в почвах и горных породах равен соответственно 16 и  $20 \cdot 10^{-4}$  %, РПК этого элемента обычно близок к 0,5, изменяясь от 0,2 до 2,0. В относительно редких случаях, осо-

бенно при наличии в корнеобитаемой зоне почвообразующих горных пород дисперсных вторичных минералов, например плюмбозита, церуссита и англезита, а также солевых форм свинца, величины РПК свинца на открытых литохимических ореолах превышают 1,0, достигая 30. Над-неокисленными рудными телами с галенитом, находящимся в корнеобитаемой зоне, величины РПК свинца могут уменьшаться до 0,001 и менее (см. табл. 3). В связи с недоступностью для растений свинца массивных галенитовых руд известен пример, когда над галенитовой жилой биогеохимический ореол отсутствовал, а повышенными концентрациями свинца в растениях отмечался первичный ореол этой жилы [37].

В связи с тем что большинство видов и частей растений накапливают свинец по барьерному типу, при использовании этого элемента для поисков полиметаллических и других рудных месторождений необходимо использовать не любые, а только наиболее информативные безбарьерные и практически безбарьерные биообъекты. Полученные к настоящему времени данные для растений Сибири показывают (табл. 8), что безбарьерными и практически безбарьерными по отношению к высоким концентрациям свинца являются только 57 из 305 изученных биообъектов (19%). При этом из 280 изученных надземных биообъектов к этим двум группам количественно-информативных видов и частей растений относится только 33 (12%). Относительно большое число изученных биообъектов растений Сибири (67 или 22%) являются фоновыми, неинформативными по отношению к высоким концентрациям свинца в корнеобитаемой зоне. К переходной группе между фоновыми, неконцентрирующими и слабоконцентрирующими биообъектами с предельными содержаниями свинца над открытыми рудными телами, превышающими фон в 2–5 раз, что для единичных точек наблюдения является статистически недостоверным превышением, относится 125 (41%) биообъектов. В сумме эти две группы неинформативных и практически неинформативных биообъектов включают более половины (53%) всех изученных видов и частей растений Сибири.

При изучении количественных барьерных характеристик растений одного из колчеданно-полиметаллических месторождений автор обнаружил малоизученное явление — разделение видов растений на две группы особей с барьерным и безбарьерным накоплением свинца в некоторых их частях. На возможность этого разделения мы обратили внимание в связи с тем, что на многих точках наблюдения в характерных красных почвах с высокими концентрациями свинца, равными 0,1–0,5%, в листьях и ветвях березы плосколистной, осины дрожащей, ивы козьей, рододендрона даурского и голубики, а также в ветвях лиственницы даурской, при статистической обработке фактических данных наблюдались непонятные, на первый взгляд, соотношения между содержаниями свинца в почвах и растениях: содержание свинца в растениях было то высоким, пропорциональным концентрациям в почве, то низким, равным фоновому содержанию. Разделение перечисленных биообъектов на две разнородных группы было установлено с помощью вариационных кривых, имеющих два пика (рис. 6). Построение их было возможно в связи с тем, что число точек наблюдения

## Группировка биообъектов Сибири по поисковой информативности на свинец

Номер группы	Тип биообъекта	Характеристики биообъектов над свинецсодержащими рудными телами	Номер биообъекта*	Число биообъектов (относительное число, %)	
				надземные части	корни
I	Безбарьерный	$C_M \geq 0,1-10\%$ и превышают $C_F$ в 300 раз и более; РПК = 0,1-10	1-31 32-42	12 (4)	24 (96)
II	Практически безбарьерный	$C_M = 0,01-1\%$ и превышают $C_F$ в среднем в 100 раз; РПК = 0,03-3,0	32-42 43-57 58-81	33 (12)	-
III	Барьерный	$C_M = 0,003-0,3\%$ и превышают $C_F$ в среднем в 10 раз; РПК = 0,003-0,3	58-81 82-113 114-238	105 (38)	1 (4)
IV	Фонобарьерный	$C_M < C_a$ ; РПК = 0,0003-0,03	114-238 239-305	130 (46)	-

\* Номера биообъектов: 1-3 - внешние слои корки стволов сосны обыкновенной, лиственницы даурской и сибирской; 4 - лесная подстилка лиственничной тайги; 5 - мох (жукушкин лен); 6 - лишайник (ягель - олений мох); 7-31 - корни березы бородавчатой и плосколистной, ивы козьей, осины дрожащей, ели сибирской, лиственницы даурской и сибирской, кедра сибирского, багульника болотного, сосны, рододендрона даурского, аконита бородатого, астрагала донникового и приподнимающегося, вики однопарной, полыни Гмелина, обыкновенной и холодной, василистника байкальского, зопника клубненосного, кровохлебки аптечной, лапчатки пижмолистной, поповника, схизонепеты многонадрезной и тысячелистника азиатского;

32-34 - корка стволов сосны, лиственницы даурской и сибирской; 35 - внешние слои корки кедра; 36-38 - средние слои корки сосны, лиственницы даурской и сибирской; 39-41 - листья багульника, хвоя лиственницы даурской и сибирской; 42 - надземные части брусники;

43-45 - корка стволов кедра, березы бородавчатой и плосколистной; 46 - внешние слои корки ели; 47 - средние слои корки кедра; 48-50 - внутренние слои корки сосны, лиственницы даурской и сибирской; 51-53 - древесина верхних частей пней сосны, лиственницы даурской и сибирской; 54-57 - сухие, опробковевшие шишки сосны, кедра, лиственницы даурской и сибирской; 58-60 - колосья ветши ветника наземного и райграса высокого, плоды с плодоножками тысячелистника азиатского;

61 - корка стволов ели; 62-64 - внешние слои корки ивы, осины и пихты сибирской; 65 - средние слои корки ели; 66 - внутренние слои корки кедра; 67-69 - корка с лубом сосны, лиственницы даурской и сибирской; 70-75 - побеги березы бородавчатой и плосколистной, лиственницы даурской и сибирской, багульника и малины сахалинской; 76-78 - стебли багульника, малины и рододендрона; 79-81 - молодая поросль лиственницы даурской и сибирской;

с высокими концентрациями свинца в почвенных горизонтах ВС—С (0,5—2,0 м), равное 0,1—0,5 %, для некоторых видов растений составило 50—76. С помощью количественной интерпретации этих кривых было установлено, какое относительное число особей разделяющихся видов растений имеет барьерное или безбарьерное накопление свинца.

Концентрационные поля точек в системе "почва — изучаемый биообъ-

82—86 — корка стволов ивы, осины, ольхи кустарниковой, рябины сибирской и пихты; 87—89 — средние слои корки ивы, осины и пихты; 90 — внутренние слои корки ели; 91 — корка с лубом кедра; 92—95 — побеги с листьями (хвоей) лиственницы даурской и сибирской, багульника и рододендрона; 96 — побеги сосны; 97 — корни кипрея узколистного; 98—113 — прошлогодние части злаковых (вейника, костера сибирского, овсяницы луговой и райграса), вики однопарной, клевера лугового, лапчатки пажмолистной, лугочки обыкновенной, полыни Гмелина, обыкновенной и холодной, поповника, скерды тонколистной, смолевки злаковидной, схизонеты многонадрезной и тысячелистника;

114—121 — корка с лубом березы бородавчатой и плосколистной, ивы, осины, ели, пихты, ольхи и рябины; 122—123 — заболонная древесина лиственницы даурской и сибирской; 124—135 — ядровая древесина березы бородавчатой и плосколистной, ивы, осины, лиственницы даурской и сибирской, ели, кедр, пихты, сосны, ольхи и рябины; 136—150 — листья (хвоя) березы бородавчатой и плосколистной, ивы, осины, ели, кедр и сосны, голубики, ерника, ивки, жимолости голубой, обыкновенной и татарской, княжика охотского и таволги средней; 151—153 — побеги ивы, осины и кедр; 154—172 — побеги с листьями березы бородавчатой и плосколистной, ивы, осины, ели, кедр, пихты, сосны, голубики, ерника, ивки, жимолости голубой, обыкновенной и татарской, княжика, курильского чая, малины, рододендрона и таволги; 173—190 — ветви (стебли) березы бородавчатой и плосколистной, ивы, осины, лиственницы даурской и сибирской, ели, кедр, пихты, сосны, голубики, ерника, ивки, жимолости голубой, обыкновенной и татарской, княжика и таволги; 191—198 — молодая поросль березы бородавчатой и плосколистной, ивы, осины, ели, кедр, пихты и сосны; 199—214 — зеленые надземные части трав №№ 98—113; 215—220 — зеленые надземные части аконита бородавчатого и Чекановского, астрагала перепончатого и приподнимающегося, прострела и осоки лесной; 221—230 — прошлогодние части аконита бородавчатого и Чекановского, астрагала перепончатого и приподнимающегося, борщевика, василистника, зопника клубненосного, марьиного корня, саранки и хвоща лесного; 231—234 — зеленые шишки сосны, кедр, лиственницы даурской и сибирской; 235—238 — листья и нижние части стеблей кипрея и полыни обыкновенной;

239—250 — луб березы бородавчатой и плосколистной, ивы, осины, лиственницы даурской и сибирской, ели, кедр, пихты, сосны, ольхи и рябины; 251 — древесина рододендрона; 252—261 — заболонная древесина березы бородавчатой и плосколистной, ивы, осины, ели, кедр, пихты, сосны, ольхи и рябины; 262—263 — зеленые шишки ели и пихты; 264—266 — зеленые и сухие плодущие шишечки ольхи и ягоды с плодоножками рябины;

267—270 — листья ольхи, рябины, малины и шиповника; 271—272 — побеги ольхи и рябины; 273—277 — ветви (стебли) ольхи, рябины, малины, можжевельника обыкновенного и шиповника; 278—282 — ветви с листьями ольхи, рябины, малины, можжевельника и шиповника; 283—300 — зеленые надземные части астры альпийской, бобовых (астрагала перепончатого и приподнимающегося, бобового гигантского, горошка заборного и мышиного), борщевика, василистника, зопника, кипрея, кровохлебки, лебеды, марьиного корня, морковника, папоротника, хвоща, чемерицы и черемши; 301—304 — верхние и средние части стеблей кипрея и полыни обыкновенной; 305 — весенний сок березы плосколистной.

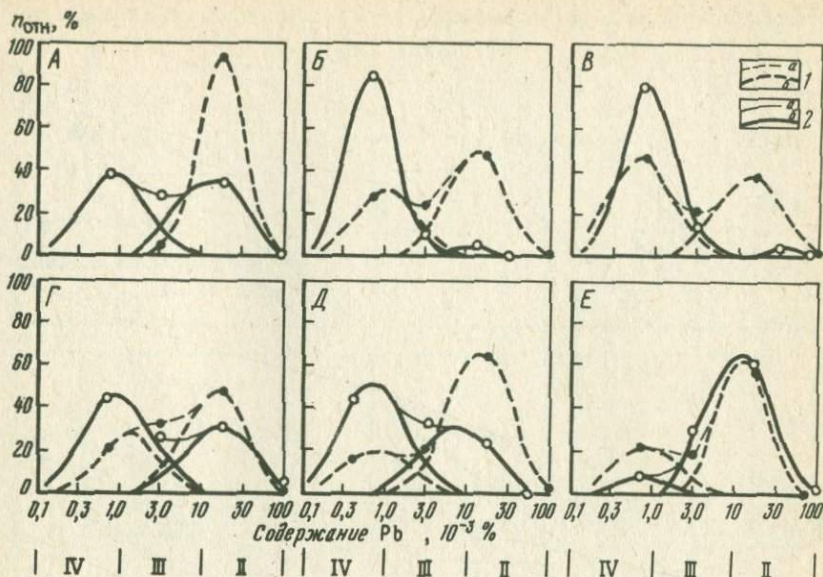


Рис. 6. Вариационные кривые содержаний свинца в золе листьев и ветвей растений, произрастающих на интенсивных почвенно-геохимических ореолах колчеданно-полиметаллического месторождения

*A* – лиственница даурская; *B* – осина дрожащая; *B* – ива козья; *Г* – береза плосколистная; *Д* – рододендрон даурский; *Е* – голубика

1 – листья (*a* – наблюдаемые вариационные кривые, *b* – вариационные кривые двух выделяемых групп); 2 – то же, для ветвей.

Римскими цифрами обозначены номера групп биообъектов различной информативности

ект” здесь также имели не совсем обычный вид (рис. 7). На первый взгляд, коррелирующиеся точки имеют незакономерный характер, располагаясь на половине площади рисунка. При внимательном рассмотрении, однако, в этом поле точек видны две составляющие, хорошо выделяющиеся в диапазоне высоких концентраций свинца в почвах. Было установлено, что корка стволов и хвоя лиственницы даурской являются неразделяющимися, стабильно безбарьерными биообъектами (см. рис. 6 и 7). Дальнейшими исследованиями на этом месторождении было установлено, что подавляющее большинство особей лиственницы даурской характеризуется безбарьерным накоплением свинца в хвое, а небольшая часть их (~5%) имеет барьерное накопление. При этом барьерное накопление свинца имели редкие особи с нормальной (зеленой, длинной и мягкой) хвоей, выявленные визуальными наблюдениями. Безбарьерным накоплением характеризовалось подавляющее большинство особей лиственницы с хлорозной (желто-зеленой, короткой и жесткой) хвоей. Визуальные признаки разделения лиственницы даурской на особи с нормальной (зеленой) и хлорозной (желто-зеленой) хвоей наблюдались в начале лета, в первой половине

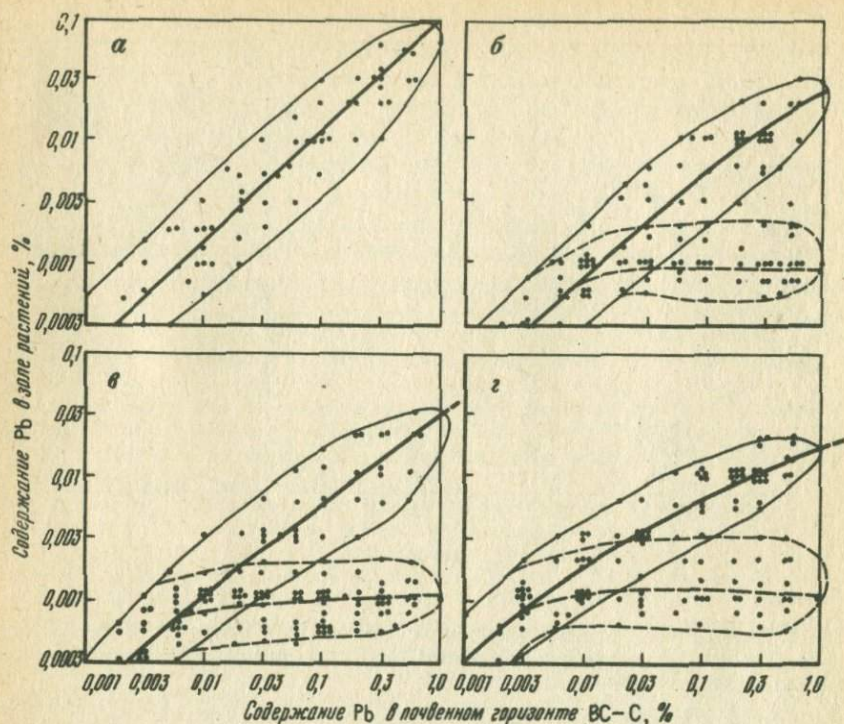


Рис. 7. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями свинца в системе "почва – биообъекты ливенницы даурской (а – корка, б – ветви) и березы плосколистной (в – листья, г – ветви) на колчеданно-полиметаллическом месторождении № 1. Поля точек и усредняющие их концентрационные кривые для безбарьерного и практически безбарьерного типов накопления свинца даны сплошной линией, а для фоноварьерного и барьерного (слабоконцентрирующего) – пунктирной

июня 1967 г. Весьма вероятно, что в это время площади колчеданно-полиметаллических месторождений рудного района могли быть зафиксированы с помощью спектрональных, цветных или многоспектральных аэро- и космических фотосъемок.

К настоящему времени получены данные о разделении видов на особи с барьерным и безбарьерным накоплением Pb, Ag, Sr, Ba, Mo и Co в некоторых частях растений. Поэтому необходимо изучать КБХ рассматриваемых биообъектов растений в два этапа. На первом этапе выявляют наиболее информативные безбарьерные и практически безбарьерные виды и части растений, а на втором – проверяют стабильность их КБХ. Для практического использования рекомендуются биообъекты со стабильной безбарьерностью.

Для определения КБХ различных частей древесных растений эффективно одновременное изучение их поперечных разрезов стволов и других,

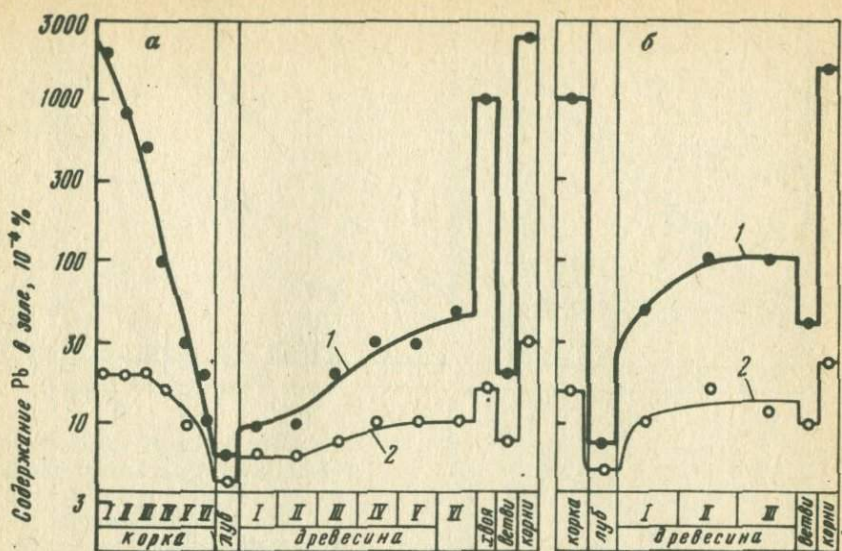


Рис. 8. Распределение свинца в различных частях лиственницы даурской (а) и березы плосколистной (б) на колчеданно-полиметаллическом месторождении № 1  
 1 — над рудными телами; 2 — на участках с фоновым содержанием

удобных для опробования частей (листьев, хвои, цветов, побегов, ветвей, шишек, семенников и т.д.) растений, произрастающих над богатыми рудными телами соответствующих элементов и на участках с фоновым содержанием. Пример результатов такого исследования на свинец приведен на рис. 8, на котором видно, что наибольшие концентрации свинца в растениях, произрастающих над свинецсодержащими рудными телами, наблюдаются в корнях и во внешних слоях корки стволов. Наименьшие содержания свинца в этих условиях, незначительно отличающиеся от фона, установлены в древесине и ветвях, а у некоторых видов и в листьях (хвое). Концентрационные кривые в системе "горизонт питания растения — изучаемый биообъект" (рис. 9 и 10) позволяют сделать точные определения КБХ изучаемых биообъектов. После выявления ряда безбарьерных биообъектов определение КБХ у неизученных ранее видов растений может быть сделано с помощью концентрационных кривых в системе "известный безбарьерный биообъект — изучаемый биообъект".

Аналогичное изучение дробных частей травянистых растений позволяет выявлять и у них наиболее информативные объекты, которые могут являться локальными частями отдельных органов. Так, например, у кукурузы такими, по крайней мере, практически безбарьерными биообъектами являются нижние узлы стеблей (рис. 11). Эти данные, полученные в экспериментальных условиях, требуют проверки на рудных месторождениях как в отношении свинца, так и в отношении других элементов-индикато-

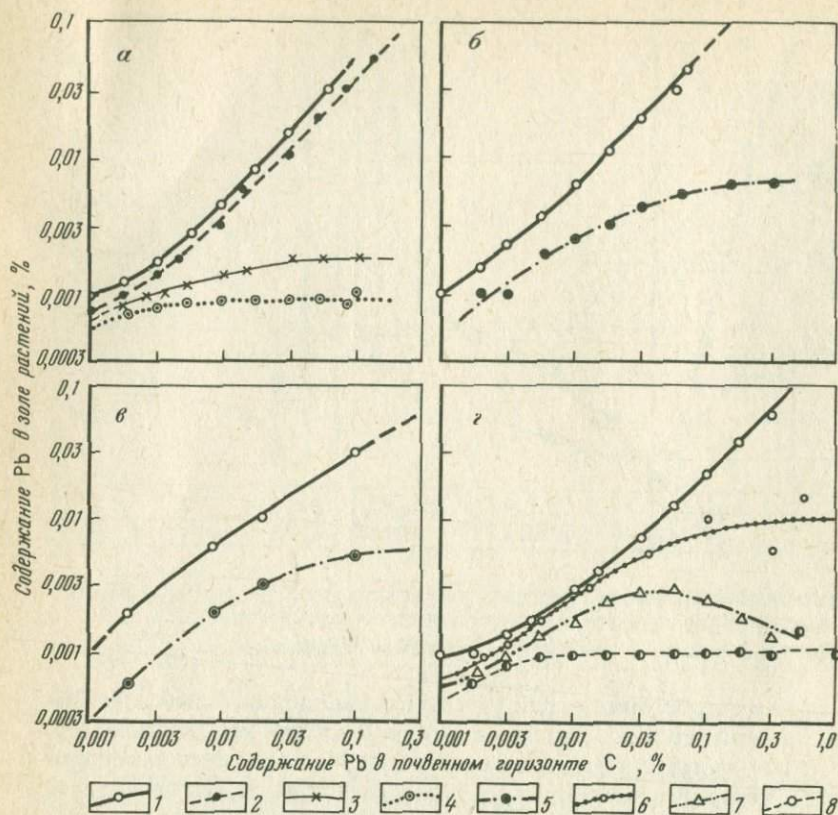


Рис. 9. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями свинца в системе "почва – биообъекты" редкометалльного месторождения

*а* – сосна обыкновенная; *б* – поросль сосны; *в* – поросль лиственницы даурской; *г* – полынь обыкновенная и кипрей узколистный

1 – корни; 2 – корка; 3 – хвоя; 4 – ветви и древесина; 5 – надземные части поросли сосны и лиственницы; 6 – засохшие прошлогодние части полыни; 7 – надземные части полыни; 8 – надземные части кипрея

ров руд, так как узлы стеблей овса и ячменя являются безбарьерными, а междуузлия стеблей – фонобарьерными по отношению к меди.

Детальное изучение высокоинформативных биообъектов путем разделения их на более дробные части может привести к выявлению новых безбарьерных биообъектов, которые имеют существенные преимущества перед общей пробой. В некоторых случаях результаты такого исследования могут иметь практическое значение. Например, разделение корки стволов березы (бересты) на два биообъекта, которые мы назвали "черной коркой" и "белой коркой", показало, что второй биообъект имеет по сравнению с первым барьерный тип накопления и меньшие содержания свинца (рис. 12). Очевидно, что это исследование "черной корки" березы (в виде

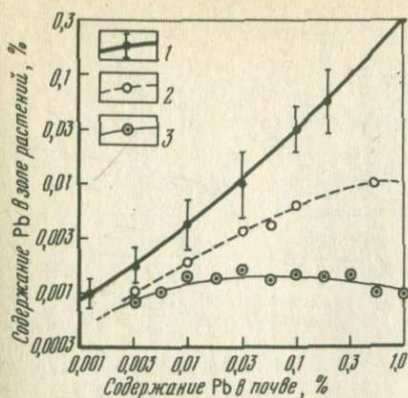


Рис. 10. Обобщенные концентрационные зависимости между содержаниями свинца в системе "почва - биообъекты" редкометалльного месторождения

1 - среднее для корней 16 видов (полыни Гмелина, обыкновенной и холодной, аконита бородачатого, астрагала донникового и приподнимающегося, вики однопарной, василистника, зопника, кровохлебки, лапчатки, поповника, схизонепеты, тысячелистника, ивы козьей и осины дрожащей; вертикальными отрезками показаны средние квадратические отклонения); 2 - корни кипрея; 3 - среднее для фоновых биообъектов (ветвей березы плосколистной, ивы козьей, осины дрожащей, жимолости обыкновенной, таволги средней, шиповника иглистого, лиственницы даурской и сосны обыкновенной, надземных частей астрагала донникового и приподнимающегося, вики однопарной, горошка заборного, аконита бородачатого, вейника наземного, кипрея, кровохлебки, лебеды, лапчатки, морковника, синюхи и скерды)

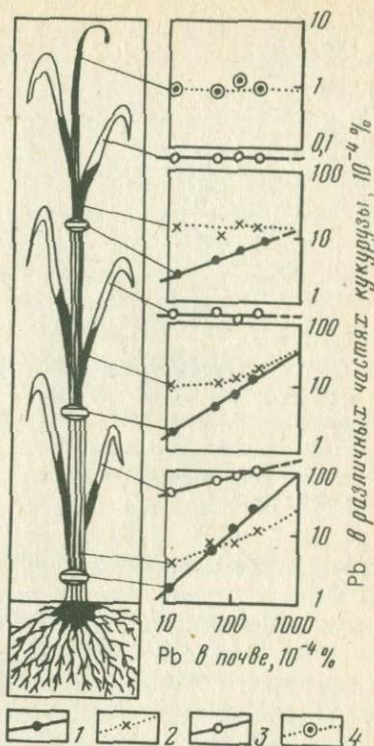


Рис. 11. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями свинца (растворимого в 1 н. НСl) в почве и в различных частях кукурузы (по [43])  
1 - узлы стеблей; 2 - междоузлия стеблей; 3 - листья; 4 - метелки

"бородавок" или черных пятен с внешней стороны бересты) и "белой корки" (оставшаяся часть гладкой бересты белого цвета) следует продолжить на участках с более высокими (по сравнению с нашими данными) концентрациями свинца в почвах. Если безбарьерность и более высокие содержания свинца в "черной корке" березы подтвердятся дальнейшими исследованиями, то это может быть использовано в практике поисковых работ двумя способами: 1) путем перехода на систематическое опробование не валовых проб бересты, а "черной" корки березы (черных "бородавок" и пятен на бересте); 2) путем определения свинца полевыми рентгеновскими анализаторами в "черной" корке, т.е. путем прикладывания датчика к

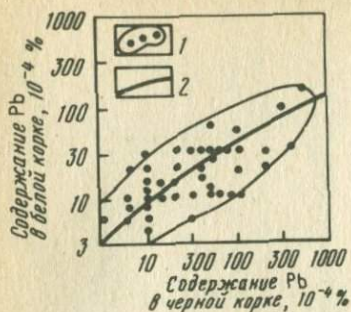


Рис. 12. Сопоставление содержания свинца в золе черной и белой корки березы бородавчатой  
1 — контур поля фактических точек; 2 — усредненная концентрационная кривая

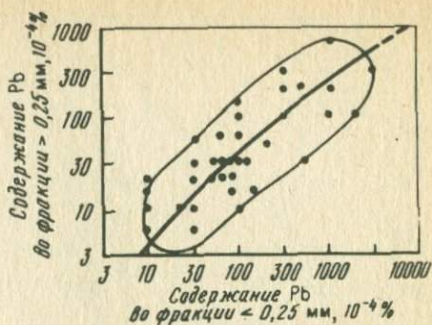


Рис. 13. Сопоставление содержаний свинца в крупной ( $> 0,25$  мм) и мелкой ( $< 0,25$  мм) фракциях корки стволов сосны обыкновенной. Условные обозначения см. рис. 12

черным пятнам бересты, площадь которых превышает активную площадь датчика.

Подобный результат был получен также при ситовом разделении внешних слоев корки стволов сосны обыкновенной, измельченной до 2–3 мм, на фракции с крупностью частичек  $< 0,25$  мм и  $> 0,25$  мм. Как видно на рис. 13, в первой фракции содержание свинца на фоне было в среднем в 2,5 раза больше, чем во второй, а при высоких концентрациях свинца величина этого отношения увеличилась в среднем до 6. Усредненная концентрационная кривая в системе "Pb во фракции  $< 0,25$  мм — Pb во фракции  $> 0,25$  мм" позволяет говорить о том, что крупная фракция корки стволов сосны накапливает свинец по барьерному типу и что при биогеохимических поисках предпочтительнее опробовать мелкую ее фракцию. Более подробные данные об изучении содержаний свинца и других химических элементов в крупных и мелких (а также в легких и тяжелых) фракциях корки стволов сосны обыкновенной и лиственницы даурской приведены в работе [17].

Рассмотрение результатов определений свинца в отдельных частях кукурузы и корки стволов березы, а также в различных фракциях корки стволов сосны позволяет выявить локальные безбарьерные биообъекты в барьерных органах растений (надземные части кукурузы), и части (береста) или фракции (корка сосны) безбарьерных или практически безбарьерных биообъектов более информативны, чем их валовые пробы.

Содержание свинца в безбарьерных частях растений, произрастающих над рудными телами и их литохимическими ореолами, увеличивается прямо пропорционально концентрации подвижных, доступных растениям форм свинца в горизонте питания корнеобитаемой зоны почв и почвообразующих горных пород. Аномальные содержания свинца в безбарьерных биообъектах над свинецсодержащими рудными телами обычно значитель-

но превышают местный биогеохимический фон в соответствующих биообъектах и находятся в пределах от 0,01 до 1–20 %, превышая местный фон (0,001–0,003 %) в 3–20000 раз. В золе корки корней, контактировавших с рудой, содержащей ~6 % свинца, было зафиксировано 40 % этого элемента. Аномальные содержания свинца и коэффициенты концентрации в золе растений, произрастающих над свинцовыми рудными телами, сопоставимы с его концентрациями в рудах (0,5–20 %), которые превышают его кларк в земной коре (0,002 %) в 250–10000 раз.

В корке стволов деревьев, которая с 1975 г. является основным объектом опробования в лесных и таежных районах Сибири (к настоящему времени здесь изучено более 300000 проб корки), средние фоновые содержания свинца (без поправок на его потери при озолении) характеризуются стабильными величинами, изменяющимися от 10 до  $20 \cdot 10^{-4}$  % при колебаниях отдельных значений от  $< 5 \cdot 10^{-4}$  % (предел обнаружения свинца спектральным анализом) до  $30 \cdot 10^{-4}$  %. Минимально-аномальные содержания на участках с разнообразной рудной минерализацией изменялись от 30 до  $60 \cdot 10^{-4}$  %, а максимальные концентрации достигали обычно 0,03 %. Более высокие концентрации свинца порядка 0,03–0,3 % на большинстве месторождений встречались весьма редко – как правило, в 1–5 пробах из 2000–5000 проб, отобранных в пределах рудного участка и его ближайших окрестностей (рис. 14). Только на одном колчеданно-полиметаллическом месторождении и на наиболее интенсивных аномалиях такие высокие концентрации свинца в корке березы плосколистной и лиственницы даурской встречались в большом числе проб, а в единичных пробах концентрации свинца достигали 3 %.

Данные табл. 9 показывают, что между содержаниями свинца в безбарьерных биообъектах растений и в почвообразующих горных породах (почвенном горизонте С на глубине 0,7–1,4 м) наблюдается статистически достоверная (на уровне 0,01–0,001 и более) прямая корреляция. Как видно из данных табл. 9, коэффициент линейной корреляции  $r$  в системе "почвенный горизонт С – биообъекты сосны обыкновенной" имеет наибольшую величину для корки стволов (0,75) и для корней (0,92), которые, согласно данным табл. 8, являются безбарьерными по отношению к свинцу. Для побегов и древесины  $r$  равен 0,30 и 0,16, что говорит об отсутствии значимой корреляции между содержаниями свинца в системах: "почва – побеги" и "почва – древесина". Матрица коэффициентов корреляции для содержаний свинца в системе "почва – различные части сосны" показывает, что из-за антиконцентрационных физиологических барьеров некоторые части растений не имеют взаимосвязей между собой. Например, содержание свинца практически не коррелирует в системах: "древесина – хвоя" ( $r = 0,08$ ), "древесина – побеги" ( $r = 0,12$ ), "древесина – корка" ( $r = 0,14$ ) и "ветви – корка" ( $r = 0,17$ ). Для биологических объектов, безбарьерных по отношению к высоким концентрациям свинца в корнеобитаемой зоне, к которым относятся корни, значения  $r$  для содержаний свинца в системе "почва – биообъект" равны обычно 0,7–0,9, достигая иногда 0,96 (табл. 10). Для малоинформативных надземных частей полы-

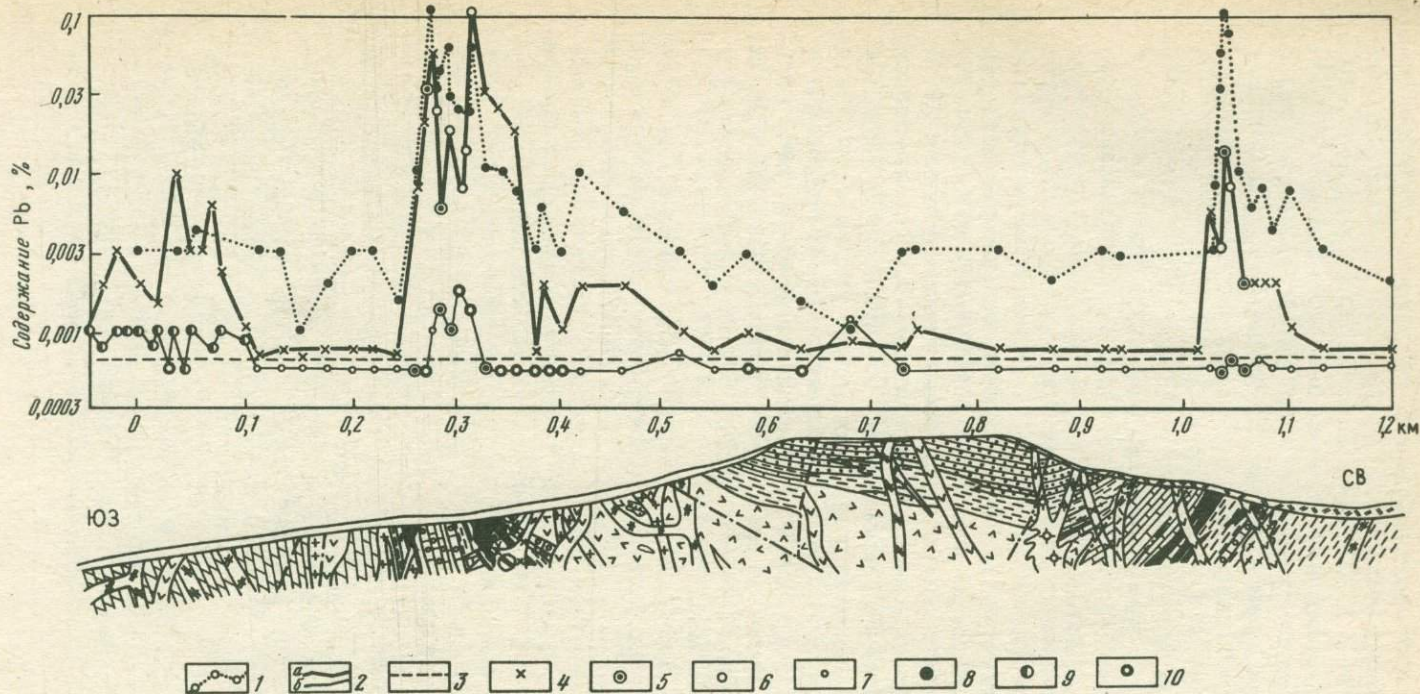


Рис. 14. Распределение свинца в почвах и золе растений по профилю редкометалльного месторождения

Содержание свинца: 1 - в горизонте С почв (0,7-1,4 м); 2 - в биообъектах (а - в безбарьерных, б - в фоновбарьерных); 3 - чувствительность анализа.

Биообъекты: 4 - корка сосны; 5 - корни кипрея; 6 - корни полыни; 7 - ветви сосны; 8-10 - надземные части (8 - кипрея, 9 - вики, 10 - полыни). Остальные условные обозначения см. рис. 4

Матрица коэффициентов корреляции для содержаний свинца в системе "почва – различные части сосны" редкометалльного месторождения ( $n^* = 34$ )

Объект опробования	Хвоя	Побеги	Ветви	Корка	Древесина	Корни
Почва (горизонт С)	0,62	0,30	0,64	0,75	0,16	0,92
Хвоя		0,60	0,38	0,77	0,08	0,55
Побеги			0,38	0,41	0,12	0,23
Ветви				0,17	0,29	0,48
Корка					0,14	0,66
Древесина						0,20

\*  $n$  – здесь и далее число сопоставляемых проб.

Таблица 10

Коэффициенты корреляции между содержаниями свинца в почве и золе растений редкометалльного месторождения

Биологический объект	$n$	$r \pm \sigma^*$
Наземные части кипрея	12	$0,18 \pm 0,16$
Корни кипрея	12	$0,74 \pm 0,18$
Наземные части полыни	14	$0,48 \pm 0,16$
Корни полыни	14	$0,81 \pm 0,09$
Корни сосны	31	$0,77 \pm 0,09$
Корни лиственницы	10	$0,69 \pm 0,17$
Корни разных видов растений, опробованных в 1971 г.	26	$0,96 \pm 0,02$
То же, 1973 г.	48	$0,88 \pm 0,06$

\*  $\sigma$  – средняя квадратическая погрешность.

ни  $r = 0,48 \pm 0,16$ , а для неинформативных по отношению к свинцу надземных частей кипрея  $r = 0,18 \pm 0,16$ . Это свидетельствует об отсутствии статистически значимой связи между содержаниями свинца в почве и в надземных частях полыни и кипрея.

На флюорит-редкометалльном месторождении результаты корреляционного анализа подтвердили данные определений местоположения горизонта питания растений свинцом. Горизонт питания растений свинцом здесь расположен на глубине 1–3 м. Как видно из табл. 11, для внешних слоев корки стволов сосны обыкновенной  $r$  имеют наибольшую величину (0,82) для системы "корка – горизонт С" и наименьшую (0,32) для системы "корка – гумусовый горизонт А". Эти данные свидетельствуют о наличии высокой, статистически значимой корреляции между свинцом в корке и в горизонте С при отсутствии статистически значимой корреляции в корке и в горизонте А. На основании данных табл. 11 может быть сделан вывод о том, что горизонтом питания корки стволов сосны является ниж-

Коэффициенты линейной корреляции между содержаниями свинца в корке стволов сосны обыкновенной и в почвенных горизонтах на флюорит редкометалльном месторождении ( $n = 42$ )

Почвенный горизонт	Корка сосны	Почвенный горизонт		
		A (0–0,1 м)	B (0,2–0,4 м)	C (0,7–1,4 м)
A	0,32	1,00	0,76	0,48
B	0,61		1,00	0,79
C	0,82			1,00

ний почвенный горизонт C – почвообразующие рыхлые горные породы на глубине 0,7–1,4 м.

В Казахстане и Узбекистане, где основным объектом опробования при биогеохимических поисках являются надземные части различных видов полыни, аномальные содержания свинца в рудных биогеохимических ореолах имеют тот же порядок величин, что и в корке деревьев в Сибири – обычно 0,005–0,05 % при фоновом содержании  $\sim 0,001$  %. Изредка здесь встречаются биогеохимические ореолы с концентрациями свинца 0,1–0,5 %, а более высокие содержания, достигающие 2 %, выявлены в единичных пробах полыни, мяты, зверобоя, тысячелистника и некоторых других безбарьерных видов, произрастающих над рудными телами и литохимическими ореолами полиметаллических месторождений.

В других районах земного шара устанавливаются приблизительно такие же уровни фоновых и аномальных содержаний свинца. Например, в Канаде фоновые содержания свинца, определенные химическим анализом сухого вещества, изменялись в расчете на золу от 7 до  $70 \cdot 10^{-4}$  % при средних величинах для различных видов от 8 до  $50 \cdot 10^{-4}$  %. Слабые аномалии характеризовались содержаниями свинца  $20\text{--}200 \cdot 10^{-4}$  %, а интенсивные 0,01–0,3 %. На территории трех штатов США с полиметаллической минерализацией фоновые содержания свинца в золе листьев дуба мерилендского находились в диапазоне от нуля (ниже чувствительности анализа) до 0,002 %, а максимальные достигали 0,02 %, превышая фон ( $\sim 0,001$  %) в 4–20 раз.

Стабильность фоновых, минимально-аномальных и максимальных концентраций свинца на рудных биогеохимических ореолах является одной из интересных особенностей свинца как биогеохимического индикатора разнобразной рудной минерализации.

В связи с низкими фоновыми и минимально-аномальными содержаниями свинца в растениях нередко случаются загрязнения проб посторонними веществами. Многократно публиковались данные о существенном загрязнении растений, находящихся на расстоянии десятков и первых сотен метров от дорог с интенсивным автомобильным движением. Это связано с выделением тетраэтила свинца с выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания. Концентрации свинца в золе таких загрязненных растений

достигали 0,08 и даже 0,3 %. Известно загрязнение растений свинцом вблизи свинецперерабатывающих предприятий, вблизи дорог, по которым перевозятся свинцовые руды и продукты их переработки, свинцовой охотничьей дробью и даже обыкновенной пылью. Перечисленные и другие источники загрязнения биогеохимических проб свинцом должны выявляться и исключаться при проведении поисковых работ.

Для получения стабильных во времени результатов биогеохимических поисков следует использовать старые, одревесневшие, опробковевшие или засохшие прошлогодние части растений. В молодых зеленых надземных частях травянистых растений характерно сезонное (с весны до осени) увеличение содержания свинца. Обычно в золе старых частей растений свинца содержится в 1,5—3 раза больше, чем в молодых их частях. На аномалиях эта величина имеет тенденцию к увеличению до 10 раз в связи с тем, что молодые части растений обладают более низкими пределами накопления свинца, чем старые. Поэтому опробование старых частей растений на свинец во многих случаях предпочтительнее. Это касается также Cu, Be, Sr, Ba, Zn, V, Co и других элементов-индикаторов руд. Кроме изменений содержания свинца, связанных с ростом и развитием растений, в Казахстане было установлено изменение его содержания после интенсивных дождей. Через 3—5 дней после дождливого периода содержания свинца устанавливаются на уровне, близком к исходному [1, 7]. Уменьшения содержания свинца в золе листьев и хвои после дождей не наблюдалось, так как основные зольные элементы выщелачиваются при их настаивании в воде в значительно большей степени, чем свинец (см. табл. 7).

Данные об изменениях содержания свинца в растениях во времени говорят о целесообразности опробования старых, опробковевших, одревесневших и засохших частей растений и о необходимости определения и введения поправок на время при длительном (месяцы) опробовании зеленых растущих частей.

## Медь

Медь в большинстве случаев является ненадежным и малоконтрастным биогеохимическим индикатором. Это обусловлено тем, что все изученные нами виды и части растений Сибири накапливают медь по различным барьерным типам, а также тем, что в связи со значительной миграционной способностью меди в зоне гипергенеза ее вторичные литохимические ореолы, как правило, резко ослабляются, а иногда полностью выщелачиваются. Суммарное влияние этих двух отрицательно действующих факторов затрудняет выявление и интерпретацию биогеохимических ореолов меди. В связи с особенностями геохимии меди количественная интерпретация биогеохимических ореолов этого элемента, как правило, невозможна. Подобно ореолам цинка в растениях, наибольшую информативность биогеохимические ореолы меди имеют в условиях слабо проработанных зон окисления, когда халькопирит, борнит и другие первичные минералы меднорудных и медьсодержащих рудных тел вместе с начальными продуктами их окисления, в основном сульфатами меди, находятся в коррозийной зоне почв и почвообразующих горных пород.

Средние фоновые содержания меди в высших растениях и почвах различных природных зон (за пределами зон медной минерализации)

Природные зоны	Содержание меди, $10^{-3}$ % *		РПК меди
	в золе растений	в почве	
Субарктическая, тундровая	1-100	0,8-9	0,2-20
	(10)	(3,5)	(2,9)
Таежная, хвойных лесов	1-100	1-20	1-22
	(14)	(2,9)	(4,1)
Лесная, широколиственных лесов	1-37	< 1-37	3-11
	(12)	(2,4)	(5,0)
Лесостепная	4-40	1-12	3-5
	(11)	(2,8)	(4,1)
Степная	2-54	0,5-9	1,5-8
	(6,5)	(1,5)	(4,3)
Пустынная	1-34	< 0,5-4,5	4-10
	(11)	(1,8)	(6,2)
Тропическая	3-52	< 1,5-9	1-15
	(12)	(3,2)	(3,8)

\* В скобках приведены средние значения.

Данные табл. 12, составленной с использованием многочисленных литературных источников, свидетельствуют о том, что растения различных природных зон имеют примерно одинаковый фон — зависимости от широтной и вертикальной зональностей не наблюдается. В то же время содержания меди в растениях часто существенно зависят от элементарных геохимических ландшафтов. В таежно-мерзлотных ландшафтах Забайкалья значения РПК меди для ветвей лиственницы даурской в пределах небольшого района изменяются в 3-10 раз (от 2,5-4,0 над "железной шляпой" колчеданного месторождения, глинистыми корами выветривания и известняками до 10-30 над слабовыветрелыми метаморфическими и изверженными горными породами). Высокие величины РПК меди наблюдались также на участках разгрузки подземных вод, связанных с одним из изученных колчеданно-полиметаллических месторождений в Сибири. В лесостепной зоне Оренбургской области подобного влияния местных геохимических ландшафтов на интенсивность накопления меди растениями не наблюдалось. Здесь средние величины РПК меди для шести изученных лесных, лесостепных, степных и солонцовых ландшафтов изменялись от 1,5 до 1,8, т.е. только в 1,2 раза.

Группировка 261 биологического объекта по количественным барьерным и, соответственно, поисковым характеристикам (табл. 13) подтвердила предварительные данные о том, что для меди характерны барьерное накопление надземными частями растений и частое отсутствие в них статистически достоверных биогеохимических ореолов над известными рудны-

## Группировка биологических объектов Сибири по поисковой информативности на медь

Номер группы	Тип биообъекта	Характеристики биообъектов над меденосными рудными телами	Номер биообъекта *	Число биообъектов (относительное число, %)	
				надземные части	корни
I	Безбарьерный	$C_m \geq 1-10\%$ и превышают $C_f$ в 300 раз и более; РПК = 2-20	—	—	—
II	Практически безбарьерный	$C_m = 0,3-3,0\%$ и превышают $C_f$ в среднем в 100 раз; РПК = 0,6-6	1-23	4 (2)	8 (35)
III	Барьерный	$C_m = 0,01-0,1\%$ и превышают $C_f$ в среднем в 10 раз; РПК = 0,02-2	1-23 24-80 81-170	98 (41)	15 (65)
IV	Фонобарьерный	$C_m < C_a$ РПК = 0,002-0,2	81-170 171-261	136 (57)	—

\* Номера биообъектов: 1-4 - корка стволов и пней (береста) березы бородавчатой и плосколистной; 5-8 - внешние слои корки стволов и пней лиственницы даурской и сибирской; 9-23 - корни березы бородавчатой и плосколистной, лиственницы даурской и сибирской, сосны обыкновенной, кедра сибирского, осины дрожащей, ивы козьей, багульника болотного, таволги средней, вейника наземного, клевера красного, кровохлебки аптечной, пижмы обыкновенной и полыни обыкновенной;

24-29 - внешние слои корки стволов и пней кедра, пихты сибирской и осины; 30-33 - средние слои корки стволов и пней лиственницы даурской и сибирской; 34 - древесина сосны; 35 - мох (кукушкин лен); 36-44 - корни брусники, черники, борщевика, василистника байкальского, вики однопарной, кипрея узколистного, марьиного корня, осоки лесной и полыни Гмелина; 45-50 - внешние слои корки стволов и пней сосны, ели сибирской и ивы; 51-52 - корка рябины сибирской и ольхи кустарниковой; 53-58 - средние слои корки стволов и пней кедра, пихты и осины; 59-62 - внутренние слои корки и корка с лубом лиственницы даурской и сибирской; 63-68 - сухие, опробковевшие шишки лиственницы даурской и сибирской, сосны, кедра, ели и пихты; 69 - сухие плодущие шишечки ольхи; 70-74 - ветвь кровохлебки, лапчатки пижмолистной, осоки лесной, полыни обыкновенной и холодной; 75-77 - нижние части стеблей василистника, кипрея и полыни обыкновенной; 78-80 - зеленые надземные части ириса, лапчатки и смолевки обыкновенной;

81-83 - средние слои корки стволов сосны, ели и ивы; 84-86 - внутренние слои корки стволов кедра, пихты и осины; 87-96 - корка с лубом березы бородавчатой и плосколистной, сосны, кедра, ели, пихты, осины, ивы, рябины и ольхи; 97-116 - ветви березы бородавчатой и плосколистной, лиственницы даурской и сибирской, сосны, кедра, ели, пихты, осины, ивы, рябины, ольхи, багульника, голубики, жимолости обыкновенной и татарской, рододендрона, смородины красной и черной,

ми телами. Более половины (136 из 261 изученного биообъекта, или 52 %) видов и частей растений являются неинформативными (фоновыми) или практически неинформативными биообъектами по отношению к высоким содержаниям меди в почвах. Практически безбарьерными надземными биообъектами растений являются: корка стволов березы бородавчатой и плосколистной и внешние слои корки лиственницы даурской и сибирской, а также корка пней этих видов древесных растений.

Как видно из табл. 13, корни всех изученных видов древесных, кустарниковых и травянистых растений являются биообъектами, наиболее информативными по отношению к высоким концентрациям меди в корнеобитаемой зоне почв. Поэтому целесообразно опробовать корни растений в тех случаях, когда у широко распространенных видов растений надземные информативные части отсутствуют или когда надземные части травянистых растений имеют незначительную биомассу, недостаточную для отбора проб необходимого объема. Последнее особенно относится к аридным районам, где масса корней значительно больше массы надземных частей растений.

Важнейшим условием высокой эффективности использования меди в

---

таволги; 117–122 – побеги с листьями (хвоей) березы бородавчатой и плосколистной, сосны, кедра, пихты и ольхи; 123–124 – листья осины и хвоя пихты; 125–135 – древесина березы бородавчатой и плосколистной, лиственницы даурской и сибирской, кедра, ели, пихты, осины, рябины и ольхи; 136–141 – зеленые шишки лиственницы даурской и сибирской, сосны, кедра, ели и пихты; 142–144 – зеленые семена березы бородавчатой и плосколистной, плодущие шишечки ольхи; 145–146 – надземные части с корнями брусники и можжевельника; 147–154 – прошлогодние части василистника, василька, зопника клубненосного, кипрея, марьиного корня, пижмы, скерды тонколистной и тысячелистника азиатского; 155–157 – средние части стеблей василистника, кипрея и полыни; 153–170 – зеленые надземные части брусники, голубики, василистника, зопника клубненосного, кровохлебки, осоки дернистой, лесной и стоповидной, плауна, полыни обыкновенной и холодной, скерды и хвоща лесного;

171–176 – внутренние слои корки и корка с лубом сосны, ели и ивы; 177–188 – луб березы бородавчатой и плосколистной, лиственницы даурской и сибирской, сосны, кедра, ели, пихты, осины, ивы, рябины и ольхи; 189–194 – побеги с листьями (хвоей) лиственницы даурской и сибирской, ели, осины, рябины и рододендрона; 195–212 – листья (хвоя) березы бородавчатой и плосколистной, лиственницы даурской и сибирской, сосны, кедра, ели, ивы, рябины, ольхи, багульника, голубики, жимолости обыкновенной и татарской, рододендрона, смородины красной и черной, таволги; 213 – ягоды рябины с плодоножками; 214–215 – прошлогодние части бобового гигантского и борщевика; 216–244 – зеленые надземные части аконита бородатого и Чекановского, бобовых (астрала перепончатого, бобового гигантского, вики, горошка заборного и мышинного, клевера белого и лугового), борщевика, василька, злаковых (вейника, костера, овсяницы, кукурузы, пшеницы, ржи и ячменя), кипрея, костяники, кувшинки, марьиного корня, папоротника, пижмы, поповника, саранки, тысячелистника, чемерицы и черемши; 245–247 – верхние части стеблей василистника, кипрея и полыни обыкновенной; 248–256 – листья нижних, средних и верхних ярусов василистника, кипрея и полыни обыкновенной; 257–260 – хвоя, побеги с хвоей, ветви и надземные части можжевельника; 261 – весенний сок березы плосколистной

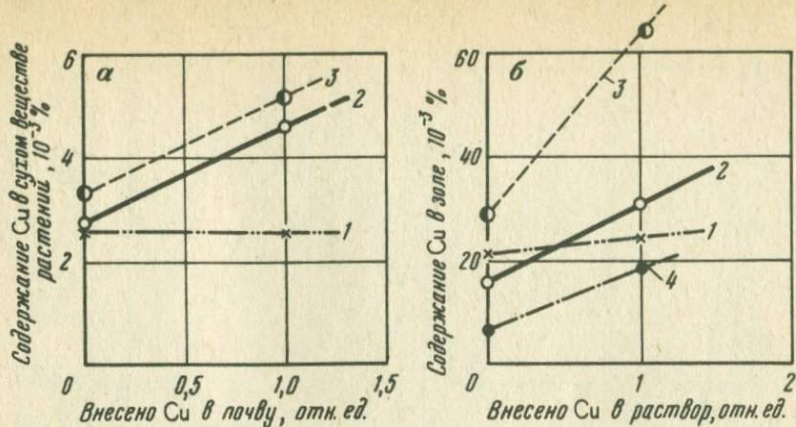


Рис. 15. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями меди в питающей среде и в растениях

а – в почве и в различных частях овса (по Л.К. Островской); б – в растворе и различных частях ячменя (по З. Суйковскому).

1 – междуузлия стеблей; 2 – узлы стеблей; 3 – зерно; 4 – листья

растениях в качестве индикатора меднорудных и медьсодержащих месторождений является использование информативных, безбарьерных, практически безбарьерных или барьерных, слабоконцентрирующих видов и частей растений. При определении КБХ широко распространенных растений по отношению к меди следует обратить особое внимание на нижние части стеблей травянистых растений и засохшие, прошлогодние их части. Так как медь концентрируется в узлах стеблей по безбарьерному типу при фонбарьерном типе накопления в междуузлиях стеблей (рис. 15), целесообразно изучать ее, подобно свинцу (см. рис. 11), в узлах различных ярусов. Вероятными биообъектами являются семена и семенники растений, часто характеризующиеся повышенными содержаниями меди, близкими к ее концентрации в корнях (табл. 14; см. рис. 15). Наиболее интересными частями древесных растений являются внешние слои корки стволов и ядровая древесина, характеризующиеся относительно повышенными содержаниями меди в растениях, произрастающих над меденосными рудными телами (рис. 16).

Эффективным способом изучения КБХ растений является сопряженное опробование различных видов растений и различных почвенных горизонтов. Примеры таких концентрационных кривых, приведенных на рис. 17 и 18, показывают, что внешние слои корки стволов сосны обыкновенной являются барьерными, а корка березы (береста) и внешние слои корки лиственницы сибирской – практически безбарьерными по отношению к меди вплоть до ее концентраций в почве, достигающих 0,2 %.

По опубликованным данным, к практически безбарьерным биообъектам могут быть отнесены надземные части ковыля сарептского, в которых

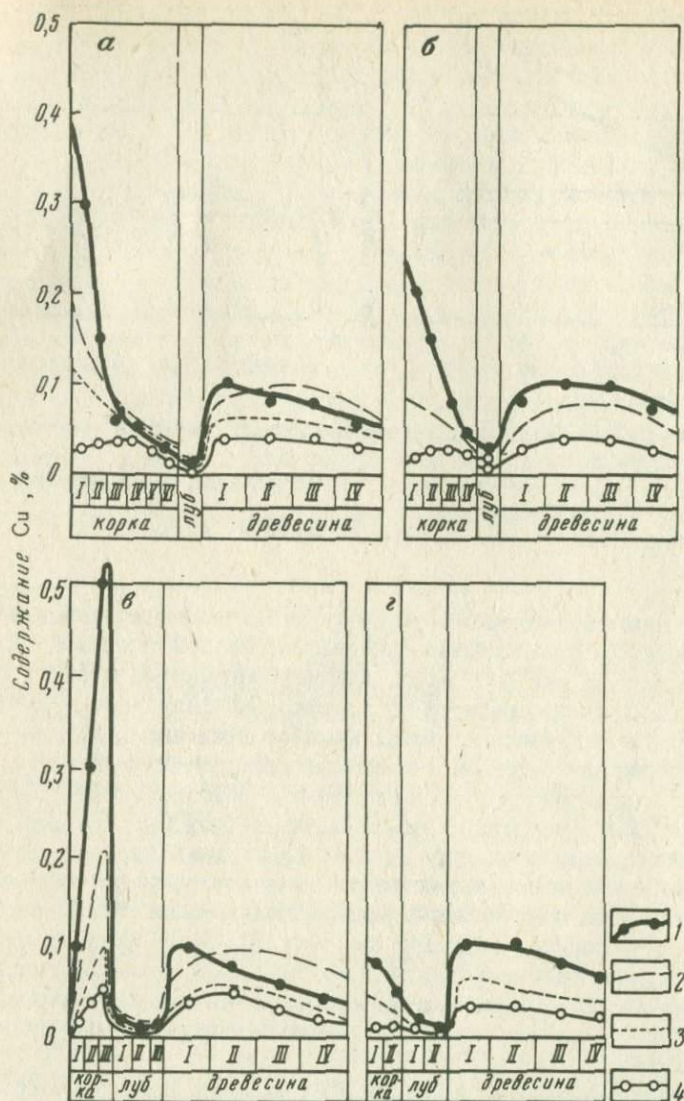


Рис. 16. Распределение меди в стволах деревьев, произрастающих на высокоинтенсивных (1), среднеинтенсивных (2) и малоинтенсивных (3) ореолах железорудных месторождений и участках с фоновым (4) содержанием меди

*а* – лиственница сибирская; *б* – сосна обыкновенная; *в* – береза бородавчатая; *г* – осина дрожащая. Римскими цифрами обозначены номера слоев

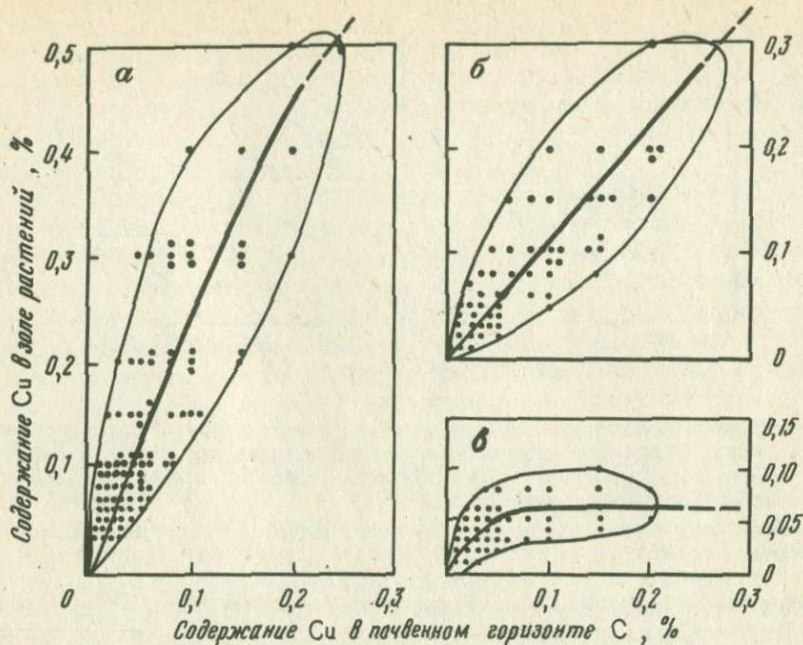


Рис. 17. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями меди в системе "почва - биообъекты" на железорудном месторождении

а - корка березы бородавчатой; б - внешние слои корки лиственницы сибирской, в - то же, сосны обыкновенной

Условные обозначения см. рис. 12

Таблица 14

Средние фоновые содержания меди в золе различных растений, произрастающих за пределами зон медной минерализации,  $10^{-3}$  %

Группа растений	Надземные части	Семена или плоды	Корни
Травянистые	2-30 (8)	10-60 (24)	3-40 (12)
Древесные и кустарниковые	3-30 (10)* 5-40 (14)	6-40 (15)	5-30 (12)
Мхи	6-60 (20)	-	-
Лишайники	10-100 (30)	-	-

\* В числителе - содержание меди в листьях, в знаменателе - в ветвях; в скобках - средние значения.

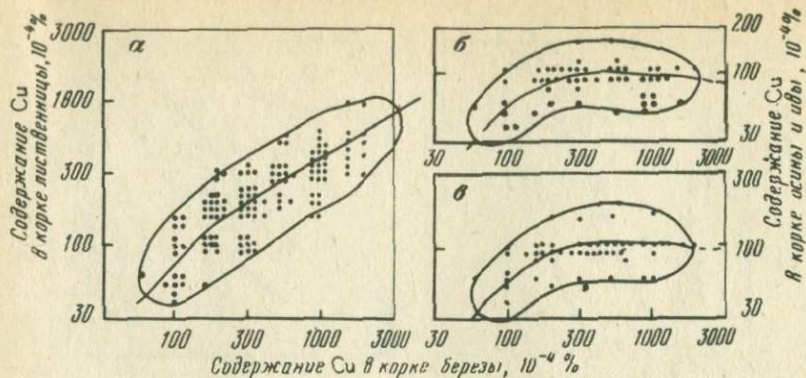


Рис. 18. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями меди в системах: "корка березы плосколиственной – корка лиственницы даурской", "корка березы – корка осины дрожащей" и "корка березы – корка ивы козьей" на колчеданно-полиметаллическом месторождении № 2

*а* – внешние слои корки лиственницы; *б* – корка осины; *в* – корка ивы. Условные обозначения см. рис. 12

концентрации меди достигают 1 %, превышая местный фон в 100–170 раз [2]. Безбарьерным накоплением меди характеризуются многие виды мхов, что дало основание назвать некоторые из них медными мхами. По нашим данным, мхи и лишайники характеризуются повышенными относительными содержаниями многих рудных элементов (Pb, Fe, Co, Ni, Mo, Be, Cu, Ag, Au, U и др.) по сравнению с произрастающими совместно с ними другими высшими растениями. Это относится также к корням растений (см. табл. 14). При изучении КБХ биообъектов по отношению к меди следует обратить внимание на их стабильность, так как имеющиеся противоречивые данные о биогеохимических ореолах меди могут объясняться наличием у некоторых видов барьерных и безбарьерных особей, т.е. разделением их на две группы разнородных особей.

Содержания меди в золе безбарьерных видов и частей растений, произрастающих над меднорудными и медьсодержащими рудными телами, не всегда превышают их местный фон. Это может быть обусловлено двумя факторами: 1) полным выщелачиванием литохимических ореолов меди из корнеобитаемой зоны почв и почвообразующих горных пород и 2) недоступностью растениям остаточных ореольных содержаний меди в почвах. В тех случаях, когда в корнеобитаемой зоне присутствуют доступные растениям формы меди, представленные халькопиритом, борнитом и другими первичными минералами с ближайшими продуктами разложения (в основном сульфатами), вторичными минералами (малахитом, азурином и др.) или сорбционно-солевыми формами меди, над рудными телами и их литохимическими ореолами в безбарьерных биообъектах формируются контрастные биогеохимические ореолы меди. При фоновых содержаниях 0,008 % во внешних слоях корки стволов лиственницы даурской содержа-

ния меди над полиметаллическими медьсодержащими телами были равны 0,03—0,2 %, достигая в нескольких точках 2 % и превышая фон в 60—250 раз. В корке березы бородавчатой максимальные концентрации меди над меденосными зонами достигали 0,5 %, превышая местный повышенный фон этого биообъекта (0,04 %) в 5—12 раз.

В большинстве работ приводятся данные о том, что над меднорудными телами максимальные содержания меди превышают местный биогеохимический фон в 1,3—3 и изредка в 4—10 раз. Вероятно, это связано с тем, что в качестве объектов биогеохимического опробования на медь использовались листья, побеги или побеги с листьями древесных и кустарниковых растений и надземные части травянистых растений, являющиеся барьерными и, соответственно, малоинформативными или неинформативными по отношению к меди. Поэтому можно предполагать, что результаты многих проведенных ранее работ были значительно искажены отрицательным влиянием антиконцентрационных барьеров по отношению к меди. Использование безбарьерных и практически безбарьерных биообъектов повысит эффективность биогеохимических поисков разнообразных месторождений по содержанию меди в растениях. Другим способом повышения эффективности поисков месторождений меди является использование более информативных ее спутников. Такими элементами-индикаторами в зоне окисления являются малоподвижные спутники медных руд: Ag, Au, Cd, Hg, Pb, As, Sb, Bi, Mo, Fe, Co. В условиях слабого развития или отсутствия зон окисления индикаторами меденосных рудных тел могут быть Ag, Au, Zn, Cd, Hg, Mo, Fe, Co, Ni. Интенсивность поглощения меди безбарьерными биообъектами зависит от ее минеральных форм в корнеобитаемой зоне почв и почвообразующих горных пород (см. табл. 3).

В связи с высокой подвижностью меди в зоне гипергенеза на ее биогеохимические ореолы в безбарьерных биообъектах существенное влияние могут оказывать гидрохимические ореолы. Пример такого влияния приведен на рис. 5, где видно, что биогеохимические ореолы меди в бруснике смещены относительно гидрохимических в направлении движения подземных вод на 100—300 м. Это влияние проявляется редко и в наших исследованиях не наблюдалось.

Медь является элементом, слабо выщелачиваемым из надземных частей дождями (см. табл. 7). Влияние интенсивных дождей на содержание меди проявляется в увеличении ее содержания в надземных частях травянистых растений в 1,5—2 раза [1, 7]. Это, по всей вероятности, обусловлено появлением в корнеобитаемой зоне почв и почвообразующих горных пород растворенных в водах форм меди.

Различные режимы озоления растений не влияют на определяемые содержания меди в золе.

Таким образом, эффективное использование меди как биогеохимического индикатора меднорудных и медьсодержащих месторождений возможно только в тех ландшафтах, где широко распространены растения с безбарьерными или практически безбарьерными частями, например, различные виды берез и лиственниц.

Использование высокочувствительных атомно-абсорбционных определений ртути на приборе РАФ-1М показало ее наличие во всех (более 20000) проанализированных пробах золы растений, при фоновых ( $0,6-6 \cdot 10^{-6} \%$ ) и аномальных (от 3 до  $30000 \cdot 10^{-6} \%$ ) содержаниях. Поэтому ошибочно считать, что ртуть полностью улетучивается при озолении растений.

Предварительные исследования показали, что в золе растений с высокими содержаниями ртути присутствует ее труднолетучая форма, имеющая температуру выхода порядка  $700-900^\circ\text{C}$  и более. Не исключено, что труднолетучей формой ртути в золе растений является карбид ртути, поскольку технология получения карбидов металлов (нагрев смеси порошков металла и угля) близка к процессу озоления проб растений. Но основной формой ртути в золе является более низкотемпературная форма, имеющая максимальный выход при  $300-400^\circ\text{C}$ . Мы предполагаем, что непосредственно после сжигания растений при температуре  $600-700^\circ\text{C}$  в золе сохраняется только высокотемпературная форма ртути. Однако она является неустойчивой (вероятно, карбид ртути) и переходит в более низкотемпературные формы, которые и определяются стандартной методикой — нагревом пробы при температуре  $800^\circ\text{C}$  в течение 1,5 мин.

Определение ртути в нашей коллекции проб растений (1960–1981 гг.) показало, что этот элемент является универсальным индикатором или спутником всех изученных железорудных, золоторудных, полиметаллических, молибденовых, вольфрамовых и редкометалльных месторождений. Максимальные концентрации ртути в золе, достигавшие  $300 \cdot 10^{-4} \%$  при повышенных фоновых содержаниях  $0,03-0,1 \cdot 10^{-4} \%$ , были установлены на колчеданно-полиметаллическом месторождении в Бурятии и на ртутных месторождениях в Читинской области. Безбарьерными или практически безбарьерными по отношению к высоким концентрациям ртути являются внешние и средние слои корки стволов хвойных пород деревьев; (лиственницы, сосны, кедра, ели, пихты) и корка всех изученных видов березы. Однако корка осины дрожащей и ивы козьей неинформативны или малоинформативны, так как имеют низкие предельные содержания ртути. Кроме корки стволов, высокоинформативны на ртуть опробковевшие шишки сосны с лесного полога, хвоя лиственницы даурской, листья осины дрожащей, ивы козьей, березы плосколистной, голубики, курильского чая и рододендрона даурского, мхи, лишайники и корни всех изученных видов древесных, кустарниковых и травянистых растений. Эти данные свидетельствуют о том, что ртуть в растениях может использоваться как элемент-индикатор ртутных и разнообразных ртутьсодержащих рудных месторождений.

Сопоставление биогео- и литохимических ореолов ртути показало, что на большинстве ртутьсодержащих месторождений биогеохимические ореолы ртути по безбарьерным биообъектам получают значительно контрастнее и выдержаннее литохимических ореолов. Последние часто являются точечными и не прослеживаются на соседних профилях, вероятно, из-за

малой представительности литохимических проб. Как правило, биогеохимические ореолы ртути приурочиваются к известным структурам гидротермально-измененных пород и могут использоваться для их выявления, оконтуривания и изучения внутренней структуры. Эти ореолы дают ценную информацию при картировании зон гидротермально-измененных пород, так как являются высококонтрастными (коэффициент контрастности порядка 10–100) и выдержанными по простиранию геологических структур. При использовании ртути в качестве биогеохимического индикатора рудной минерализации и зон гидротермального изменения горных пород важно то, что ее можно определять в золе проб растений, отбираемых для определения большинства элементов-индикаторов рудных месторождений. Это относится прежде всего к внешним слоям корки стволов деревьев, которые в последние годы стали основными объектами опробования при производственных биогеохимических поисках в Сибири.

Определение РПК ртути показало, что этот биогеохимический параметр изменяется в зависимости от минеральных и неминеральных форм ее нахождения в почвах, горных породах и рудах (см. табл. 3). Наиболее характерны формы ртути, выделяющиеся по существенно различным величинам РПК. Наибольшие величины РПК (3–30) наблюдаются над зонами предположительно самородной ртути в связи с тем, что они всегда сопровождаются парообразной (газообразной) формой ртути, весьма интенсивно поглощаемой растениями (см. табл. 2), а также над зонами с другими легкорастворимыми формами ртути [32]. Эти высокие значения РПК ртути часто являются кажущимися, искаженными в связи с одновременным поглощением ее из твердой и газообразной фаз внешней среды.

Величинами РПК, изменяющимися от 0,3 до 3,0 и близкими в среднем к единице, характеризуются обширные площади с низкими, фоновыми содержаниями ртути, где она представлена преимущественно неминеральными формами. Локальные, редко встречающиеся зоны низких значений РПК ртути наблюдаются над зонами с дисперсной или мелкозернистой киноварью. Здесь зафиксированы значения РПК ртути, равные 0,01–0,3 (без поправок на ее потери при озолении). Над рудными телами с крупными зернами и выделениями киновари РПК ртути имеют наименьшие значения (0,0001–0,001). На картах РПК обычно выделяются зоны распространения двух-трех форм ртути. Наиболее часто выделяются значительные площади неминеральных форм ртути и локальные линейные, ленточные, дуговые, кольцевые и другие зоны распространения предположительно самородной ртути.

По локальным совпадающим биогеохимическим ореолам ртути с кадмием, ртути с галлием, ртути с золотом и ртути с серебром могут быть выделены также предположительные минеральные формы ртути, ассоциирующие с соответствующими металлами. По этим совпадающим ореолам можно выявить и оконтурить локальные зоны распространения амальгам — интерметаллических соединений ртути с металлами (Ag, Au, Pt, Tl) или минералов, включающих в себя одновременно с ртутью другие металлы, например ртутьсодержащие блеклые руды, сауковит (Hg, Cd, Zn)S, ти-

манит  $\text{HgSe}$ , онофит  $\text{Hg(S, Se)}$ , галхаит  $(\text{Hg, As})\text{S}$ , сфалерит- $\text{Hg(Zn, Hg)S}$ , гвадалкацит  $(\text{Hg, Zn})\text{S}$ , амальгамы золота и серебра  $(\text{Hg, Au})$  и  $(\text{Hg, Ag})$  и др.

При использовании ртути в качестве биогеохимического индикатора разнообразных рудных месторождений следует иметь в виду, что она является одним из элементов широкого рассеяния, образующих надрудные литохимические ореолы различных минеральных форм. Первичные ореолы дисперсной самородной ртути не выявляются или значительно искажаются при литохимических исследованиях вследствие значительного улетучивания этой формы ртути при хранении и истирании проб. Весьма вероятно, что именно самородная ртуть, благодаря ее многоступенчатой миграции в парообразной форме, образует наиболее удаленные вверх от рудных тел первичные литохимические ореолы. Однако информация об этих ореолах отсутствует или значительно искажена из-за отсутствия методик определения легколетучей самородной ртути в литохимических пробах [33].

Сопоставление биогеохимических ореолов ртути с ореолами других элементов позволяет отметить их следующие особенности: 1) на большинстве изученных участков наряду с комплексными ртутьсодержащими ореолами характерно наличие интенсивных моноэлементных ртутных ореолов в безбарьерных видах и частях растений, примыкающих или соединяющих отдельные зоны линейных и ленточных ореолов комплекса других рудных элементов; 2) на разнообразных ртутьсодержащих месторождениях преобладают комплексные биогеохимические ореолы ртути, совпадающие с ореолами  $\text{Cu}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Au}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Fe}$  и приуроченные к зонам пиритизации и сульфидизации, не содержащим киновари; кроме этого биогеохимические ореолы ртути совпадают или располагаются вблизи с ореолами  $\text{Na}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Tl}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Yb}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{F}$ ; 3) на нескольких участках установлено совпадение положительных биогеохимических ореолов ртути с отрицательными ореолами — аномально низкими содержаниями циркония и титана.

При поисках собственно ртутных месторождений необходимо иметь в виду, что промышленные месторождения ртути образуют обычно весьма широкие первичные ореолы рудных узлов и рудных полей, площадь которых часто превышает  $1 \text{ км}^2$ , достигая десятков квадратных километров. Они легко могут быть выявлены мелкомасштабными ( $1:200000$  —  $1:100000$ ) почвенно-геохимическими, гидрохимическими и штиховыми поисками, а также биогеохимическими поисками в закрытых районах. Серьезной проблемой часто является выявление в пределах сложнопостроенных рудных узлов и рудных полей отдельных промышленных рудных тел и месторождений, часть площади которых, как правило, закрыта разнообразными рыхлыми образованиями. Детальные биогеохимические поиски в пределах биогеохимических аномалий, сочетаемые с литохимическими с целью определения и картирования основных минеральных типов ртутной минерализации (киноварной и самородной), могут быть весьма полезными для выявления и оконтуривания отдельных рудных тел и месторождений, перекрытых рыхлым покровом.

Молибден — единственный прямой индикатор молибденовых месторождений и важный элемент-индикатор медно-молибденовых, вольфрамо-молибденовых, золото-молибденовых и других молибденсодержащих месторождений и рудных тел. В некоторых случаях молибден является более надежным индикатором рудной минерализации, спутником которой он является, чем основной рудный элемент. Это относится, например, к некоторым невыветрелым вольфрамовым рудам, представленным крупными выделениями вольфрамита, гюбнерита и шеелита, вольфрам которых практически недоступен растениям, и к медно-молибденовым рудам, выявление которых по молибдену в растениях часто имеет большую эффективность, чем по меди.

Фоновые содержания молибдена в золе растений изменяются от 1 до  $20 \cdot 10^{-4}$  %, а максимальные (над богатыми рудными телами) достигают 3 %. В искусственных условиях при добавлении в водные растворы 10–100 мг/л молибдена его концентрации в золе растений достигали 10 %.

Изучение поисковых характеристик 506 видов и частей растений показало, что большинство их являются высокоинформативными по отношению к высоким концентрациям молибдена в корнеобитаемой зоне молибденовых руд и их литохимических ореолов. Как видно из табл. 15, более трети изученных биологических объектов некоторых видов растений являются количественно-информативными, безбарьерными по отношению к молибдену. В эту группу входят надземные части большинства видов травянистых растений, а также некоторые части древесных растений. К ним относятся хвоя пихты, сосны и ели, листья некоторых видов ольхи и ивы, используемые при поисках молибденовой минерализации в Канаде [42, 48, 49], а также шишки сосны обыкновенной. В сосновых лесах Советского Союза опробковевшие шишки сосны с лесного полога часто являются единственным безбарьерным биообъектом, пригодным для систематического опробования на молибден. Использование шишек обусловлено также тем, что они, подобно внешним слоям сосны, информативны по отношению к большому числу элементов-индикаторов разнообразной рудной минерализации. Наименее информативна по отношению к молибденовой минерализации группа из 79 надземных биообъектов, включающая внешние слои корки всех изученных видов деревьев — основные объекты опробования при поисках большинства рудных месторождений в Сибири. В связи с этим при поисках молибденовых руд на точке наблюдения рекомендуется отбирать две пробы: корку дерева и надземные части одного из широко распространенных видов трав, безбарьерных по отношению к молибдену.

Также как для других рудных элементов (Pb, Ag, Sr, Ba, Co и др.), для молибдена установлено наличие у ряда видов растений биообъектов, имеющих резко различные количественные барьерные характеристики. У рододендрона даурского, например, были выявлены биообъекты всех четырех групп информативности. Количественно-информативными у него оказалась древесина нижних и средних частей стеблей. В их золе концент-

## Группировка различных видов и частей растений по поисковой информативности на молибден

Номер группы	Тип биообъекта	Характеристики биообъектов над молибденоносными рудными телами	Номер биообъекта *	Число биообъектов (относительное число, %)	
				надземных	корни
I	Безбарьерный	$C_M > 0,1-1\%$ и превышают $C_\Phi$ в 300 раз и более; РПК = 1-10	1-178	396 (41)	8 (26)
			179-229		
II	Практически безбарьерный	$C_M = 0,01-0,1\%$ и превышают $C_\Phi$ в среднем в 100 раз; РПК = 0,3-3	179-229	120 (25)	19 (61)
			230-319		
III	Барьерный	$C_M \approx 0,001-0,01\%$ и превышают $C_\Phi$ в среднем в 100 раз; РПК = 0,1-1,0	320-367	118 (25)	4 (13)
			368-427		
IV	Фонобарьерный	$C_M < C_a$ РПК = 0,01-0,1	428-503	41 (9)	-
			504-506		

\* Номера биообъектов: 1-72 - зеленые и прошлогодние надземные части, листья, верхние, средние и нижние части стеблей астрагала донникового и перепончатого, вики однопарной, вейника наземного, волосенца сибирского, костера сибирского, овсяницы луговой, райграса высокого, тонконога тонкого, кипрея узколистного, полыни Гмелина и обыкновенной; 73-114 - зеленые надземные части и ветошь бобовых (астрагала приподнимающегося, бобов кормовых, гороха посевного, горошка заборного и мышинного, клевера белого и лугового, люцерны), злаковых (бескильницы тонкоцветной, ежи сборной, ковыля Крылова и сибирского, костера иркутского и сибирского), кастилеи, кровохлебки аптечной, осоки лесной и осоки-пушицы, очитка пурпурового, скерды тонколистной и тысячелистника азиатского; 115-119 - нижние узлы стеблей вейника наземного, волосенца сибирского, костера сибирского, овсяницы луговой и райграса высокого; 120-121 - цветы и цветы с листьями полыни обыкновенной; 122-128 - листья клевера белого и лугового, кровохлебки, липучки обыкновенной, поповника, скерды и тысячелистника; 129-132 - мох (кукушкин лен), зеленые водные мхи и лишайники (олений мох и кладония); 133-144 - нижние, средние и верхние части стеблей и стебли рододендрона белоцветкового, даурского и таволги средней; 145-150 - ветви, побеги и листья ольхи вырезной и кустарниковой; 151-155 - ветви с хвоей (листьями) ели белой и Энгельманна, пихты субальпийской, сосны желтой и рододендрона белоцветкового; 156-157 - двухлетняя хвоя сосны черной и пихты субальпийской; 158-163 - разновозрастная хвоя ели белой и Энгельманна, пихты субальпийской, сосны желтой, обыкновенной и черной; 164-169 - древесина в нижней, средней и верхней частях стволов осины дрожащей и ивы козьей; 170-171 - древесина в средней и верхней частях стволов ольхи кустарной; 172-173 - кора ольхи вырезной и осины дрожа-

щей; 174–175 – зеленые и сухие, опробковевшие шишки сосны обыкновенной; 176 – сухие плодушки шишечки ольхи кустарной; 177–178 – корни астрагала перепончатого и приподнимающегося; 179–192 – зеленые и прошлогодние надземные части ириса русского, липучки обыкновенной, морковника, поповника, осоки аргунской, головчатой и стоповидной; 193–200 – стручки вики однопарной, астрагала перепончатого и приподнимающегося, колосья вейника наземного, волосенца сибирского, костера сибирского, овсяницы луговой и райграса высокого; 201–204 – листья лапчатки пижмолистной, лебеды, мака желтого и марьиного корня; 205 – надземные части брусники; 206–208 побеги таволги средней, рододендрона белоцветкового и даурского; 209–215 – побеги с хвоей (листьями) псевдотсуги Мензиса, сосны белокорой, обыкновенной и черной, ивы канадской, рододендрона даурского и таволги средней; 216 – хвоя сосны белокорой; 217 – древесина в нижней части стволов ольхи кустарной; 218–229 – корни астрагала дождевого, вики однопарной, горошка мышинного, кипрея, морковника, полыни Гмелина и обыкновенной, поповника, тысячелистника, брусники, сосны обыкновенной и кедра сибирского;

230–255 – зеленые и прошлогодние надземные части василистника байкальского, зопника клубненосного, лапчатки, лебеды, мака желтого, марьиного корня, полыни холодной, резухи пониклой, скабиозы вечной, смолевки злаковидной и обыкновенной, схизонепеты многонадрезной и хвоща лесного; 256–258 – стебли лапчатки, лебеды и марьиного корня; 259–270 – ветви и побеги ели белой и Энгельманна, пихты субальпийской, сосны белокорой, желтой и черной; 271 – древесина в средней части стволов сосны обыкновенной; 272–273 – кора в нижней и средней частях стволов ольхи кустарной; 274–297 – стебли, побеги и концы стеблей с листьями акации желтой, багульника болотного, барбариса сибирского, ивы карликовой, караганы алтайской и карликовой, курильского чая и таволги трехлопастной; 298–302 – молодая поросль ивы козьей и узколистной, сосны обыкновенной, лиственницы даурской и сибирской; 303–310 – листья (хвоя) ивы узколистной и Старка, жимолости голубой, мелколистной и обыкновенной, малины сахалинской, можжевельника обыкновенного и ели сибирской; 311–319 – корни василистника, вейника наземного, кровохлебки, лапчатки, полыни холодной, багульника, ивы козьей, таволги средней и сосны обыкновенной;

320–325 – зеленые и прошлогодние надземные части аконита бородатого, аконита Чекановского и хризантемы скальной; 326–345 – ветви или стебли и побеги березы круглолистной, мелколистной, Миддендорфа и низкой, ивки, ивы козьей, Старка и узколистной, осины дрожащей и смородины мелкоцветной; 346–353 – листья рододендрона белоцветкового и даурского, смородины, таволги средней и трехлопастной, шиповника иглистого, березы бородавчатой и плосколистной; 354–357 – корка с лубом и луб березы бородавчатой и плосколистной; 358–359 – луб ивы козьей и осины; 360–367 – корни березы бородавчатой и плосколистной, ели сибирской, лиственницы даурской и сибирской, осины, смородины и шиповника;

368–369 – надземные части и ветошь прострела; 370–375 – стебли и побеги малины, можжевельника и шиповника; 376–388 – побеги с листьями (хвоей) березы бородавчатой, плосколистной, круглистной, мелколистной, Миддендорфа и низкой, жимолости голубой, мелколистной, обыкновенной и татарской, шиповника, ели сибирской и кедра сибирского; 389–391 – листья багульника и курильского чая, хвоя можжевельника казацкого; 392–405 – корка стволов и пней березы бородавчатой и плосколистной, ивы козьей, ели сибирской, лиственницы даурской и сибирской, сосны белокорой и обыкновенной; 406–411 – кора (корка с лубом) ивы козьей и узколистной, рябины сибирской, кедра сибирского, пихты субальпийской и сосны белокорой; 412–421 – внешние слои корки стволов и пней ивы козьей, осины, сосны обыкновенной, лиственницы даурской и сибирской;

422–427 – древесина в нижней части стволов и пней березы бородавчатой, березы плосколистной и кедра сибирского;

428–453 – ветви или стебли и побеги березы бородавчатой, плосколистной и пушистой, ели сибирской, лиственницы даурской и сибирской, жимолости голубой, мелкоцветной, обыкновенной и татарской, ирги, крыжовника и рябины сибирской;

рации молибдена над богатыми рудными телами достигали 0,6 % при местном фоне  $8 \cdot 10^{-4}$  %. Практически безбарьерными являются концы стеблей с листьями, имеющие максимальные концентрации молибдена 0,03—0,08 %, качественно-информативными — побеги, побеги с листьями и листья, а практически неинформативной — кора стеблей с максимальными содержаниями молибдена над богатыми рудными телами 5—30, в среднем  $15 \cdot 10^{-4}$  % (рис. 19). Эти содержания в коре стеблей рододендрона были в сотни раз меньше концентрации молибдена в древесине нижних частей тех же особой растений. Значительные различия (в десятки и сотни раз) между содержаниями молибдена в различных частях тех же особой растений, произрастающих над рудными телами, установлены для ольхи кустарной, сосны и осины (см. рис. 19), а также для березы, ивы, кедра, лиственницы, багульника болотного, таволги средней и других видов растений.

Зависимость относительной интенсивности биогеохимических и почвенно-геохимических ореолов (отношения содержаний молибдена над рудным штокверком к местному фону) от мощности золотого покрова, приведенная на рис. 20, свидетельствует о том, что затухание биогеохимических и почвенно-геохимических ореолов молибдена происходит при различной мощности золотых и золово-делювиальных покровных образований. Если минимально-достоверным значением аномалий считать их превышение над местным фоном в три раза, то максимальная глубинность выявления погребенных литохимических ореолов, имеющих относительную интенсивность, равную 500 (концентрация молибдена в руде  $\sim 0,1$  % при фоне 0,0002 %), по нижним частям стеблей рододендрона даурского будет равна 22 м, по верхним их частям 17 м, а по побегам с листьями 16 м. Для шишек сосны эта величина равна 14 м, для наземных частей большинства видов травянистых бобовых растений 13 м, для двух видов полыни 6 м, а для почвенных проб 0,5 м (см. рис. 20). В результате исследования выяснено, что различные части рододендрона имеют неодинаковые предельные глубины расположения горизонта питания — от 16 (для побегов с листьями) до 22 м (для нижних частей стеблей). Это, по-видимому, объясняется наличием в стеблях рододендрона и других растений антиконцентрационного механизма против высоких содержаний молибде-

---

454—459 — листья (хвоя) и побеги с листьями (хвоей) рябины, лиственницы даурской и сибирской; 460—463 — листья березы круглолистной, мелколистной, Миддендорфа и пушистой; 464 — побеги кедра сибирского; 465—470 — внешние слои корки стволов и пней кедра сибирского и стланикового, пихты сибирской; 471—488 — средние и внутренние слои корки и корка с лубом ели сибирской, кедра стланикового, лиственницы даурской и сибирской, пихты сибирской и сосны обыкновенной; 489 — кора стеблей рододендрона даурского; 490—496 — луб ели, кедра сибирского и стланикового, лиственницы даурской и сибирской, пихты сибирской и сосны обыкновенной; 497—502 — древесина в нижней части стволов и пней сосны обыкновенной, лиственницы даурской и сибирской; 503 — весенний сок березы плосколистной;

504 — побеги кедра стланикового; 505—506 — хвоя кедра сибирского и стланикового.

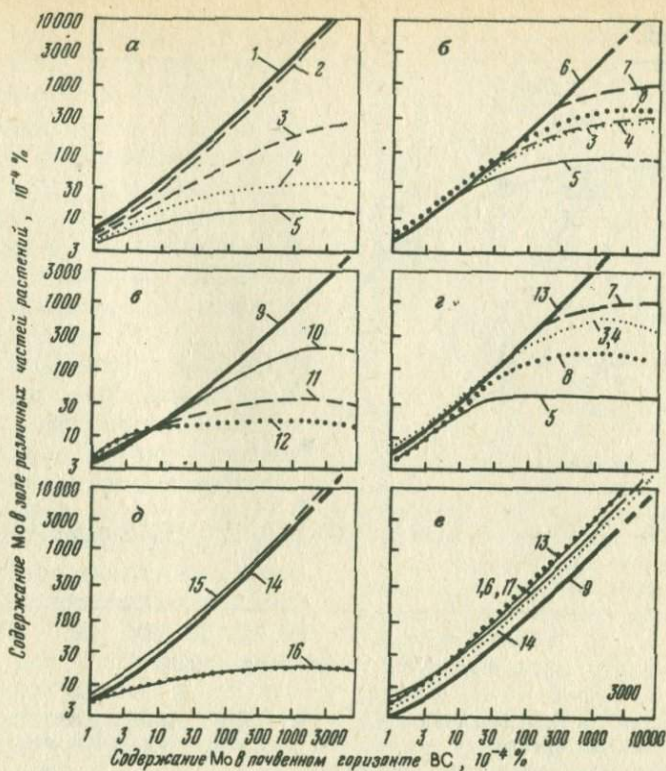


Рис. 19. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями молибдена в системе "почва – биообъекты" на открытых литохимических ореолах молибденового месторождения

*а* – рододендрон даурский; *б* – ольха кустарниковая; *в* – сосна обыкновенная; *г* – осина дрожаящая; *д* – травянистые растения; *е* – безбарьерные биообъекты

1–5 – рододендрон даурский (1 – нижние части стеблей, 2 – верхние части стеблей, 3 – побеги, 4 – листья, 5 – кора); 6 – древесина ольхи на высоте 1,5–3 м; 7 – древесина ольхи на высоте 0,1–0,5 м; 8 – ветви диаметром 5–20 мм; 9 – опробковевшие шишки сосны с лесного полога; 10 – информативные внешние слои корки небольшого (15%) числа особей сосны; 11 – малоинформативные внешние слои корки большинства (85%) особей сосны; 12 – луб сосны; 13 – древесина осины на высоте 2–5 м; 14 – зеленые и сухие надземные части астрагала перепончатого, вики однопарной, горошка заборного и мышинного; 15 – зеленые и сухие надземные части клевера лугового; 16 – зеленые надземные части прострела; 17 – нижние части стеблей таволги средней

на в корнеобитаемой зоне, функционирующего подобно адсорбционной колонке. К настоящему времени функционирование этого механизма в стеблях рододендрона даурского и других видов установлено для Li, Cu, Ag, Au, Be, Ba, Zn, Sn, Pb, Bi, Mo, W, Co. Несомненно, что дальнейшими исследованиями оно будет установлено для большего числа химических элементов.

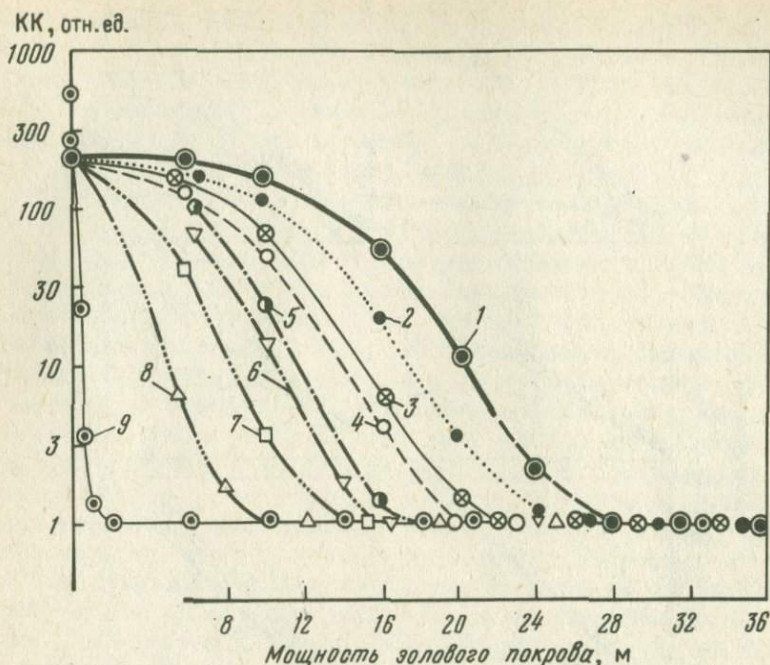


Рис. 20. Зависимости коэффициента контрастности (КК) биогеохимических и почвенно-геохимических ореолов от мощности экранирующего золотого покрова над рудными телами молибденового месторождения

1-4 — рододендрон даурский (1 — нижние части стеблей, 2 — верхние части стеблей, 3 — побеги, 4 — побеги с листьями); 5 — опробковевшие шишки сосны обыкновенной с лесного полога; 6-8 — надземные части травянистых растений (6 — вики однопарной, горошка заборного и горошка мышиного, 7 — астрагала перепончатого; 8 — полыни Гмелина и обыкновенной); 9 — почвенный горизонт ВС на глубине 25-35 см

Выявленная зависимость интенсивности биогеохимических ореолов в различных безбарьерных биообъектах от мощности покровных образований может быть использована для определения содержания молибдена в разрезе рыхлого покрова и мощности последнего, а также введения поправок за ослабление биогеохимических ореолов. Эта методика, которая может быть названа *биогеохимическим каротажем*, наиболее просто реализуется с помощью зависимостей относительных содержаний различных биообъектов (ОСБО) изучаемых элементов-индикаторов от мощности покровных образований, принимая ОСБО безбарьерного биообъекта с наибольшей глубинностью, равным 1,0. Эта зависимость является более четкой не для наблюдаемых, а для аномальных содержаний элементов-индикаторов в растениях и соответственно для  $OSBO_a = (C_n^и - C_n^э) / (C_n^э - C_n^ф)$ , где  $C_n^и$  и  $C_n^э$  — наблюдаемое и фоновое содержание элемента-индикатора в изучаемом биообъекте, а  $C_n^э$  и  $C_n^ф$  — его содержание на точке

наблюдения и фоновое в эталонном биообъекте. Пример подобных зависимостей ОСБО<sub>а</sub> для четырех безбарьерных биообъектов одного из месторождений приведен на рис. 21. Практически мощность покрова, экранирующего элювиальные или элювиально-делювиальные ореолы рудных тел, удобно определять с помощью таблиц величин ОСБО<sub>а</sub>, примером которой является табл. 16.

Важным результатом комплексных литобиогеохимических исследований на молибденовом месторождении явилось подтверждение опубликованных данных о том, что биогеохимические ореолы молибдена имеют количественную связь с первичными ореолами и рудами [10]. Как видно на рис. 22, для трех безбарьерных биообъектов (нижних частей стеблей рододендрона, шишек сосны и надземных частей бобовых растений) по небольшому числу сопоставимых проб наблюдаются приблизительно прямо пропорциональные зависимости. Эти зависимости имеют следующие количественные характеристики (табл. 17): для нижних частей стеблей рододендрона растительно-рудный коэффициент РРК равен в среднем  $2,1 \pm 0,09$  при минимальной величине стандартного множителя  $\epsilon_{\min} = 1,63$  и коэффициенте линейной корреляции  $r = 0,82$ ; для надземных частей бобовых  $PPK = 1,52 \pm 0,08$ ;  $\epsilon_{\min} = 1,74$  и  $r = 0,89$ , а для дублированных на всех точках наблюдения опробковевших шишек с лесного полога  $PPK = 0,79 \pm 0,04$ ;  $\epsilon_{\min} = 1,50$  и  $r = 0,88$ .

Как видно из приведенных данных, при достоверной разнице между средними величинами РРК молибдена три биообъекта имеют приблизительно одинаковые величины стандартного множителя  $\epsilon_{\min} = (1,50 - 1,74)$  и коэффициента линейной корреляции  $r = 0,82 - 0,89$ . Эти данные также показывают, что наилучшая корреляция (наименьшая величина  $\epsilon$ ) между содержаниями молибдена в безбарьерных биообъектах и в бороздовых пробах различной длины наблюдается для нижних частей стеблей рододендрона и надземных частей травянистых бобовых растений, опробованных на площадях диаметром до 3 м при длине бороздовых проб 2 м, а для шишек сосны 4 м. Интересно отметить, что на двух изученных месторождениях для корки сосны получены одинаковые результаты:  $r = 0,86$  при  $\epsilon = 2,5$  и  $PPK = 0,8 \pm 0,1$  [10]. Сопоставление величин РРК молибдена

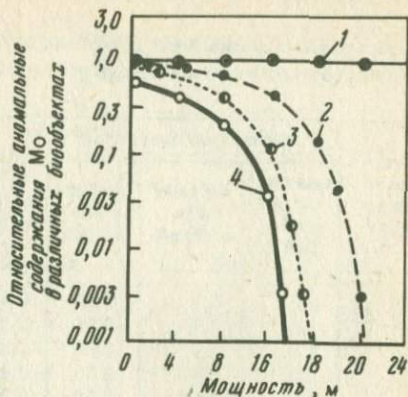


Рис. 21. График зависимости относительных аномальных содержаний молибдена в различных биообъектах (ОСБО<sub>а</sub>) для рододендрона даурского от мощности экранирующего золотого покрова на молибденовом месторождении (ОСБО<sub>а</sub> нижних частей стеблей рододендрона принято равным 1,0)

1—2 — части стеблей (1 — нижние, 2 — верхние); 3 — побеги; 4 — побеги с листьями

Как видно из приведенных данных, при достоверной разнице между средними величинами РРК молибдена три биообъекта имеют приблизительно одинаковые величины стандартного множителя  $\epsilon_{\min} = (1,50 - 1,74)$  и коэффициента линейной корреляции  $r = 0,82 - 0,89$ . Эти данные также показывают, что наилучшая корреляция (наименьшая величина  $\epsilon$ ) между содержаниями молибдена в безбарьерных биообъектах и в бороздовых пробах различной длины наблюдается для нижних частей стеблей рододендрона и надземных частей травянистых бобовых растений, опробованных на площадях диаметром до 3 м при длине бороздовых проб 2 м, а для шишек сосны 4 м. Интересно отметить, что на двух изученных месторождениях для корки сосны получены одинаковые результаты:  $r = 0,86$  при  $\epsilon = 2,5$  и  $PPK = 0,8 \pm 0,1$  [10]. Сопоставление величин РРК молибдена

Относительные аномальные содержания (ОСБО<sub>а</sub>) молибдена  
в безбарьерных биообъектах при различной мощности золотого покрова

Мощность покрыва, м	Рододендрон даурский			Шишки сосны обыкновенной	Надземные части		
	нижние части стеблей	верхние части стеблей	побеги с листьями		вики однопарной, горошка заборного и мышинного	астрагала перепончатого	полюны Гмелина и обыкновенной
0	1,0	0,9	0,60	0,40	0,80	0,8	0,7
1	1,0	0,9	0,58	0,38	0,77	0,7	0,6
2	1,0	0,9	0,56	0,35	0,72	0,6	0,5
3	1,0	0,9	0,53	0,32	0,66	0,5	0,4
4	1,0	0,9	0,50	0,30	0,60	0,4	0,3
5	1,0	0,9	0,45	0,27	0,50	0,3	0,2
6	1,0	0,9	0,40	0,24	0,40	0,24	0,07
7	1,0	0,86	0,33	0,18	0,32	0,16	0,01
8	1,0	0,80	0,27	0,15	0,26	0,10	—
10	1,0	0,70	0,20	0,09	0,12	0,02	—
12	1,0	0,60	0,13	0,04	0,03	—	—
14	1,0	0,46	0,08	—	—	—	—
16	1,0	0,34	0,04	—	—	—	—
18	1,0	0,24	—	—	—	—	—
20	1,0	0,15	—	—	—	—	—
22	1,0	0,06	—	—	—	—	—
24	1,0	0,014	—	—	—	—	—

Примечание. Прочерком отмечены значения  $ОСБО_a < 0,02$ , которые не следует использовать при определении мощности экранирующих покровов из-за значительных погрешностей. На таких точках наблюдения значения  $ОСБО_a$  могут быть приняты равными постоянной величине порядка 0,01–0,02.

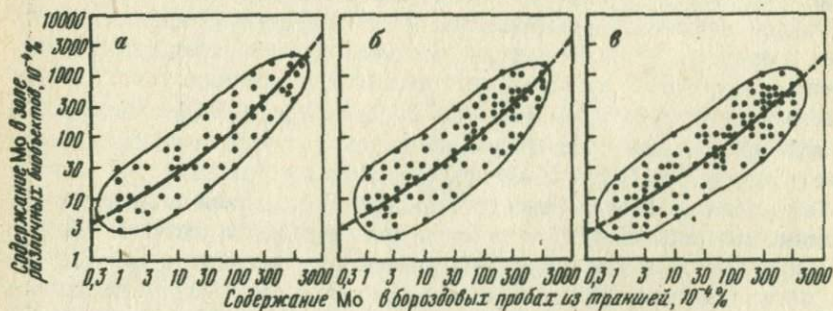


Рис. 22. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями молибдена в системе "горные породы и руды – безбарьерные биообъекты" на открытых литохимических ореолах молибденового месторождения

*а* – нижние части стеблей рододендрона даурского; *б* – надземные части травянистых бобовых растений (вики однопарной, горошка заборного и мышинного); *в* – опробковевшие шишки сосны обыкновенной с лесного полога. Условные обозначения см. рис. 12

## Характеристики растительно-рудных коэффициентов (РПК) молибдена для борзодовых проб различной длины

Длина борзодовых проб, м	Биообъекты, безбарьерные по отношению к молибдену								
	нижние части стеблей рододендрона даурского			надземные части травянистых бобовых			шишки сосны обыкновенной *		
	n	РПК ± σ	ε	n	РПК ± σ	ε	n	РПК ± σ	ε
2	12	2,4 ± 0,14	1,63	18	1,52 ± 0,10	1,74	34	0,84 ± 0,05	1,56
4	12	2,0 ± 0,16	1,71	18	1,61 ± 0,12	1,83	34	0,81 ± 0,06	1,50
6	12	1,9 ± 0,19	1,84	18	1,50 ± 0,15	1,92	34	0,78 ± 0,08	1,64
10	12	2,1 ± 0,26	2,04	16	1,44 ± 0,19	2,18	28	0,72 ± 0,11	1,74
Среднее		2,10 ± 0,09			1,52 ± 0,08			0,79 ± 0,04	
ОСБО		2,7 ± 0,1			1,9 ± 0,1			1,0 (эталон)	

\* Дублирование пробы.

на трех изученных месторождениях говорит о стабильности этого биогеохимического параметра. Рассмотрение концентрационных кривых в системе "борзодовые пробы из траншей — различные части сосны" (рис. 23) говорит о том, что количественная интерпретация малоинформативных биообъектов (в данном случае внешних и внутренних слоев корки сосны) в диапазоне рудных концентраций молибдена в борзодовых пробах невоз-

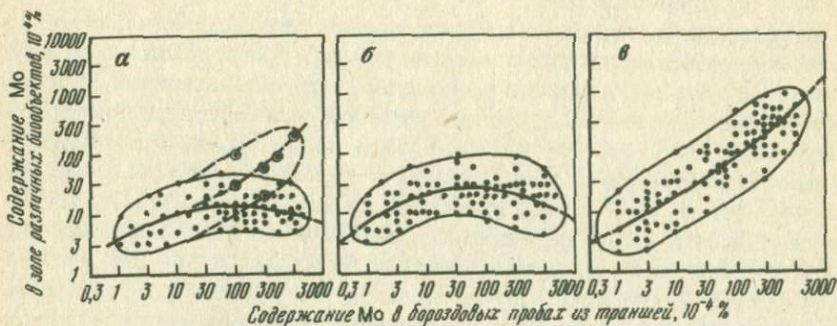


Рис. 23. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями молибдена в системе "горные породы и руды — биообъекты сосны обыкновенной" на открытых литохимических ореолах молибденового месторождения

а — внутренние слои корки (барьерный тип — сплошная линия, 85 % особей,  $\epsilon = 1,47$ ; безбарьерный — пунктирная линия, 15 % особей); б — внешние слои корки ( $\epsilon = 1,58$ ); в — опробковевшие шишки с лесного полога ( $\epsilon = 1,74$ ). Условные обозначения см. рис. 12

Средние фоновые содержания молибдена в зоне опробованных шишек различных пород деревьев Сибири

Вид растения	Число изученных участков	Число изученных проб	Средние содержания молибдена на отдельных участках, $10^{-4}$ %	Среднее для всех участков
Сосна обыкновенная	12	320	2,9—4,7	3,8
Лиственница даурская	6	83	3,3—4,8	4,2
Лиственница сибирская	5	51	2,9—4,4	3,9
Ель сибирская	3	29	3,1—4,0	3,5
Кедр сибирский	4	27	3,5—3,7	3,6
Кедр стланиковый	1	16	3,0—4,5	3,8

можно, так как зависимость в этом диапазоне близка к обратно пропорциональной.

Отметим важнейшие особенности накопления молибдена растениями, имеющие значение для биогеохимических поисков.

1. Средние фоновые содержания молибдена в одинаковых биообъектах в районах удаленных друг от друга до первых тысяч километров, относительно стабильны. Для шишек сосны, например, на 12 изученных участках Сибири фон изменяется от 3 до  $5 \cdot 10^{-4}$  % и в среднем близок к  $4 \cdot 10^{-4}$  %, также как для шишек других видов хвойных деревьев (табл. 18).

2. Фон молибдена на расстоянии до сотен метров и первых километров от рудных тел штокверковых месторождений в сопоставимых биообъектах увеличивается в 2—3 раза по сравнению с региональным фоном (до  $12 \cdot 10^{-4}$  % в шишках сосны).

3. Содержание молибдена в коре стволов, ветвях, побегах, листьях и шишках деревьев не зависит от высоты отбора и ориентировки проб относительно сторон света. Однако в древесине сосны обыкновенной, произрастающей над молибденсодержащими рудными телами, содержание молибдена зависит только от высоты отбора проб, но не от ориентировки проб и глубины опробуемого слоя заболонной и ядровой древесины (табл. 19). Значительное (в 10—100 раз) изменение содержаний молибдена в зависимости от высоты отбора проб древесины стволов или стеблей наблюдалось также у осины, ивы, ольхи, таволги и рододендрона. Это явление, установленное также для W и Ag, требует дальнейшего уточнения, в связи с тем что в зависимости от возраста растения распределение химических элементов в древесине вдоль ствола или стебля может быть неодинаковым.

4. Некоторые биологические объекты имеют нестабильные барьерные и, соответственно, поисковые характеристики при высоких концентрациях молибдена в питающей среде. Так, например, внешние слои корки сосны обыкновенной и лиственницы даурской, отнесенные нами к III и IV группам биообъектов (см. табл. 15), по относительно небольшому числу особей могут быть отнесены к II группе практически безбарьерных био-

Содержание молибдена в различных частях древесины сосны, произрастающей над молибденсодержащим рудным телом

Ориентировка проб на дереве	Номер слоя древесины (толщиной по 3–6 см каждый)	Содержание Мо, $10^{-4}$ %, при высоте отбора проб, м		
		1,0–1,5	3–4	5–6
Северо-восточная	I	2	15	20
	II	2	10	20
	III	3	10	20
	IV	2	8	30
	Среднее	2,2	10,8	22
Юго-восточная	I	3	13	30
	II	1,4	6	8
	III	2	6	30
	IV	2	12	10
	Среднее	2,1	9,0	19
Юго-западная	I	2	10	30
	II	3	20	20
	III	1	10	8
	IV	3	10	10
	Среднее	2,2	12,5	17
Северо-западная	I	3	10	20
	II	1	6	30
	III	3	8	10
	IV	2	20	15
	Среднее	2,2	11,0	19
Среднее для проб различной ориентировки	I	2,4	12	24
	II	1,7	10	18
	III	2,0	8	15
	IV	2,4	12	15
	Среднее	2,2	10,5	18

объектов. Концентрации молибдена в коре таких особей сосны и лиственницы достигают 0,05 %, в то время как у большинства особей они находятся на уровне местного фона и не превышают минимально-аномального значения  $8 \cdot 10^{-4}$  % (табл. 20). Согласно статистическим данным по нескольким участкам, большинство (от 60 до 90 %) особей сосны обыкновенной имеют корку, неинформативную по отношению к высоким концентрациям молибдена в почвах. Для лиственницы даурской относительное количество таких особей изменялось от 20 до 60 %. Хвоя сосны обыкновенной имеет также нестабильные поисковые характеристики. Статистические данные свидетельствуют о том, что на разных участках от 60 до 90 % особей сосны имеют безбарьерную хвою и от 10 до 40 % – барьерную. В связи с нестабильными барьерными характеристиками корки и хвои сосны обыкновенной их не следует использовать при поисковых работах.

5. Наиболее интенсивно молибден поглощается растениями из водных растворов. Значения растительно-водного (корневого) коэффициента

Содержание молибдена в золе различных биообъектов на аномальных точках молибденового рудопроявления,  $10^{-4}$  %

Побеги рододендрона	Шишки сосны	Корка	
		сосны	лиственницы
200	60	3	—
50	30	8	—
100	60	8	20*
80	80	8	—
80	40	8	—
100	50	3	5
500	300	5	30*
200	100	5	—
400	100	3	8
60	50	15*	—
300	150	5	100*
200	200	8	—
60	60	5	—
100	70	2	30*
100	50	3	3
60	100	5	8
300	200	5	30*
100	40	8	—
80	80	20*	3
100	50	2	—
60	60	3	—
60	30	5	—
100**	100**	9**	50**

\* Аномальные значения с вероятностью  $> 99,7$  %.

\*\* Процент аномальных точек.

РВК<sub>к</sub> молибдена для безбарьерных надземных частей растений изменяются от 100 до 50000 при пересчете его концентраций на золу. Морские водоросли имеют приблизительно такие же величины РВК молибдена (порядка 100—30000). Среднее значение РВК молибдена приблизительно равно 3000. Поглощение его растениями из почв и почвообразующих горных пород происходит с меньшей интенсивностью, чем из водных растворов. Величины растительно-почвенного коэффициента (РПК) молибдена изменяются от 0,01 до 300 (см. табл. 3). При кларковых содержаниях в почвах средние значения РПК молибдена близки к 3,0. Наибольшие значения РПК этого элемента (30—300) наблюдаются при внесении водорастворимых его солей в почву. Низкие, искаженные значения РПК молибдена над молибденоносными зонами могут наблюдаться при использовании барьерных видов и частей растений. Такие данные приводились в ряде работ [41 и др.] без указаний на явное влияние антиконцентрационных барьеров.

При опробовании надземных частей травянистых растений при поисках

молибденовых и молибденсодержащих месторождений требуется учитывать изменения содержания молибдена во времени. Эти изменения (в 3 раза, реже в 10 раз в расчете на сухое вещество) связаны с ростом и развитием растений. Характерна синхронность изменения содержания молибдена и зольности. Поэтому содержание его в золе изменяется в течение вегетационного периода в меньшей степени (обычно не более чем в 1,5–2 раза).

Значительная доля молибдена, поглощенного растениями, находится в их зеленых частях в водорастворимых формах. Их относительное количество зависит от физического состояния растений: в зеленой траве водорастворимые формы составляют 70–80 % общего содержания молибдена, в сухом сене приблизительно 40 %, а после замораживания растений 7 %. По данным выщелачивания химических элементов из свежих листьев и хвои можно сделать вывод, что молибден является одним из наиболее подвижных элементов. Содержание его в золе после 3-часового выщелачивания уменьшилось на 12 %, 15-часового — на 34 %, а за 12 сут — на 50 %, т.е. в 2 раза (см. табл. 7). Это свидетельствует о возможности выщелачивания молибдена из листьев во время интенсивных дождей. Кроме изменений содержания молибдена, связанных с фазами вегетации растений и выщелачиванием из надземных частей дождями, отмечено изменение содержания подвижных форм этого элемента в почвах. Например, в Казахстане после кратковременных ливневых дождей в золе почвы содержание молибдена увеличивалось до 3,2 раза. Одновременно в ней увеличивалось содержание меди, свинца и стронция в 1,7; 1,9 и 1,8 раза [1, 7]. Через 2–4 дня содержание молибдена уменьшилось приблизительно до исходного уровня. По-видимому, это объясняется появлением в увлажненной почве растворенных его форм. Следует отметить, что после интенсивных дождей в верхних почвенных горизонтах наблюдалось изменение содержания не только подвижных форм, но и общего содержания молибдена. По данным А.С. Михайлова (1961 г.), в Казахстане, например, наблюдалось уменьшение содержания валовых его форм, достигавшее 6 раз. Очевидно, изменения содержания молибдена в почвах могут приводить к нестабильности во времени его содержания в растениях.

## Серебро

Благодаря проведению в последние годы эмиссионных спектральных анализов золы растений на спектрографах высокого разрешения (ДФС-8, ДФС-13 и СТЭ-1) серебро определяется в настоящее время почти во всех пробах растений при пределе обнаружения  $0,1 \cdot 10^{-4}$  %. Эта чувствительность, однако, недостаточна для определения фоновых содержаний этого элемента в почвах, рыхлом покрове и горных породах. В связи с этим, биогеохимические поиски по серебру в растениях часто имеют явное преимущество перед почвенно-геохимическими.

Данные высокочувствительных определений позволяют рассматривать серебро в качестве одного из универсальных биогеохимических индикаторов разнообразной рудной минерализации. Это обусловлено тем, что ин-

тенсивные его ореолы в безбарьерных биообъектах растений установлены на всех без исключения месторождениях изученных видов полезных ископаемых: железа; полиметаллов, золота, серебра, молибдена, вольфрама, ртути, сурьмы и редких элементов, включая уран. Серебро является постоянной примесью рудных сульфидных минералов (пирита, галенита, сфалерита, халькопирита и др.). Наибольшие его концентрации, достигающие 2,5 %, установлены в галените и 1,5 % — в борните. Наиболее широко распространенные сульфиды (пирит, сфалерит) имеют средние содержания серебра  $40-400 \cdot 10^{-4}$  %, превышающие его кларк в земной коре ( $0,1 \cdot 10^{-4}$  %) в сотни и тысячи раз. В халькопирите средние его содержания в месторождениях различных генетических типов сульфидных месторождений колеблются в пределах  $70-400 \cdot 10^{-4}$  %. С сульфидами часто ассоциируются и собственные минералы этого элемента: самородное серебро (Ag), электрум (Au, Ag), аргентит ( $Ag_2S$ ), кераргирит (AgCl), амальгама серебра (Ag, Hg) и др. В ряду вертикальной зональности гидротермальных рудных месторождений серебро располагается выше свинца. Поэтому наличие интенсивных первичных и вторичных (включая биогеохимические) ореолов серебра может рассматриваться как показатель верхне- или надрудного уровня эрозионного среза рудных тел и их первичных ореолов, являющихся источниками выявляемых и изучаемых биогеохимических аномалий и ореолов серебра.

Весьма важной для биогеохимических поисков особенностью серебра является его малая подвижность в зоне гипергенеза. Благодаря этому он образует интенсивные литохимические ореолы в зонах окисления, в том числе в "железных шляпах" колчеданно-полиметаллических и медноколчеданных месторождений. В зонах окисления сульфидных месторождений содержания серебра могут быть выше, чем в первичных рудах в связи с выносом больших масс легкорастворимых минералов, особенно карбонатов.

Особенности накопления серебра растениями в основном благоприятны для использования в качестве биогеохимического индикатора серебро-содержащих рудных месторождений. Как отмечалось выше, весьма благоприятна для биогеохимических поисков относительно высокая интенсивность поглощения серебра растениями, произрастающими за пределами серебро-содержащих минерализованных зон, т.е. на фоне, что дает возможность точного определения биогеохимического фона серебра и выявления даже слабых аномалий этого элемента в растениях в условиях, когда для литохимических поисков это невозможно.

Фоновые содержания серебра в золе сходных биологических объектов, например во внешних слоях корки или в корке стволов древесных и кустарниковых растений, надземных частях травянистых растений, ядровой древесине деревьев и т.д., относительно стабильны. В корке древесных растений фоновое содержание серебра равно в среднем  $0,2 \cdot 10^{-4}$  % при колебаниях от 0,1 до  $0,3 \cdot 10^{-4}$  %. В надземных частях травянистых растений они, как правило, в 1,5-3 раза ниже. Наиболее высокими фоновыми содержаниями этого элемента характеризуется ядровая древесина (в дальнейшем мы будем называть ее древесиной) всех изученных пород древес-

ных растений. Они находятся в пределах от 0,3 до  $0,8 \cdot 10^{-4}$  %. Среднее фоновое содержание серебра в золе древесины 12 изученных видов растений Сибири мало зависит от вида и составляет  $0,5 \cdot 10^{-4}$  %.

Большинство видов и частей растений, произрастающих над серебросодержащими рудными телами, накапливают серебро по барьерному типу с различными предельными концентрациями этого элемента. Изучение количественных и, соответственно, поисковых характеристик большого числа видов и частей растений говорят о том, что наиболее информативными (количественно-информативными), безбарьерными по отношению к высоким концентрациям серебра в почвах и почвообразующих горных породах, являются корни большинства изученных видов растений, мхи, лишайники и грибы, а также надземные части осоки лесной и костера ржаного. Максимальные концентрации серебра в их золе над серебросодержащими рудными телами достигали  $30-1000 \cdot 10^{-4}$  %, превышая фон в сотни и тысячи раз. Как правило, в золе безбарьерных биообъектов концентрации серебра над рудными телами превышали их содержания в почвах и корнеобитаемой зоне почвообразующих горных пород или были близки к ним. Весьма интересной особенностью биогеохимических ореолов серебра на серебросодержащих месторождениях является их большая (в 2-10 раз) контрастность по сравнению с почвенно- и элювиально-геохимическими, а также с первичными ореолами на выходах рудных тел, вскрываемых канавами и траншеями. Это позволяет утверждать, что в первичных ореолах рудных тел содержатся большие относительные количества подвижного серебра по сравнению с безрудными горными породами, не измененными гидротермальными процессами.

Статистические результаты группировки биообъектов растений Сибири по их количественным барьерным и поисковым характеристикам свидетельствуют о том, что 52 % являются неинформативными или практически неинформативными по отношению к высоким концентрациям серебра в корнеобитаемой зоне почв и почвообразующих горных пород. К группе неинформативных биообъектов относятся ветви, побеги, листья, а также ветви и побеги с листьями ивы, осины и рябины, луб всех изученных видов древесных растений, а также надземные зеленые части и прошлогодние части некоторых травянистых растений. Значительное число надземных биообъектов растений относятся к группе практически неинформативных. Эта группа видов и частей растений с барьерными характеристиками, промежуточными между фоновыми барьерными и барьерными (качественно-информативными) слабоконцентрирующими биообъектами не рекомендуется для использования при биогеохимических поисках по серебру, так как статистически достоверные ореолы над серебросодержащими рудными телами в них могут быть выявлены только при весьма густой сети отбора проб — по нескольким (4-10) точкам наблюдения над отдельным рудным телом. Рудные биогеохимические ореолы серебра в данной группе биообъектов единичными точками наблюдения, как правило, не выявляются. Эта большая группа биообъектов включает в себя листья, побеги, ветви, побеги с листьями и ветви с листьями многих древесных и кустарниковых, а также надземные части травянистых растений. Значительное

относительное число изученных видов и частей растений являются барьерными, качественно-информативными, с предельными содержаниями, превышающими местный фон приблизительно в 10 раз — декафобарьерными биообъектами. Эта группа из 75 биообъектов (31 %) включает в себя разнообразные части растений: внешние слои корки лиственницы, заболонную древесину большинства изученных видов древесных растений, ядровую древесину березы и рябины, а также листья, побеги, ветви и стебли древесных и кустарниковых, а также надземные части некоторых видов травянистых растений. Эта группа биообъектов может использоваться при биогеохимических поисках по серебру в тех случаях, когда на точках наблюдения отсутствуют более информативные надземные биообъекты, наиболее подходящими из которых является корка березы (береста) и ядровая древесина большинства видов древесных растений. Таким образом, при биогеохимических поисках для опробования на серебро в лесных и таежных районах целесообразно использовать корку березы, ядровую древесину деревьев, мхи, лишайники, грибы и надземные части весьма ограниченного числа видов травянистых растений [14, 17].

Очевидно, что выявление надземных биообъектов, наиболее информативных, безбарьерных и практически безбарьерных по отношению к высоким концентрациям серебра в корнеобитаемой зоне почв и почвообразующих горных пород, должно являться задачей дальнейших опытно-методических работ в ландшафтах изучаемых регионов. При таких работах весьма полезно изучение распределения серебра в поперечных разрезах стволов и в других частях широко распространенных видов древесных растений. Результаты такого исследования показывают, что серебро имеет весьма контрастное распределение в различных частях древесных растений, особенно в поперечных разрезах стволов, что позволяет выбрать биообъекты, наиболее целесообразные для опробования.

Несмотря на то, что древесина большинства видов древесных растений более информативна по отношению к серебру и содержит его в существенно больших количествах, по сравнению с коркой, при поисковых работах следует опробовать внешние слои корки. Это обусловлено значительно большей трудоемкостью отбора проб древесины, весьма нежелательным травмированием деревьев при отборе проб ядровой древесины, высокой информативностью внешних слоев корки к значительно большему числу элементов-индикаторов, а также относительно низкой контрастностью первичных литохимических ореолов серебра на серебросодержащих месторождениях.

Внешние слои корки стволов нескольких изученных пород деревьев имеют различную поисковую информативность на серебро. Наиболее высокими относительными предельными концентрациями серебра характеризуется корка стволов березы бородавчатой, плосколистной и пушистой (береста). При наличии других видов древесных растений различным видам березы всегда следует отдавать предпочтение при опробовании на серебро. Приблизительно такой же поисковой информативностью характеризуется корка стволов кедра сибирского, являющегося значительно менее распространенным видом, чем указанные виды березы. Наименее ин-

формативными, по имеющимся предварительным данным, являются внешние слои корки стволов сосны обыкновенной, ели сибирской и пихты сибирской. Поэтому в ряде случаев целесообразно отбирать пробы внешних слоев корки стволов более информативных на серебро видов деревьев (береза, кедр, лиственница) и ядровой древесины видов, внешние слои корки которых малоинформативны на серебро (сосна, ель, пихта). Эту рекомендацию следует использовать в практике поисковых работ.

При отборе проб корки березы следует иметь в виду, что ее части имеют существенно различные содержания серебра. Черные бородавки ("спящие почки" и чешуйки — "глазки") и черные пятна, характерные для пазушных пятен корки под ветками или сучками ("черная" корка) имеют в среднем в 3 раза меньшие содержания серебра по сравнению с "белой" коркой березы — гладкой белой берестой. В связи с этим для повышения информативности при опробовании берез ее корку следует делить на две пробы: 1) пробы "белой" корки на Ag, Cu, B, Rb; 2) пробы "черной" корки на Li, Be, Sr, Ba, Ti, Zr, Pb, V, Nb, F, Fe, Co и Ni. При отборе проб бересты необходимо обращать внимание на ее чистоту от луба в нижних частях стволов с растрескавшейся коркой. Включение в пробу луба приводит к значительному уменьшению содержания серебра и многих других элементов-индикаторов, так как луб характеризуется более высокой зольностью (~5%) по сравнению с коркой березы (~0,5%) и значительно меньшим содержанием серебра и других элементов-индикаторов, в частности цинка (см. рис. 3), свинца (см. рис. 8) и меди (см. рис. 16).

При поисках собственно сереборудных месторождений, характеризующихся высокими концентрациями серебра (порядка  $50-1000 \cdot 10^{-4} \%$  и более), превышающими кларковые содержания его в различных горных породах (0,05–0,1 г/т) в 500–20000 раз, наиболее целесообразно опробовать ядровую древесину деревьев. Это обусловлено тем, что в ней над сереборудным телом по единичным пробам зафиксированы биогеохимические ореолы серебра, достигающие  $800 \cdot 10^{-4} \%$ , что превышает местный фон, равный  $0,4 \cdot 10^{-4} \%$ , в 2000 раз.

При использовании корки стволов деревьев для опробования на серебро следует иметь в виду, что эти биообъекты могут давать весьма нестабильные результаты, причины которых требуют проведения специальных исследований. Эта нестабильность была установлена для корки стволов хвойных деревьев: (сосны обыкновенной и сибирских видов кедра, лиственницы, ели, пихты) только на одном из нескольких десятков изученных участков — гидротермальном железорудном месторождении и в его окрестностях. Выявленная нестабильность характеризуется появлением высоких концентраций серебра, достигающих  $150 \cdot 10^{-4} \%$  при местном фоне  $\sim 0,15 \cdot 10^{-4} \%$ , только в одной из трех одновременно отобранных и проанализированных послонных проб корки особи растения и только в одном из двух—пяти видов растений, одновременно опробованных на точке наблюдения. Таким образом, при отборе на точке наблюдения одной пробы растения можно пропустить биогеохимические аномалии серебра.

В корке сосны и лиственницы высокие концентрации серебра обнаруживаются в районе рассматриваемого железорудного месторождения во

всех трех опробованных слоев. Статистические данные показывают, что в золе корки сосен, отобранных на интенсивных биогеохимических аномалиях серебра, которые были выявлены хотя бы в одном из 3—7 одновременно опробованных биообъектов, вероятность обнаружения этих аномалий для различных слоев корки была практически одинакова и равна  $26 \pm 1,6\%$ . При этом, на 18 из 53 точек наблюдения (34 % случаев) аномальные концентрации серебра ни в одном из трех слоев корки сосны не обнаружены, хотя они были выявлены в корке лиственницы, березы, ели, кедра или пихты. Это свидетельствует о том, что при отборе на точке наблюдения только трех проб корки сосны 34 % точек с высокоаномальными концентрациями серебра были бы пропущены.

Для различных слоев корки лиственницы установлено существенное увеличение вероятности появления высоких концентраций серебра от внешних слоев корки к внутренним. Эта вероятность для внешних слоев корки была приблизительно в два раза (18 %) меньше, чем для внутренних слоев (38 %). Следовательно, при изучении рассматриваемых биогеохимических ореолов и аномалий серебра предпочтительнее опробовать внутренние слои корки лиственницы. На 11 из 34 точек наблюдения (32 % случаев) аномальных концентраций серебра ни в одном из слоев корки лиственницы не было обнаружено при наличии их в других породах деревьев. Это свидетельствует о приблизительно одинаковой вероятности обнаружения рассматриваемых биогеохимических аномалий серебра в корке сосны и лиственницы, о большей вероятности обнаружения их по внутренним слоям корки лиственницы (38 % против 26 %) и о меньшей — по внешним слоям (18 % против 26 %) по сравнению с коркой сосны, для которой статистически достоверной зависимости вероятности обнаружения интенсивных биогеохимических аномалий серебра от опробуемого слоя корки не установлено.

Интересно отметить, что на рассматриваемом железорудном месторождении интенсивные биогеохимические аномалии серебра с концентрациями в корке березы более  $3 \cdot 10^{-4}\%$  были установлены не на всех точках наблюдения с высокими концентрациями в корке сосны, лиственницы, кедра, ели и пихты. На 11 из 24 (42 % случаев) точек наблюдения были установлены такие интенсивные биогеохимические ореолы серебра в корке березы (бересте), на 17 из 24 (71 % случаев) — статистически достоверные биогеохимические ореолы и аномалии серебра с концентрациями, превышающими  $1 \cdot 10^{-4}\%$  при фоне  $0,3 \cdot 10^{-4}\%$ .

Данные, полученные в районе гидротермального железорудного месторождения показывают, что по вероятности обнаружения интенсивных биогеохимических аномалий серебра рассмотренные биообъекты образуют следующий ряд: береста (42 %), внутренние слои корки лиственницы (25 %) и корка сосны (17 %), если на точке наблюдения отбирается одна проба. Очевидно, что использованная нами методика отбора на точке наблюдения 3—7 проб (по три слоя корки сосны или лиственницы, а также бересты, если на точке наблюдения имеется береза) позволила значительно увеличить вероятность выявления рассматриваемых интенсивных биогеохимических аномалий серебра.

Еще одной важной характеристикой рассматриваемых интенсивных аномалий серебра в корке стволов деревьев является их плохая воспроизводимость при повторных эмиссионных спектральных анализах методом полного испарения из навески 30 мг. Об этом свидетельствуют повторные анализы проб. Они позволяют сделать вывод о том, что при изучении подобных нестабильных аномалий серебра спектральный анализ проб золы растений следует повторять несколько раз (4—8) и в качестве основного результата брать максимальное значение. В противном случае вероятность выявления аномалий серебра будет незначительна и большинство их может быть пропущено. Данные повторных анализов позволяют утверждать, в частности, что в исследуемом нами районе железорудного месторождения было пропущено большое число высокоаномальных точек (около 50 %) из-за плохой воспроизводимости его определений в растениях и что выявленные интенсивные аномалии серебра являются значительно шире.

Объяснение рассмотренной нестабильности аномальных концентраций серебра вероятнее всего заключается в том, что этот элемент находится в золе растений в виде какой-то минеральной формы. Вероятно это самородное серебро, образовавшееся в живом растении или при его озолении. Имеющиеся данные о минеральных формах химических элементов в растениях позволяют предполагать, что это самородное серебро является биогенным подобно тому, как это установлено для золота. Об этом, в частности, свидетельствует распределение вероятности появления высоких концентраций серебра в различных слоях корки сосны и лиственницы. Оно почти соответствует распределению мелких золотин размером  $< 1-2$  мкм в этих слоях. Крайняя нестабильность больших концентраций серебра в различных слоях корки и плохая воспроизводимость повторных определений могут быть объяснены тем, что частицы серебра, вызывающие эти явления, имеют относительно большие размеры и вероятность попадания одной частицы в 30-миллиграммовую навеску, используемую для спектрального анализа, невелика. Судя по данным повторных анализов тех же проб, она не превышает 10 %.

Следует отметить, что в ряде точек наблюдения во время полевых работ у корки нескольких сосен с высокими концентрациями серебра в районе рассматриваемого железорудного месторождения наблюдались сиреневые и синевато-серые налеты во всех ее слоях. Не исключено, что эти налеты связаны с предполагаемыми минеральными формами серебра.

Биогеохимические ореолы серебра в корке березы бородавчатой, плосколистной и пушистой на содержащих этот элемент месторождениях Сибири характеризуются рядом сходных особенностей. Минимально-аномальные его содержания ( $C_a = C_{\phi} \cdot \epsilon^2$ ) на всех изученных месторождениях в корке стволов березы бородавчатой и плосколистной находятся в пределах от  $0,6 \cdot 10^{-4}$  до  $1,5 \cdot 10^{-4}$  %. Максимальные концентрации серебра в корке березы (бересте) находятся в пределах от  $3 \cdot 10^{-4}$  до  $26 \cdot 10^{-4}$  и в среднем близки к  $10 \cdot 10^{-4}$  %. Стандартный множитель ( $\epsilon^{\pm 1}$ ) дисперсии фоновых содержаний серебра во всех информативных биообъектах изменяется от 1,4 до 1,9, что соответствует величине этого параметра для других элементов-индикаторов.

В плане биогеохимические ореолы серебра в высокоинформативных биообъектах имеют обычно линейную или ленточную форму, согласную с простиранием рудоносных структур, при ширине от 10 до 80 м, редко до 160 м. Весьма важной для биогеохимических поисков особенностью ореолов серебра на содержащих этот элемент месторождениях является их выдержанность по простиранию рудоносных структур. Это позволяет оконтурить площадь рудоносных структур и изучить их внутреннюю структуру по биогеохимическим ореолам и аномалиям серебра в видах и частях растений, безбарьерных и практически безбарьерных по отношению к этому элементу.

Для корки стволов деревьев характерны значения РПК порядка 2–20 над слабыми первичными ореолами серебра и уменьшение его значения до 0,1 над локальными рудоносными зонами, обогащенными этим элементом. Это можно объяснить двумя одновременно действующими причинами: 1) наличием антиконцентрационных барьеров у корки деревьев и 2) уменьшением доступности растениям серебра при увеличении его концентраций в корнеобитаемой зоне при появлении собственных минералов, серебро которых менее доступно растениям, по сравнению с его дисперсными формами в сульфидах. Поэтому влияние минеральных форм серебра на интенсивность его накопления растениями и величины РПК изучены слабо. В безбарьерных биообъектах (например, в корнях растений) высокая доступность серебра растениям (РПК 1–10) наблюдается как при отсутствии хорошо выраженных зон окисления на выходах рудных тел, так и при наличии мощных зон окисления типа "железной шляпы". Таким образом, уменьшение РПК серебра над содержащими этот элемент рудными телами для корки деревьев обусловлено в основном барьерным накоплением, а не уменьшением его доступности растениям.

В связи с малой подвижностью серебра в зоне гипергенеза, влияние гидрохимических его ореолов на биогеохимические не известно. Можно предположить, что оно незначительно.

Серебро является химическим элементом, относительно слабо выщелачиваемым из зеленых частей растений водой. Поэтому изменений его содержания в надземных частях травянистых растений после интенсивных дождей, в отличие от цинка, свинца и меди, не отмечалось. Согласно имеющимся данным, серебро может в заметных количествах улетучиваться при озолении растений при повышенных температурах равных 600–800 °С. Наибольшие его потери (до 30 %), наблюдались при длительном озолении (4–6 ч) неизмельченных проб корки лиственницы. При обычном отборе измельченных проб корки эти потери уменьшаются до 5 % и их можно считать несущественными.

Для использования серебра в качестве биогеохимического индикатора разнообразной рудной минерализации необходимы высокочувствительные методы определений этого элемента с пределом обнаружения  $\leq 0,1 \times 10^{-4} \%$ . Наиболее просто это может быть сделано с помощью широко распространенного в СССР эмиссионного спектрального анализа со спектрографами высокого разрешения типа ДФС-8, ДФС-13, СТЭ-1 и др. В связи с низкими фоновым и аномальным содержанием серебра в живых растени-

ях и их сухом веществе этот элемент необходимо определять в золе растений, так как озоление обеспечивает обогащение пробы серебром, по сравнению с сухим веществом, приблизительно в 10 раз для надземных частей травянистых растений, в 20–50 раз для корки стволов большинства видов деревьев и в 200–1000 раз для корки березы и древесины различных видов древесных и кустарниковых растений. Для экспрессного выявления биогеохимических аномалий серебра можно использовать полевые рентгенорадиометрические анализаторы типа "Поиск" и др. Это обусловлено обычно значительно большими концентрациями серебра в золе древесины по сравнению с его содержаниями даже в открытых элювиальных и первичных ореолах серебра (РПК 10–30 и более). Необходимо организовать озоление проб древесины в полевых условиях.

## Кадмий

Кадмий является элементом-индикатором многих видов рудных месторождений и единственным индикатором весьма редких собственно кадмиевых месторождений. Для систематического опробования на кадмий пригодны листья осины дрожащей и ивы козьей, а также внешние слои корки стволов древесных растений. Наибольшими содержаниями кадмия характеризуется корка березы бородавчатой, плосколистной и пушистой, в золе которых содержится его в несколько раз больше, чем в корке стволов других пород деревьев. По всей вероятности, это объясняется в основном меньшими потерями этого элемента при озолении корки березы, по сравнению с коркой других пород деревьев, и отчасти большим относительным накоплением его в корке березы. Практически на некоторых кадмиеносных месторождениях он выявлялся только в корке березы (90–95 % проб с установленными содержаниями этого элемента при пределе обнаружения 0,003 % составляла береста). В связи с тем, что кадмий является весьма ценным элементом-индикатором разнообразной рудной минерализации, а его концентрации в золе безбарьерных биообъектов на кадмийсодержащих месторождениях часто достигают 0,1 % (при местном фоне  $1-2 \cdot 10^{-4}$  %), его следует обязательно включать в список элементов при использовании полуколичественного спектрального анализа. Ценность его как биогеохимического индикатора кадмийсодержащей рудной минерализации несомненно будет значительно большей при использовании высокочувствительных атомно-абсорбционных определений этого элемента (предел обнаружения  $0,1 \cdot 10^{-4}$  %).

По нашим данным, большинство (60–100 %) интенсивных биогеохимических ореолов кадмия с содержаниями  $\geq 0,003$  % не совпадают с ореолами цинка. Для них наблюдается частое совпадение с ореолами Cu, Ag, Pb, Fe (пиритизация), Mn, Tl, Hg. Особенно характерна связь биогеохимических ореолов кадмия и ртути, установленная на железорудных, полиметаллических, золоторудных, молибденовых и редкометалльных месторождениях. Это позволяет предполагать наличие на них низкотемпературных кадмийсодержащих минералов с примесью ртути. Такими минералами могут быть блеклые руды. Интересно отметить, что биогеохимические орео-

лы кадмия в большинстве случаев выявляются при отсутствии литохимических ореолов этого элемента из-за недостаточной чувствительности эмиссионного спектрального анализа. В тех редких случаях, когда био- и литохимические ореолы совпадали между собой, РПК кадмия получались равными 3–20 (без поправки на значительные потери этого элемента при озолении растений).

## Таллий

Таллий может использоваться как индикатор типа и уровня эрозионного среза полиметаллических, золоторудных и некоторых других рудных тел и месторождений, а также как единственный индикатор собственных месторождений этого редкого элемента. Весьма вероятно, что он, подобно йоду, ртути, сурьме и мышьяку, относится к элементам надрудного комплекса гидротермальной рудной минерализации, что повышает интерес к использованию таллия при биогеохимических поисках. По нашим данным, ореолы таллия в растениях в большинстве случаев обнаруживаются при отсутствии его в определенных количествах (при использовании эмиссионного спектрального анализа) в почвах и горных породах. Это говорит о высокой интенсивности поглощения таллия растениями (РПК  $\geq 1,0$ ) и большей чувствительности биогеохимических поисков по этому элементу по сравнению с литохимическими.

Таллий обнаруживается стандартным спектральным анализом при пределе обнаружения 0,001 % в небольшом числе биообъектов, безбарьерных и практически безбарьерных по отношению к этому весьма токсичному элементу. К ним могут быть отнесены надземные части некоторых травянистых растений (льнянки, подмаренника, колокольчика и гвоздики), в золе которых на единственном в Европе таллиевом месторождении Альшар концентрации этого элемента достигали 0,4 %. В то же время в произрастающих там же неинформативных или малоинформативных видах растений (синеголовнике и мордовнике) содержание таллия было в сотни и тысячи раз меньше ( $0,3 \cdot 10^{-4}$  –  $1,5 \cdot 10^{-4}$  %). По нашим данным, высокоинформативными по отношению к таллию являются корки стволов березы бородавчатой, плосколистной и пушистой, внешние слои корки пихты сибирской, кедра сибирского, лиственницы даурской и сибирской, надземные части брусники и черники, мхи, лишайники и лесная подстилка лиственничной тайги. Локальные биогеохимические ореолы таллия с концентрациями до 0,006 % и шириной 5–60 м выявлены на железо-, золоторудных, полиметаллических и молибденовых месторождениях Сибири. Следует отметить, что на одном из железорудных месторождений локальные биогеохимические ореолы таллия, приуроченные к контакту рудной трубки взрыва с вмещающими осадочными горными породами, хорошо совпали с ореолами ртути в золе растений. Очевидно, что использование специальных методик повышенной чувствительности обеспечит выявление ореолов таллия на более широком круге рудных месторождений. В связи с возможностью легкого выявления интенсивных аномалий и ореолов таллия в корке стволов деревьев, являющейся основным объектом био-

геохимического опробования на широкий спектр элементов-индикаторов разнообразных рудных месторождений, таллий следует включать в число анализируемых элементов высокопроизводительного полуквантитативного спектрального анализа.

## Олово

Олово является единственным элементом-индикатором весьма ценных оловорудных месторождений. Однако биогеохимия этого элемента изучена недостаточно. В частности, слабо изучен вопрос о количественных барьерных характеристиках растений по отношению к олову. По имеющимся данным, безбарьерными по отношению к олову является небольшое число видов и частей растений. К ним могут быть отнесены различные виды осок (горная, маньчжурская, ланцетная, мечевидная и уссурийская), полынь побегоносная и хвоя пихты белокорой, концентрации олова в золе которых над оловоносными рудными телами достигают 0,3 % при фоновых содержаниях ~0,001 %, превышая фон в 100–300 раз. К практически безбарьерным биообъектам могут быть отнесены хвоя ели аянской и кедра корейского, листья березы ребристой, клена желтого, ивы Бредина и малины сахалинской, надземные части брусники, мхи, кора (вероятно, корка) березы и древесина ели аянской, березы ребристой и ивы Бредина, концентрации олова в золе которых достигают 0,05 % [8]. Наименее информативными, вероятно, фоновыми биообъектами, по имеющимся данным, являются надземные части вейника, кочедыжника, актинидии коломикты, древесины липы и бархата, концентрации олова в золе которых над оловорудными телами не превышают 0,001 %. По нашим данным, полученным на различных оловосодержащих месторождениях и рудопроявлениях, для опробования можно использовать внешние слои корки стволов деревьев, концентрации олова в которых над слабооловоносными зонами достигали 0,05 % при фоне 0,0005 %, что превышает местный фон в 20–100 раз. Это позволяет отнести внешние слои корки стволов деревьев к биообъектам, барьерным (качественно-информативным) или практически безбарьерным (приблизительно-количественным) по отношению к олову. Можно ожидать, что внешние слои корки стволов некоторых видов древесных растений окажутся безбарьерными по отношению к высоким концентрациям олова в корнеобитаемой зоне почв и почвообразующих горных пород. Группировка разнообразных биологических объектов по поисковой информативности на олово должна явиться одной из основных задач дальнейших опытно-методических исследований на известных месторождениях и рудопроявлениях этого элемента с открытыми литохимическими ореолами.

Наиболее активно растения поглощают олово, находящееся в корнеобитаемой зоне в виде вторичных минералов – "варламовитов", станнина и дисперсного касситерита с сульфидами. РПК олова над оловоносными зонами, обогащенными такими минералами, составляет > 1,0, достигая 30 (см. табл. 3). Над открытыми турмалин-сульфидно-касситеритовыми и кварц-касситеритовыми оловорудными телами РПК олова обычно < 1,0,

а контрастность биогеохимических ореолов уступает контрастности почвенно-геохимических. Весьма вероятно, что над оловорудными телами с крупными кристаллами и выделениями касситерита биогеохимические ореолы олова будут отсутствовать из-за практической недоступности этого элемента растениям.

Особенностью рудных биогеохимических ореолов олова является их локальность и незначительное смещение вниз по склону относительно жильных оловорудных тел. Ширина таких пикообразных ореолов олова в растениях равна обычно 5–50 м, что требует для их выявления и точного определения местоположения максимально густого шага отбора проб растений [8]. По нашему опыту работ на жильных месторождениях различных рудных элементов, это сгущение точек наблюдения может достигать 2 м. Для выявления и оконтуривания жильных оловорудных тел на закрытых участках в пределах известных рудных полей и узлов, а также на флангах известных оловорудных месторождений, целесообразно проведение детальных биогеохимических поисков в масштабах 1 : 10000 – 1 : 2000. Для минералогического картирования станнинсодержащих оловоносных зон могут быть рекомендованы комплексные литобиогеохимические съемки с построением карт РПК, на которых такие зоны выявляются по максимальным значениям РПК олова.

Кроме олова биогеохимическими индикаторами оловорудной минерализации могут быть Pb, Cu, Zn, Cd, Ag, W, Be, As, F. Их использование особенно целесообразно при интерпретации биогеохимических аномалий и ореолов олова, так как дает ценную информацию о формационном типе предполагаемых рудных тел и уровне их эрозионного среза. При малой доступности или недоступности для растений олова, находящегося в крупных кристаллах и выделениях касситерита, индикаторами оловорудных тел могут быть элементы-спутники. Это касается, в первую очередь, элементов-индикаторов наиболее подвижных в зоне гипергенеза и соответственно более доступных растениям, чем олово (Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, As, F). Материалы по биогеохимическим поискам оловорудных месторождений приведены в работах [8, 16].

## Ниобий и тантал

Ниобий и тантал являются основными индикаторами ниобиевых и весьма ценных тантал-ниобиевых и танталовых месторождений. Согласно имеющимся данным, в связи с малой подвижностью в зоне гипергенеза и соответственно с малой доступностью растениям (РПК 0,1–0,3) биогеохимические ореолы тантала и ниобия на месторождениях, выходящих на дневную поверхность, обычно мало контрастны. В большинстве случаев их контрастность меньше контрастности почвенно-геохимических ореолов. Только на заболоченных участках с горными мерзлотно-таежными почвами, где РПК тантала и ниобия равен 1–6, контрастность биогеохимических ореолов больше, чем литохимических. Эти данные, однако, характеризуют биогеохимические поиски в основном по барьерным биообъектам, так

как изучением количественных барьерных характеристик растений по отношению к танталу и ниобию никто не занимался.

Судя по тому, что определяемые с помощью специальных методик спектрального анализа при пределе обнаружения 0,001 %, содержания тантала (0,001—0,006 %) и ниобия (0,001—0,02 %) были зафиксированы в небольшом числе биообъектов, можно говорить о том, что информативными на эти элементы являются ветви, побеги, хвоя и ветви с хвоей лиственницы даурской, листья березы плосколистной и бородавчатой, надземные части вики, вейника, костера, пырея, пижмы сибирской, хвоща и мхов. По нашим данным, высокоинформативными по отношению к ниобию являются внешние слои корки стволов деревьев и опробковевшие шишки сосны с лесного полога. Концентрации ниобия в них над ниобийсодержащими редкометалльными зонами достигали 0,03 %, превышая фон (предел обнаружения 0,001 %) не менее чем в 10—30 раз при отсутствии определяемых количеств в других биообъектах. Тантал при пределе обнаружения 0,03 % не был зафиксирован ни в одной из более 500 проб разнообразных биообъектов. Эти данные свидетельствуют о целесообразности включения ниобия в список элементов, определяемых стандартным спектральным анализом в тех случаях, когда основным объектом опробования являются внешние слои корки стволов деревьев и опробковевшие шишки сосны.

#### Ванадий, хром и марганец

Ванадий, хром и марганец образуют контрастные биогеохимические ореолы в корке стволов древесных растений Сибири (см. табл. 21). На железорудных месторождениях были установлены наиболее контрастные структурно-геологические биогеохимические ореолы марганца и ванадия. Биогеохимические ореолы марганца в корке сосны выделяются содержаниями 0,3 % (фон 0,1 %) при максимальных концентрациях 1—2 %, превышающих местный фон в 10—20 раз. Эти ореолы марганца довольно хорошо совпадают с ореолами железа, приуроченными к зонам пиритизации и халькопиритизации, а не к магнетитовым рудным телам. Биогеохимические ореолы ванадия во внешних слоях корки сосны обыкновенной, кедра сибирского, лиственницы сибирской, корке березы бородавчатой и в опробковевших шишках сосны обыкновенной с лесного полога четко приурочивались к магнетитовым рудным телам месторождения, характеризующих их обогащение ванадием. При местном фоне 0,0012 % содержания ванадия в золе перечисленных биообъектов, безбарьерных по отношению к ванадию, над железорудными телами с дисперсным магнетитом составили 0,006—0,02 %, в отдельных точках до 0,06 %. На биогеохимических аномалиях ванадиеносных железных руд концентрации этого элемента превышали местный фон в 5—50 раз, в то время как литохимические его ореолы в нижнем почвенном горизонте С (0,5—1,5 м) с содержаниями 0,02—0,05 % превышали местный фон (0,007 %) только в 3—7 раз.

Средние фоновые или кларковые и максимальные концентрации химических элементов в земной коре и в золе растений

Группы элементов системы Д.И. Менделеева	Элемент	Кларк литосферы	С <sub>ф</sub> , % в коре стволов деревьев Сибири				Величина отношения С <sub>ф</sub> в коре к кларку литосферы	С <sub>м</sub> в коре деревьев, %	Номер био-объекта	С <sub>ф</sub> в листьях (по [4]), %	Пределы обнаружения, %	
			березы бородавчатой плосколистной	осины дрожащей	сосны обыкновенной	лиственницы даурской и сибирской					ГКЭС-анализ	атомно-абсорбционный анализ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	Na	1,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	8,0	—	2,0	0,03	—
	K	1,8	3,6	3,6	3,6	3,6	2,0	6,0	—	3,0	0,1	—
	Li	0,003	0,001	0,0007	0,002	0,001	0,3	0,2	5	0,003	0,002 (0,0001)	5·10 <sup>-5</sup>
	Rb	0,008	0,03	0,08	0,02	0,02	4,0	2,0	—	0,02	0,001	5·10 <sup>-6</sup>
	Cs	0,0005	0,0002	0,0002	3·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-4</sup>	0,4	0,003	—	0,000n	0,0003	3·10 <sup>-5</sup>
	Cu	0,005	0,04	0,01	0,015	0,015	4,0	3,0	1,4	0,02	0,0003	1·10 <sup>-5</sup>
	Ag	7·10 <sup>-6</sup>	5·10 <sup>-5</sup>	1·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-5</sup>	1,5·10 <sup>-5</sup>	3,0	0,01	6	0,0001	1·10 <sup>-5</sup>	1·10 <sup>-4</sup>
	Au	3·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-7</sup>	0,3	0,0003	—	0,0001	0,001 (1·10 <sup>-8</sup> )	5·10 <sup>-7</sup>
II	Be	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,3	0,5	3	3·10 <sup>-5</sup>	6·10 <sup>-5</sup>	3·10 <sup>-6</sup>
	Mg	2,2	2,0	2,0	2,0	2,0	0,9	5,0	—	7,0	0,001	—
	Ca	6,2	22,0	22	18	16	3,0	40,0	—	3,0	0,03	—
	Sr	0,04	0,06	0,10	0,05	0,07	1,5	15,0	2	0,03	0,08	2·10 <sup>-5</sup>
	Ba	0,07	0,08	0,10	0,02	0,12	1,4	10,0 <sup>4</sup>	—	0,0n	0,01	3·10 <sup>-5</sup>
	Ra	1·10 <sup>-10</sup>	2·10 <sup>-10</sup>	4·10 <sup>-11</sup>	1·10 <sup>-10</sup>	1·10 <sup>-10</sup>	1,0	0,3 (сосна)	—	—	—	—
								1,0	—	1·10 <sup>-11</sup>	—	—
	Zn	0,007	0,2	0,06	0,03	0,03	4,0	20,0	1	0,009	0,006 (1·10 <sup>-12</sup> )	5·10 <sup>-5</sup>
							30 (береза)					
III	Cd	2·10 <sup>-5</sup>	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	10	0,06	1	1·10 <sup>-6</sup>	0,003 (0,0001)	2·10 <sup>-5</sup>
	Hg	7·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-6</sup>	1·10 <sup>-6</sup>	1,5·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-6</sup>	0,2	0,001	—	1·10 <sup>-7</sup>	0,01 (1·10 <sup>-7</sup> )	1·10 <sup>-7</sup>
	Sc	0,001	4·10 <sup>-4</sup>	3·10 <sup>-4</sup>	4·10 <sup>-4</sup>	4·10 <sup>-4</sup>	0,4	0,005	—	—	0,0006	6·10 <sup>-5</sup>
	Y	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,3	0,02	—	—	0,001	0,0002
	La	0,003	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<1,0 (0,4)	0,2	1	—	0,005	0,003
	Ce	0,006	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<1,0 (0,2)	0,2	—	—	0,02	—
	Yb	0,0004	~0,0001	~0,0001	~0,0001	~0,0001	~0,3	0,003	—	—	0,0001	2·10 <sup>-5</sup>
	U	0,003	~0,0001	~3·10 <sup>-5</sup>	~0,0001	~0,001	0,3	0,02	—	5·10 <sup>-6</sup>	0,03 (3·10 <sup>-5</sup> )	0,005
	Th	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<1,0	0,05	—	—	0,02 (0,0005)	—
	B	0,001	0,04	0,03	0,03	0,03	30	0,5	1,3	0,04	0,001	0,004
Al	7,2	4,0	4,0	4,0	3,0	0,6	10,0	—	1,4	0,001	—	
Ga	0,002	0,001	0,0005	0,0007	0,0007	0,4	0,008	—	—	0,0005	0,002	
Tl	0,0001	~0,0003	~0,0001	~0,0002	~0,0002	2,0	0,01	1	—	0,001 (0,0001)	5·10 <sup>-5</sup>	
IV	Ti	0,5	0,2	0,15	0,2	0,15	0,4	2,0	—	0,1	0,001	0,0002
	Zr	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,6	0,2	—	—	0,001	0,0006
	Hf	3·10 <sup>-4</sup>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<1,0 (0,2)	0,05	—	—	0,01	0,002
	C <sup>3</sup>	0,1	5,0	5,0	5,0	5,0	50	6,0	—	—	0,01	—
	Si	26,0	11,0	9,0	14,0	17,0	0,5	20,0	—	15,0	0,001	—
	Ge	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<1,0 (0,5)	0,002	—	—	0,0002	0,0002
	Sn	0,0003	0,0005	0,0004	0,0005	0,0005	1,6	0,05	—	0,0005	0,0003	0,0003
	Pb	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,8	5,0	—	0,002	0,001	0,0001
	V	0,01	0,003	0,002	0,004	0,004	0,3	0,08	—	0,006	0,001	0,0002
	Nb	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<1,0 (0,5)	0,02	—	—	0,002	0,002
P	0,008	0,5	0,5	0,5	0,5	100	6,0	6	7,0	0,1	—	
V	As	3·10 <sup>-4</sup>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	~1,0	0,2	1	3·10 <sup>-5</sup>	0,01 (0,001)	0,0002
	Sb	6·10 <sup>-5</sup>	≤0,003	≤0,003	≤0,003	≤0,003	~1,0	0,4	1	—	0,008 (0,001)	6·10 <sup>-5</sup>
	Bi	1·10 <sup>-6</sup>	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,3	0,06	—	—	0,0003	0,001
VI	Cr	0,008	0,003	0,002	0,003	0,003	0,3	0,6	—	0,002	0,001	1·10 <sup>-5</sup>

Группы элементов системы Д.И. Менделеева	Элемент	Кларк литосферы	С <sub>ф</sub> , % в коре стволов деревьев Сибири				Величина отношения С <sub>ф</sub> в коре к кларку литосферы	С <sub>м</sub> в коре деревьев, %	Номер биообъекта	С <sub>ф</sub> в листьях (по [4]), %	Пределы обнаружения, %	
			березы бородавчатой плосколистной	осины дрожащей	сосны обыкновенной	лиственницы даурской и сибирской					ПКЭС-анализ	атомно-абсорбционный анализ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
VI	Mo	0,0001	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003	3,0	0,06	7	0,002	0,0001	6 · 10 <sup>-5</sup>
	W	0,0001	~0,0001	—	~0,0001	~0,0001	~1,0	0,6	—	—	0,002 (0,0001)	0,0002
	O	48,0	46,0	46,0	46,0	46,0	1,0	50,0	—	—	—	—
	S	0,05	0,4	—	0,3	0,3	6	3,0	—	5,0	0,1	—
VII	Mn	0,09	1,5	0,08	0,08	0,4	1-4 16 (береза)	20,0	1	0,75	0,001	5 · 10 <sup>-6</sup>
	F	0,07	0,07	0,02	0,02	0,02	0,3 1,0 (береза)	15,0	1	0,01	0,02	—
VIII	Fe	4,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,2	16,0	—	1,0	0,001	—
	Co	0,002	0,0008	0,0008	0,0006	0,0008	0,4	0,03	8	0,0015	0,0008	0,0004
	Ni	0,008	0,003	0,004	0,004	0,005	0,5	1,0	—	0,005	0,0003	0,0004

Примечание. 1. ПКЭС-анализ — приближенно-количественный эмиссионный спектральный анализ. 2. В скобках приведены результаты высокочувствительного специального метода анализа на соответствующий элемент. 3. Наши содержания даны без поправок на потери при озолении растений, которые занижают полученные значения в 1,4–3 раза для Zn, B, As, Sb, Bi и в 3–30 раз для Pb, Tl, Cd, Hg, S, C. 4. Номера биообъектов: 1–4 — кора в нижней части стволов (1 — березы бородавчатой, плосколистной и пушистой, 2 — осины дрожащей, 3 — сосны обыкновенной, 4 — лиственницы даурской и сибирской); 5 — надземные части василистника (Li до 2 %); 6 — ядровая древесина стволов деревьев (Hg до 0,1 %); 7 — надземные части большинства травянистых растений, включая бобовые и злаки, а также нижние части стеблей некоторых кустарников, например рододендрона даурского и таволги средней (Mo до 2 %); 8 — луб березы (Co до 0,1 %).

Очевидно, что при использовании безбарьерных биообъектов растений ванадий, хром и марганец могут являться эффективными биогеохимическими индикаторами соответствующей минерализации в горных породах и рудах. При этом следует иметь в виду, что интенсивность биогеохимических ореолов этих элементов пропорциональна не валовым содержаниям в корнеобитаемой зоне почв и почвообразующих горных пород, а содержаниям их подвижных, доступных растениям форм. Вследствие этого контрастность биогеохимических ореолов может быть заметно (в 2–7 раз) больше контрастности элювиальных и первичных литохимических ореолов, как это наблюдалось на изученных нами железорудных и некоторых других рудных месторождениях. Можно ожидать, что, вследствие малой подвижности в зоне гипергенеза, на собственных месторождениях ванадия, хрома и марганца с открытыми выходами рудных тел и их элювия почвенно-геохимические ореолы этих элементов в большинстве случаев будут контрастнее биогеохимических. Поэтому целесообразно использовать биогеохимические методы при поисках собственных месторождений ванадия, хрома и марганца только в условиях закрытых и полужакрытых ландшафтов с неглубоко погребенными литохимическими и гидрохимическими ореолами, находящимися в корнеобитаемой зоне.

В табл. 21 приведены кларковые (средние для земного шара) содержания большого числа химических элементов в литосфере (по А.П. Виноградову) в золе листьев растений [4] и наши данные о средних фазовых и максимальных содержаниях в корке стволов четырех доминантных пород древесных растений Сибири в сопоставлении с пределами обнаружения соответствующих элементов эмиссионным спектральным и атомно-абсорбционным анализами. В графе 10 этой таблицы указаны виды и части растений, которые являются биообъектами, наиболее информативными при поисках, безбарьерными или практически безбарьерными. Данные этой таблицы могут использоваться для выбора наиболее информативных биообъектов, определения ожидаемых фоновых и аномальных содержаний изучаемых элементов-индикаторов в золе растений и выбора метода их определения. Более подробная информация по этим и другим вопросам биогеохимии, геохимии и аналитики различных элементов-индикаторов приведена в работах [1–8, 12–18, 20, 21, 24, 27, 29–31, 34–50 и др.]

Основной информацией, необходимой для проведения высокoeffективных биогеохимических поисков по количественно-информативным, безбарьерным и практически безбарьерным видам и частям растений, являются данные о КБХ широко распространенных видов растений района работ (для растений Сибири и райсов со сходным растительным покровом; см. табл. 4). На основании группировки изученных биообъектов по их КБХ и, соответственно, поисковым характеристикам, примеры которых для Zn, Pb, Cu и Mo приведены в табл. 5, 8, 13 и 15, может быть составлена сводная таблица небольшого числа биообъектов, рекомендуемых для систематического опробования при поисках в достаточно большом регионе (табл. 22). Как видно из приведенных данных, для 20 наиболее информативных видов и частей растений Сибири, в этом обширном регионе и прилегающих районах Урала, севера Европы, а также Якутии, Дальнего

## Поисковые характеристики биообъектов, рекомендуемых для использования при биогеохимических поисках в Сибири

Виды и части растений	Химические элементы различной поисковой информативности			
	количественные индикаторы (КК 30-300)	качественные индикаторы (КК 3-30)	ненадежные индикаторы	неинформативные элементы
Корка березы бородавчатой и плосколистной	Na, Rb, Cu, Ag, Au, Au (СЭС)*, Be, Sr, Ba, Ra, Zn, Cd, Hg, B, Tl, Pb, As, Sb, Bi, W, F, Fe	Na, Li, Rb, Cs, Ag, Ba, Sc, Y, Yb, La, Ga, Ti, Zr, Ge, Sn, V, Nb, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni	Mo	-
Нижние части стеблей рододендрона даурского	Au, Sr, Ra, B, Bi, Mo, W	Li, Rb, Cs, Cu, Ag, Au (СЭС), Be, Ba, Zn, Cd, Hg, Sc, Y, Yb, La, Ti, Zr, Ge, Sn, Pb, V, Nb, Cr, F, Fe, Co, Ni	Au (СЭС), Zr, Sn, F	-
Сухие опробковевшие шишки сосны обыкновенной	Na, Li, Rb, Cs, Ag, Au, Au (СЭС), Be, Ra, Zn, Cd, Hg, Pb, As, Sb, Bi, Cr, Mo, W, Fe, Ni	Na, Li, Rb, Cs, Cu, Ag, Ba, Zn, Cd, Sc, Y, Yb, La, B, Ga, Tl, Ti, Zr, Ge, Sn, V, Nb, Mn, F, Co	Ba	Sr
Внешние слои корки стволов сосны обыкновенной	Na, Li, Au, Au (СЭС), Be, Sr, Ba, Ra, Zn, Cd, Hg, Sn, Pb, As, Sb, Bi, W, Mn	Na, Li, Rb, Cs, Cu, Ag, Au (СЭС), Ba, Sc, Y, Yb, La, B, Ga, Tl, Ti, Zr, Ge, Sn, V, Nb, Cr, Mo, Co, Ni	Rb, Cu, Ag, Mo, Ni, F	
То же, лиственницы даурской и сибирской	Na, Cu, Au, Au (СЭС), Be, Sr, Ba, Ra, Zn, Cd, Hg, Tl, Pb, As, Bi, W, Mn, Fe	Li, Rb, Cs, Cu, Ag, Au (СЭС), Sc, Y, Yb, La, B, Ti, Zr, Ge, Sn, V, Nb, Cr, Mo, Mn, Co, Ni	Rb, B, Mo, Co	F
кедра сибирского	Na, Rb, Ag, Au, Sr, Ra, Zn, Hg, Pb, Bi, Mo, W	Na, Li, Rb, Cs, Cu, Ag, Au (СЭС), Sr, Ba, Zn, Cd, Hg, Sc, Y, Yb, La, B, Ga, Ti, Zr, Ge, Sn, V, Nb, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni	Au (СЭС), Ba, Co	F
Корка стволов	ели сибирской	Rb, Au, Au (СЭС), Sr, Ba, Ra, Hg	Cu, Ag, Ba, B, Mo	F
	пихты сибирской	Rb, Au, Au (СЭС), Sr, Ba, Ra, Zn	Na, Cu, Ag, B, Mo	F

Виды и части растений	Химические элементы различной поисковой информативности			
	количественные индикаторы (КК 30-300)	качественные индикаторы (КК 3-30)	ненадежные индикаторы	неинформативные элементы
осины дрожащей	Rb, Cs, Au, Au (СЭС), Sr, Ba, Ra, Zn, Pb	Zr, Sn, V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni Li, Ag, Be, Cd, Hg, Sc, Y, Yb, B, Ga, Tl, Ti, Zr, Ge, Sn, V, Cr, Mo, Mn, F, Fe, Co, Ni	Cu, B, Mn, F	-
Корка стволов ивы козьей и других видов ивы кедра стланикового	Rb, Au, Au (СЭС), Sr, Ra, Zn, Pb	Li, Cs, Cu, Ag, Be, Ba, Sc, Y, Yb, B, Ga, Tl, Ti, Zr, Sn, V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni	Cu, Ag, Ba, B, Mo, Mn	F
	Au, Ra, As	Li, Rb, Ca, Be, Cu, Ag, Au (СЭС), Sr, Ra, Zn, Cd, Hg, Sc, Y, Yb, La, B, Ga, Ti, Zr, Ge, Sn, Pb, V, Nb, As, Sb, Bi, Cr, Mo, W, Mn, F, Fe, Co, Ni	Li, Rb, Cu, Ag, Au (СЭС), Sr, Zn, B, F	Ba
Сухие ветви кедра стланикового	Ra, As	Li, Rb, Be, Cu, Ag, Au, Au (СЭС), Zn, B, Pb, Fe, Co, Ni	Rb, Au (СЭС), B	Cs, Ba, F
Корка с лубом (кора) ольхи кустарной	Ra, As, Mo	Li, Rb, Cs, Cu, Ag, Au, Au (СЭС), Sr, Ba, Zn, Sc, Y, Yb, La, B, Ga, Ti, Zr, Pb, V, Nb, Cr, Mn, F, Co, Ni	Li, Cs, Cu, Ag, Au, B, F	Hg
Ветви ольхи кустарной	Rb, Au (СЭС), Ra, As, Mo, Co	Li, Rb, Cs, Cu, Ag, Sr, Ba, Pb, Co, Ni	Li, Cs	Hg, B, F, Fe
То же, березы кустарной	Au (СЭС), Sr, Ba, Ra, Zn, Co	Rb, Cs, Ag, Au, B, Mo, Fe, Co, Ni	Rb, Cs, Mo, Fe, Ni	Li, Cu, Be, Hb, Pb, F
Надземные части разных видов осокля	Rb, Ag, Au, Ra, Cd, Sn, Bi, Mo	Na, Li, Cs, Cu, Ag, Au, Be, Sr, Ba, Zn, Cd, Pb, W, Mn, Fe, Ni	Na, Li, Cs, Be, Cu, Ag, Pb, W, Mn, Fe, Ni	Au (СЭС), Sc, Y, Yb, La, B, Ga, Ti, Zr, V, F, Co
То же, разных видов полыни	Rb, Be, Ra, Zn, As, Mo	Li, Cs, Cu, Ag, Au, Be, Sr, Ba, Zn, Cd, B, Pb, Cr, W, Fe, Ni	Li, Cs, Cu, Ag, Ba, B, Fe	Na, Au (СЭС), Nb, Mn, F, Co

Виды и части растений	Химические элементы различной поисковой информативности			
	количественные индикаторы (КК 30–300)	качественные индикаторы (КК 3–30)	ненадежные индикаторы	неинформативные элементы
То же, разных видов василистника	Li, Rb, Sr, Ra, Zn, Mo	Na, Cs, Cu, Ag, Sr, Ba, Zn, Cd, Hg, B, Ni	Na, Cu, Ag, Ba, Hg	Au (СЭС), Sc, Y, Yb, La, B, Ga, Ti, Zr, Sn, Pb, V, Nb, Cr, W, Mn, F, Fe, Co
То же, разных видов бобовых	Rb, Au, Sr, Ra, Cd	Na, Li, Cs, Cu, Ag, Au, Be, Sr, Ba, Zn, Cd, Hg, Nb, Cr, Fe, Co, Ni	Na, Cs, Be, Cu, Ag, Zn, Hg, Nb, Cr, Fe, Co, Ni	Na, Au (СЭС), B, Ti, Zr, Sn, Pb, V, W, Mn, F
Разные виды мхов и лишайников	Li, Cs, Cu, Ag, Au, Ra, Zn, Cd, Hg, Sc, Y, Yb, La, Ga, Tl, Ti, Zr, Hf, Ge, Sn, Pb, V, Nb, Ta, As, Cb, Bi, Mo, W	Li, Cs, Au (СЭС), Be, Sr, Ba, B, Mn, F, Cr, Fe, Co, Ni	Rb, B, F	

\* В этой и следующих таблицах минеральные формы золота, определенные сцинтилляционным эмиссионным спектральным (СЭС) анализом.

Востока и отчасти зоны хвойных лесов Канады, в качестве основных объектов опробования следует использовать внешние слои корки или корку стволов широко распространенных древесных растений. Среди них по комплексу благоприятных для поисков характеристик выделяется корка различных древесных видов березы (береста), характеризующаяся наибольшим комплексом элементов, накапливаемых в ней по безбарьерному типу, большей глубиной поисковой информации по сравнению с коркой хвойных деревьев и повышенным относительным содержанием ряда элементов-индикаторов (Cu, Ag, Zn, Cd, La, B, As, Mn, F), что облегчает определение. Поэтому береста рекомендуется в качестве первоочередного объекта биогеохимического опробования при поисках.

Подобные таблицы следует составлять для всех биообъектов растений, используемых при биогеохимических поисках. В процессе проведения опытно-методических и производственных работ они должны уточняться и дополняться новыми биообъектами, более информативными, чем первоначальные. Например, нашими исследованиями установлено, что более информативными на широкий комплекс элементов-индикаторов являются

не внешние слои корки стволов сосны обыкновенной, а ее опробковевшие шишки с лесного полога (см. табл. 22).

При поисках молибдена в качестве первоочередных объектов опробования рекомендуются нижние части стеблей рододендрона даурского и стебли таволги средней, которые, являясь безбарьерными по отношению к молибдену, обеспечивают наибольшую глубинность опробования. Кроме молибдена, нижние части стеблей рододендрона даурского являются безбарьерными или практически безбарьерными по отношению к Au, Sr, Ba, Ra, B, Bi, W (см. табл. 22), т.е. в определенной степени универсально-информативным биообъектом, обеспечивающим наибольшую глубинность комплексных биогеохимических поисков на площадях распространения этого вида. Очевидно, что локально распространенные виды растений, подобно рододендрону даурскому, наиболее информативные при поисках отдельных видов полезных ископаемых, могут быть выявлены и использованы в других районах земного шара. Такие растения известны под названием "кобальтофитов", "гипераккумуляторов никеля", "галмейной флоры" и т.д. [5, 24, 41 и др.] .

Для одновременного использования большого числа элементов-индикаторов необходимо составить таблицы, включающие основные характеристики видов и частей растений, рекомендуемых для систематического опробования при биогеохимических поисках. В табл. 23, являющейся примером сведения воедино ряда основных биогеохимических параметров 32 элементов-индикаторов, приведены данные о региональном фоне, величинах РПК и ОСБО для 21 биологического объекта Сибири, рекомендуемых для использования при биогеохимических поисках. Имея подобную информацию, можно легко определить, какие биологические объекты следует опробовать на основные элементы-индикаторы конкретных видов и типов месторождений, являющихся объектами поисковых работ. Величины ОСБО являются параметрами, необходимыми для приведения результатов разнородного опробования к одному эталонному биообъекту. Данные о величинах РПК элементов-индикаторов на фоне являются полезными для сравнения наблюдаемых величин этого биогеохимического параметра, характеризующего доступность растениям изучаемых химических элементов, со средними величинами.

Если фактические величины РПК, значительно (в 2—5 раз и более) превышают средние значения, приведенные в табл. 23, то это является показателем аномально высокой доступности растениям изучаемого элемента. Она может быть обусловлена наличием в корнеобитаемой зоне сорбционно-солевых форм или легкорастворимых минералов, поглощением изучаемого элемента-индикатора из гидро- и атмосферических ореолов, а также несоответствием изученных горизонтов почв и рыхлого покрова горизонту питания изучаемого биологического объекта. Информация о вероятных формах нахождения изучаемого элемента на горизонте питания растений (при соответствии его опробованному горизонту почв и рыхлого покрова) может быть получена с помощью табл. 3.

Таблицы, приведенные в настоящей монографии, представляют собой часть необходимых справочных материалов по биогеохимическим поис-

Региональный фон и относительные содержания (ОСБО) элементов-индикаторов руд для основных биообъектов, рекомендуемых для опробования при биогеохимических поисках в Сибири и в других районах со сходным растительным покровом (без поправок на потери при озолении)

Элемент-индикатор	Региональный фон содержания в эталонных биообъектах, $10^{-4}$ %	Номера биообъектов-концентраторов (ОСБО)	Основная группа биообъектов при значениях ОСБО				Биообъекты-концентраторы (ОСБО)	РПК элемента на фоне для биообъектов с ОСБО-1
			0,8	0,9-1,1	1,2	1,3		
Cu	100	7 (0,4); 8 (0,5); 9 (0,7)	10	2-3,6			4-5 (2,7)	5
Ag	0,2	9 (0,4); 7 (0,6)	2-3	1, 8, 12	6		4-5 (2,5)	3
Au (СЭС)	-	1 (0,1-0,7)		2-3, 8	9	13-15	7, 9-10 (1,4)	~30
Zn	300		2-3	1, 6, 10	8	7	9 (2,0); 4-5 (6)	6
Cd	~1	1-3 (~0,3)		4-5				2
Hg	0,01	8-10 (0,4); 1 (0,6); 7 (0,7)	6	2-5, 11				1
Tl	1	6,8 (0,5); 2-3 (0,6)		4-5				~2
Sn	3		9	1-7, 10, 16				2
Pb	20	10 (0,5); 8-9 (0,6)		1-7				2
Bi	0,01			1-6				~0,5
Mo	3	1,4-5 (0,7)	2-3,7	6, 18-19, 21	20		16 (1,6); 17 (2,0)	2
W	~1			1-6				~1
Ti	800	8 (0,6)		1-5, 9-10	6-7			0,2
V	30	9-10 (0,5); 4-5,8 (0,6)	7	1-3, 6, 11				0,3
Cr	30	8 (0,6); 9 (0,7)	10	1-7	11			0,2
Mn	800	10 (0,1)		1, 6, 9			7 (3); 2-3 (5); 8 (6); 4-5 (20)	1
Fe	8000	7 (0,6)	4-5, 10	1-3, 7-8, 11	6			0,2
Co	8	6 (0,6); 1 (0,7)	7, 12	2-6, 8, 9	15	10	11 (1,5); 13-14 (3,2)	0,8
Ni	20	7 (0,7)	4-5	1, 6, 9-10	2-3	8	16 (1,5); 11 (3,0)	0,5
Li	3	2-3 (0,7)	4-5	1, 16			19 (2,5)	1
Rb	20	1-3 (0,7)	4-5, 7, 10				9, 19 (3,0); 18 (4)	3
Cs	~1		1-9			10	11	0,3
Be	2	10 (0,7)	8	1-5, 7, 9	6			0,5
Sr	600	6 (0,5); 1 (0,7)	4-5, 8	2-3, 7		10	9 (1,4)	2
Ba	800	1, 11, 12 (0,2); 6 (0,3)	10	4-5, 15	9	7	2-3 (1,4); 13-14 (1,6); 8 (2,2)	1,6
Sc	~3	10 (0,5); 8 (0,6); 9 (0,7)	7	2-6	1		11 (1,5)	~0,6
Y	~6	9-10 (0,6)	7-8	1-5	6	11		~0,5
Yb	~1	9-10 (0,6)	7-8	1-5	6	11		~0,5
Ga	~1	9-10 (0,5); 7-8 (0,6)		1-6, 11				~0,6
Zn	200	2-3, 10 (0,7)	4-5 (0,8)	1, 6-9, 16			11 (1,4)	0,7
B	200	2-3 (0,5)		1, 4, 6, 11-14			16 (1,4); 5, 11, 17 (1,6); 6, 8 (2,0)	20
F	600	1 (0,25)		4-5				2

Примечания: Для Cd, Tl и Bi значения ОСБО определены на основании небольшого числа (10-30) сопоставлений при повышенных содержаниях в растениях. Региональный фон содержания занижен из-за потерь элементов в связи с озолением проб при температурах 600-700 °С (Au, Zn, Bi, Li и B - на 20-50 %; Cd, Tl и Pb - на 60-80 % и Hg - приблизительно на 90 %).

Номера биообъектов: 1 - внешние слои корки стволов сосны обыкновенной; 2-3 - внешние слои корки лиственницы даурской и сибирской; 4-5 - корка березы бородавчатой и плосколистной (береста); 6-10 - корка стволов: 6 - кедр сибирского, 7 - ели сибирской, 8 - пихты сибирской; 9 - осины дрожащей, 10 - ивы козьей; 11 - сухие, опробковевшие шишки сосны обыкновенной; 12 - корка кедр сланикового; 13-14 - луб березы бородавчатой и плосколистной; 15 - ветви березы карликовой; 16 - концы ветвей рододендрона даурского; 17 - нижние части стеблей рододендрона; 18 - надземные части бобовых (астргалов, вики, горошка и клевера); 19 - надземные части василистника; 20 - надземные части осоки; 21 - надземные части различных видов полыни.

кам рудных месторождений. Подобные, более детальные справочные материалы должны составляться применительно к различным регионам земного шара и использоваться при проектировании, проведении и интерпретации результатов биогеохимических поисков.

### **Глава 3. НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Значительная часть биогеохимических работ, рассматриваемых в публикациях, была проведена на известных месторождениях и рудопроявлениях полезных ископаемых с открытыми литохимическими ореолами и поэтому не имела большой практической ценности. Однако эти работы являются необходимым этапом научных исследований, имеющих целью изучение эффективности биогеохимических поисков, закономерностей формирования рудных и структурно-геологических биогеохимических ореолов, проверки известных закономерностей, а также разработки новых практических рекомендаций и приемов проведения производственных биогеохимических поисков. Ниже рассмотрены примеры биогеохимических поисков и изучения комплексных биогеохимических ореолов молибденовых и полиметаллических месторождений.

#### **МОЛИБДЕНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

В связи с благоприятными особенностями накопления молибдена растениями, биогеохимические поиски молибденовых месторождений нашли относительно широкое применение. В опубликованных работах приведены в основном положительные результаты биогеохимических поисков молибдена. В практике поисковых работ, однако, известны также примеры, когда эти поиски были малоэффективными. Так, например, в одном из рудных районов Забайкалья в 60-х годах биогеохимические поиски молибдена по ветвям деревьев практически не дали положительных результатов, и не имели никаких преимуществ перед ранее проведенными почвенно-геохимическими поисками. Это было обусловлено опробованием малоинформативных или неинформативных по отношению к молибдену (см. табл. 15) ветвей лиственницы сибирской и березы плосколистной. Последующими работами было установлено, что в этом районе поиски молибденовой минерализации следовало вести по надземным частям травянистых растений. Проводившиеся в 70-х годах в южных районах Западного Забайкалья поиски молибденовых руд по корке сосны были малоэффективными, хотя привели к открытию месторождения [9, 32] и дали интересные поисковые и методические результаты на Ново-Павловском и Харитоновском месторождениях [10]. Это связано с рассмотренной выше нестабильностью поисковых характеристик внешних слоев корки сосны по отношению к молибдену, которые являются в основном малоинформативными, иногда неинформативными и, с небольшой вероятностью, высокоинформативными по отношению к молибдену.

К настоящему времени при проверке аномалий молибдена в растениях

открыты два молибденовых и одно медно-молибденовое месторождение. История открытия биогеохимическим методом и результаты исследований на крупном молибденовом месторождении Эндако в Канаде стали классическим примером, иллюстрирующим высокую эффективность биогеохимических поисков молибденовых руд [42, 49, 49 и др.]. На этом месторождении при содержании молибдена в рудах 0,1–1,0 % его максимальные концентрации в золе безбарьерных биообъектов (см. табл. 15) достигали 2 %. По хвое пихты субальпийской месторождение оконтуривалось изолинией  $25 \cdot 10^{-4}$  % при фоне  $1 \cdot 10^{-4}$  %. Зоне интенсивной молибденовой минерализации при средней мощности рыхлого покрова 3–5 м соответствовали концентрации 0,05–0,15 %. По данным почвенно-геохимического опробования горизонта В на глубине 30–50 см, месторождение Эндако оконтуривается изолинией  $25 \cdot 10^{-4}$  % (фон  $2,5 \cdot 10^{-4}$  %) при концентрациях молибдена над зоной промышленной молибденовой минерализации 100–300  $\cdot 10^{-4}$  %. Как видно из этих данных, контрастность биогеохимических ореолов на этом месторождении более чем на порядок превосходила контрастность почвенно-геохимических (до 1500 против 20–120). Следует отметить, что результаты биогеохимических исследований на месторождении Эндако явно свидетельствовали о наличии на его выходах значительных количеств богатых молибденовых руд, однако результаты почвенно-геохимических исследований об этом не свидетельствовали.

Результаты биогеохимических исследований в Забайкалье и на молибденовых месторождениях Закавказья, относящихся ко всем основным формациям данных месторождений, приведены в работах [3, 14, 17, 24]. Поэтому ниже остановимся лишь на результатах наших комплексных литобиогеохимических исследований последних лет на одном месторождении.

Это месторождение, по данным В.Л. Верника, располагается в пределах области завершённой каледонской складчатости, претерпевшей эпоху тектоно-магматической активизации в средне-верхнепалеозойское время. Граниты, сиениты и граносиениты Бичурского комплекса ( $PZ_3$ ), в обширном поле которых расположено это месторождение, характеризуются низкими, близкими к кларку средними содержаниями молибдена. Месторождение пространственно (и генетически) приурочено к оригинальной вулканоплутонической постройке, которая представляет собой концентрически-зональную трубообразную рудноэксплозивную структуру (рис. 24). Центральная часть (ядро) структуры сложена рудоносной эруптивной полимиктовой брекчией, прослеженной на глубину более 850 м. Эруптивная брекчия окружена эксплозивной мономиктовой брекчией, выклинивающейся на глубинах 100–300 м. К периферии рудоносной структуры приурочиваются лейкократовые фации слабоизмененных вмещающих гранитоидов с повышенными содержаниями молибдена, равными  $10$ – $200 \cdot 10^{-4}$  %.

Контур рудного штокаверка на уровне эрозионного среза приблизительно совпадает с внешней границей эксплозивной брекчии. Минерализованные брекчии и дорудные дайки, слагающие до 20 % объема рудного штокаверка, являются единым рудным телом, повторяющим в простран-

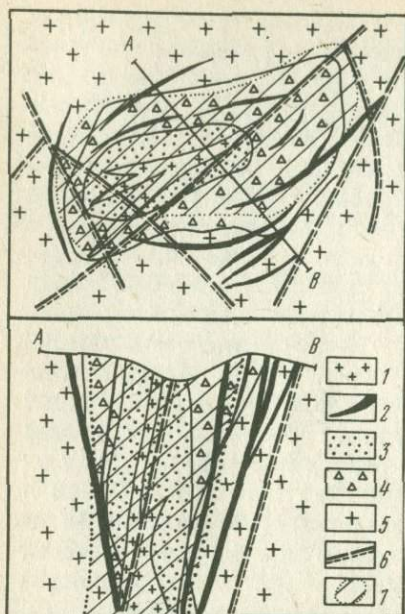


Рис. 24. Схема молибденоносной вулканической структуры и разрез по линии АВ. Составили В.Л. Верник и В.В. Скрипкина [34]

1 — мелко-среднезернистые граносиениты; 2 — дайки микрогранитов, микрограносиенитов и трахилипаритов; 3 — эруптивные брекчи; 4 — взрывные брекчи; 5 — вмещающие гранитоиды; 6 — главные дизъюнктивные нарушения; 7 — рудный штокверк

Важной для биогеохимических поисков особенностью месторождения является то, что ~ 90 % его площади расположено в долине, на склонах и низких водоразделах и закрыто аллохтонными золотыми и золово-делювиальными супесями мощностью от 0,3 до 30 м. Этот покров при мощности более 0,5 м полностью экранирует интенсивные элювиальные ореолы молибдена (см. рис. 20) и менее интенсивные ореолы других элементов-спутников рудной минерализации (F, W, Pb, Zn, Ag, Cd, Ti, V и др.).

Месторождение было открыто при геологической съемке в масштабе 1 : 50000 с опережающими биогеохимическими поисками. При сети точек наблюдения 500x50 м оно было зафиксировано (по корке стволов сосны) шестью аномальными точками (пять из них с содержаниями молибдена 0,001–0,005 % и одна — 0,02 % при фоне 0,0005 %) и рекомендовано к

ве морфологию рудноэксплозивной структуры. В пределах рудного тела промышленные руды чередуются с забалансовыми при высоком коэффициенте рудоносности, изменяющемся от 0,7 до 0,95. Основным рудным минералом является мелкочешуйчатый и дисперсный молибденит. Он сопровождается второстепенными минералами: пиритом, магнетитом, флюоритом, галенитом, сфалеритом, гюбнеритом, рутилом, анатазом и гематитом.

По классификации В.Н. Котляра, рассматриваемое месторождение относится к субвулканическому типу вулканогенных гидротермальных месторождений, а по данным В.И. Игнатовича [9], — к молибденовым месторождениям редкометалльно-вольфрам-молибденовой формации. Более подробно это месторождение описано в работе [28].

На месторождении развита древняя зона окисления мощностью 10–30 м. В ее пределах молибденовые минералы представлены в основном повеллитом и молибдитом, визуально неотличимыми от гидроокислов железа и ярозита. Вследствие этого выходы рудных тел и молибденоносных пород на дневную поверхность и под рыхлый золотый или золово-делювиальный покров значительно обеднены молибденом.

первоочередной проверке. При детализации по сети  $100 \times 10$  м определены площадь и северо-восточное простираие биогеохимического ореола (примерно  $800 \times 400$  м по изолинии  $0,0008$  %). На высоком водоразделе были найдены рудоносные брекчии, а первая канава протяженностью  $150$  м по данным бороздового опробования показала наличие сплошной молибденовой минерализации с Pb, Zn, W, Bi на протяжении  $120$  м. К сожалению, в связи с использованием малоинформативной на молибден корки сосны при детализации масштаба  $1 : 10000$  биогеохимические ореолы молибдена оказались малоcontrastными ( $0,0008-0,006$  при фоне  $0,0005$  %) и не дали информации о внутренней структуре рудного штокверка.

Результаты наших детальных биогеохимических исследований хорошо соответствуют геологическим данным [28] о концентрически-зональном строении месторождения (см. рис. 24) и позволяют отметить некоторые интересные детали биогеохимического поля. В зонах периферической эксплозивной брекчии и фаций слабоизмененных лейкократовых гранитоидов устанавливается чередование приблизительно концентрических зон с повышенными и пониженными (близфовыми) содержаниями молибдена. При этом ширина и интенсивность зон с повышенными содержаниями молибдена постепенно затухает к периферии рудоносной структуры. По форме изолиний биогеохимического ореола можно предполагать, что рудоносная структура месторождения представлена в плане двумя полукругностями, смещенными относительно друг друга приблизительно на  $150$  м вдоль центрального разлома, и ее первоначальная форма была близка к округлой. Площади сплошных биогеохимических ореолов молибдена, оконтуривающих месторождение по различным безбарьерным биообъектам, не одинаковы. Ореол по шишкам сосны обыкновенной с лесного полога размером  $800 \times 600$  м выделяется по изолинии  $30 \cdot 10^{-4}$  % при повышенном фоне  $\sim 10 \cdot 10^{-4}$  % из-за недостаточной протяженности профилей (региональный фон молибдена в них равен  $4 \cdot 10^{-4}$  %, см. табл. 18). Приблизительно половина площади этого биогеохимического ореола характеризуется концентрациями молибдена от  $0,01$  до  $0,1$  %. Ореол по нижним частям стеблей рододендрона, размером  $1000 \times 600$  м, выделяется по изолинии  $60 \cdot 10^{-4}$  % при местном фоне  $20 \cdot 10^{-4}$  % и региональном  $8 \times 10^{-4}$  %. Увеличение его протяженности объясняется существенно большей глубиной поисковой информации, получаемой по рододендрону, чем по шишкам сосны. Приблизительно половина площади биогеохимического ореола по рододендрону имеет концентрации молибдена от  $0,03$  до  $0,6$  %. Контуры этих биогеохимических ореолов молибдена по шишкам сосны и по рододендрону почти совпадают (с отклонениями до  $\pm 30$  м) с контуром первичного его ореола в коренных горных породах, выделяемого по изолинии  $5 \cdot 10^{-4}$  % при фоне  $1-2 \cdot 10^{-4}$  % по данным опробования траншей и шурфов.

Литохимический ореол в подгумусовом почвенном горизонте ВС ( $25-35$  см) выявлен в западной части месторождения, где он приурочивается к водоразделу и исчезает на расстоянии  $30-100$  м от него вследствие закрытости рудных тел и их элювиальных литохимических ореолов аллохтонным эоловым или эолово-делювиальным покровом. Площадь этого поч-

венно-геохимического ореола, оконтуриваемого изолинией  $5 \cdot 10^{-4}$  % при фоне  $2 \cdot 10^{-4}$  %, равна  $250 \times 350$  м, что в 6 раз меньше площади биогеохимического ореола по шишкам сосны и в 8 раз меньше площади ореола по рододендрону. В связи с такими незначительными размерами ореола молибдена в почвах месторождение могло быть пропущено почвенно-геохимическими поисками в масштабе 1 : 50000.

Открытые литохимические ореолы описываемого месторождения, располагающиеся на узком водоразделе, значительно ослабляются при приближении к древней поверхности. Вследствие этого ореолы молибдена в гумусовом горизонте А над рудоносным штокверком имеют вид четырех разрозненных полей размером от  $40 \times 80$  до  $110 \times 120$  м, оконтуриваемых изолинией  $5 \cdot 10^{-4}$  % при фоне  $2 \cdot 10^{-4}$  %. Внутри них располагаются два локальных пятна с концентрациями 0,005–0,02 %, имеющими размеры  $15 \times 40$  и  $30 \times 60$  м. В горизонте ВС на глубине 25–35 см по изолинии  $5 \cdot 10^{-4}$  % над рудоносным штокверком выявлен сплошной почвенно-геохимический ореол размером  $250 \times 350$  м. Интенсивный ореол с содержаниями молибдена от 0,01 до 0,05 % в горизонте ВС имеет размеры  $120 \times 230$  м. В коренных горных породах, подстилающих почвенно-геохимические ореолы на водоразделе, по данным бороздowego опробования канав, максимальные концентрации молибдена на интервалах по 5–50 м достигают 0,1 %.

Величина ослабления открытых литохимических ореолов пропорциональна концентрации молибдена в рудах (рис. 25), так как  $СПП_A^*$ , по данным бороздowego опробования траншей глубиной 2–4 м, зависит от его концентрации в коренных горных породах и рудах. При фоновых содержаниях молибдена в горных породах, равных  $2 \cdot 10^{-4}$  %, это отношение равно в среднем 0,8; при повышенных содержаниях (0,003 %) – 0,1 и при наиболее высоких содержаниях (около 0,1 %) – 0,04, т.е. уменьшается по сравнению с фоном в 20 раз. Для горизонта ВС (25–35 см)  $СПП_A$  молибдена изменяется от 0,8 при фоновых до 0,2 (при повышенных) и до 0,15 при наибольших содержаниях в бороздowych пробах из траншей. Эти данные свидетельствуют о том, что на изученном водоразделе ореолы в гумусовом горизонте почв над локальными участками и высокими концентрациями молибдена в элювиальных литохимических ореолах и рудах, превышающими 0,03 %, ослаблены в среднем в 10–20 раз при максимальном ослаблении в отдельных точках в 100–150 раз. В подгумусовом почвенном горизонте ВС рудные почвенно-геохимические ореолы ослаблены в среднем в 5–6 раз при максимальном ослаблении в отдельных точках в 30 раз. Значительное увеличение коэффициента ослабления почвенно-геохимических ореолов молибдена в почвах при наибольших концентрациях молибдена в рудах по сравнению с фоновыми участками является весьма типичным явлением, которое наблюдалось на всех изученных молибденовых месторождениях и рудопрооявлениях [17].

\*  $СПП_A$  – соотношение "почва – порода" (для изучаемого химического элемента), равное отношению содержаний в почвенном горизонте А и в коренной горной породе (горизонте Д).

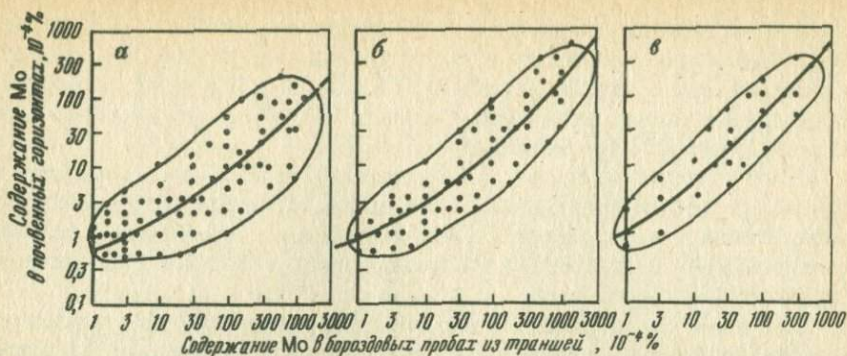


Рис. 25. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями молибдена в почвенных горизонтах и коренных горных породах на открытых литохимических ореолах молибденового месторождения

*a* – горизонт А (0–10 см); *б* – горизонт ВС (25–35 см); *в* – горизонт С (90–110 см). Условные обозначения см. рис. 12

Очевидно, что резко неравномерное выщелачивание молибдена делает невозможной количественную интерпретацию почвенно-геохимических ореолов этого элемента в гумусовом горизонте А и подгумусовом горизонте ВС. Как видно из рис. 25, с увеличением глубины отбора почвенных проб уменьшается не только коэффициент ослабления почвенно-геохимических ореолов, но и дисперсия отдельных значений корреляционного поля точек. Для гумусового горизонта А величина стандартного множителя  $\epsilon$  равна 1,94, для горизонта ВС – 1,72, а для горизонта С – 1,56. Приведенные данные свидетельствуют о том, что для гумусового горизонта основными причинами значительной дисперсии отдельных точек относительно усредняющей концентрационной зависимости являются почвенные процессы. Для горизонта С основными причинами этой дисперсии являются погрешности приближенно-количественного спектрального анализа, стандартный множитель которого для отдельных совокупностей проб месторождения находился в пределах 1,40–1,48. Это говорит о тесной связи между содержаниями молибдена в горизонте С щебнистого элювия почвообразующих горных пород на глубине около 1 м и в коренных горных породах (горизонте Д), а также о возможности в рассматриваемых условиях количественной интерпретации элювиальных литохимических ореолов молибдена в почвенном горизонте С.

Изучение золотого и золово-делювиального покрова над рудным штокверком по разрезам скважин глубиной до 16 м, пройденных со станком УПБ-25 Центральной геохимической партией ПГО Бурятгеология, показало, что в его мелкой фракции (< 1 мм) литохимические ореолы молибдена и других элементов-индикаторов отсутствуют. Содержание молибдена в этих покровных образованиях находится в пределах  $1-5 \times 10^{-4} \%$ , в среднем около  $2 \cdot 10^{-4} \%$ , и только на забое менее половины скважин выявлены минимально-аномальные концентрации молибдена, равные  $8-15 \cdot 10^{-4} \%$ . Эти результаты глубинных литохимических исследований поразительно контрастируют с данными о биогеохимических

ореолах по нижним частям стеблей рододендрона даурского. В этом наиболее глубинном биообъекте в тех точках, где над рудным штокверком были пройдены скважины (станком УПБ-25), концентрации молибдена над рудными телами штокверка составили 0,06–0,2 % при местном повышенном фоне 0,002 % и региональном 0,0008 %.

Ниже приводятся данные о биогеохимических ореолах молибдена и других ореолообразующих элементов в различных ландшафтных условиях и пересечениях месторождения в сопоставлении с особенностями рельефа и вертикальной составляющей магнитного поля, полученной Калиновской партией ПГО Бурятгеология.

По одному из профилей установлены интересные соотношения биогеохимических ореолов молибдена с ореолами других элементов. Зона наибольшего обогащения горных пород молибденом в интервале 4,58–4,79 км (рис. 26), где его концентрации в нижних частях стеблей рододендрона превышают 0,05 %, достигая в четырех пробах 0,4 %, приурочивается к зоне пониженных содержаний пяти элементов: Sc, Y, La, Yb, Ti. Пятикомпонентный мультипликативный биогеохимический показатель ( $M_5$ ) этих элементов в шишках сосны четко оконтуривает молибденорудную зону с северо-запада значением  $200 \cdot 10^{-15} \%$  с максимумами до  $2000-11000 \cdot 10^{-15} \%$ , причем над основной рудной зоной  $M_5 = 20-200 \cdot 10^{-15} \%$  и юго-восточнее от нее  $6-30 \cdot 10^{-15} \%$ . В юго-восточной части описываемого профиля в интервале 4,24–4,47 км малоконтрастные биогеохимические ореолы молибдена по рододендрону с содержаниями от 0,006 до 0,02 % и отдельными максимумами до 0,05 % совпадают или перемежаются с локальными максимумами мультипликативного показателя. Это позволяет говорить о существенном минералогическом отличии локальной, непромышленной молибденовой минерализации в интервале 4,24–4,47 км от интенсивной минерализации в интервале 4,58–4,79 км. В первом случае она не сопровождается, а во втором – сопровождается редкометалльной минерализацией, характеризующейся мультипликативным показателем  $M_5$ .

В ландшафтах юго-западного склона на расстоянии до 50 м от водораздела и на водоразделе с почвенно-геохимическими ореолами, пересеченными профилем (рис. 27), сплошной биогеохимический ореол молибдена с содержаниями от 0,003 до 0,1 % при местном повышенном фоне 0,0010 % (региональный фон в этом биообъекте равен 0,0004 % – см. табл. 18) в шишках сосны обыкновенной приурочивается к краевой части рудоносного штокверка. Биогеохимический ореол вольфрама приурочен к северо-западной половине пересечения зоны молибденовой минерализации и выходит за ее пределы, увеличивая общую площадь рудоносного штокверка.

На профиле 3 вдоль простирания штокверка (рис. 28) протяженность сплошного биогеохимического ореола в нижних частях стеблей рододендрона даурского и в стеблях таволги средней на уровне минимально-аномальных содержаний ( $\geq 0,006 \%$ ) достигает 1000 м. Почти на всем протяжении профиля концентрации молибдена в этих биообъектах равны 0,02–0,2 %, соответствуя интенсивным и весьма интенсивным биогеохимическим ореолам, превышающим повышенный местный фон (0,002 %) в 10–100 раз, а фон за пределами рудного поля (0,0008 %) в 25–250 раз. В шишках сосны сплошной биогеохимический ореол наблюдается только в

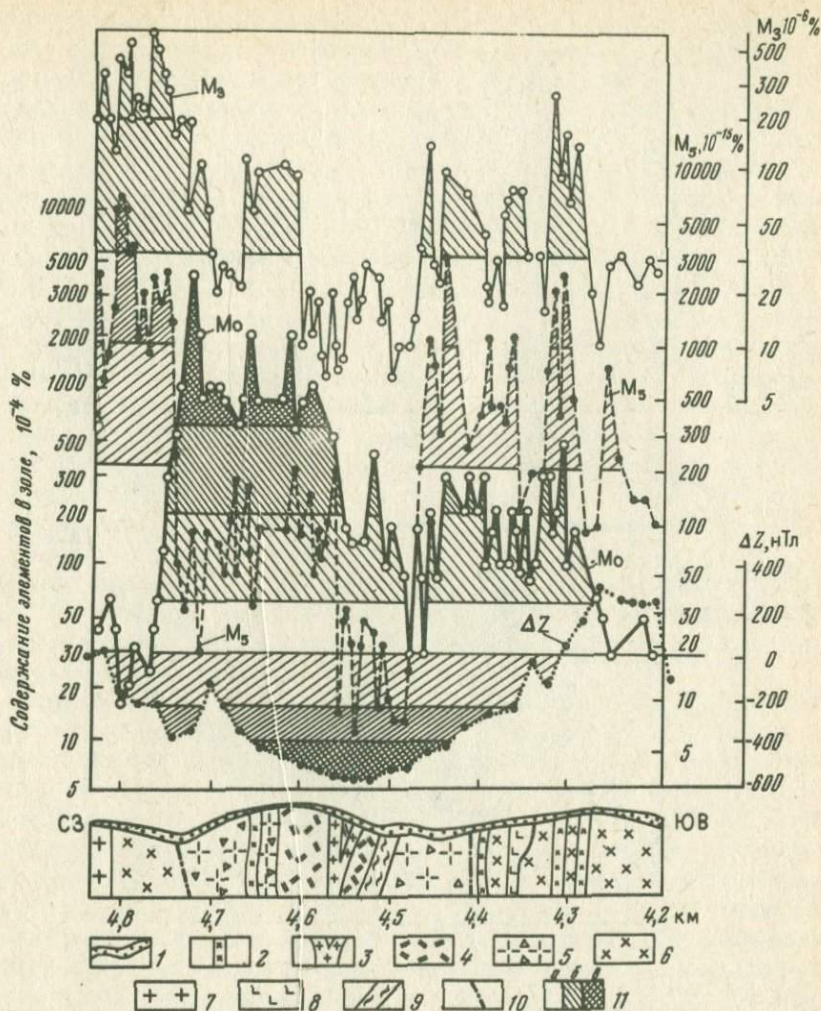


Рис. 26. Распределение Mo в нижних частях стеблей рододендрона даурского, мультипликативных биогеохимических показателей ( $M_5 = Sc \cdot Y \cdot La \cdot Yb \cdot Ti$ ;  $M_3 = Na \cdot Ga \cdot Zr$ ) в шишках сосны обыкновенной и вертикальной составляющей магнитного поля  $\Delta Z$  по профилю 1 молибденового месторождения

1 - четвертичные отложения (эоловые пески и супеси, делювиально-пролювиальные образования); 2 - дайки мелкозернистых гранитов и гранит-порфиров; 3 - дайки сиенит-порфиров, трахитовых порфиров и ортофиров; 4 - оруденелые эруптивные полимиктовые брекчи на цементе трахипаритовых порфиров; 5 - оруденелые мономиктовые взрывные брекчи, брекчиевидные разности вмещающих пород; 6 - сиениты, кварцевые сиениты крупнозернистые неравномернозернистые (Бичурский комплекс,  $PZ_3$ ); 7 - граниты среднезернистые биотитовые ( $PZ_3$ ); 8 - ксенолиты диоритов, сиенито-диоритов, микродиоритов (Джидинский комплекс,  $PZ_1$ ); 9 - зоны расщепления и милонитизации; 10 - маломощные зоны тектонических разрывов; 11 - положительные биогеохимические и литохимические и отрицательные магнитные аномалии (а - слабые, б - интенсивные, в - весьма интенсивные)

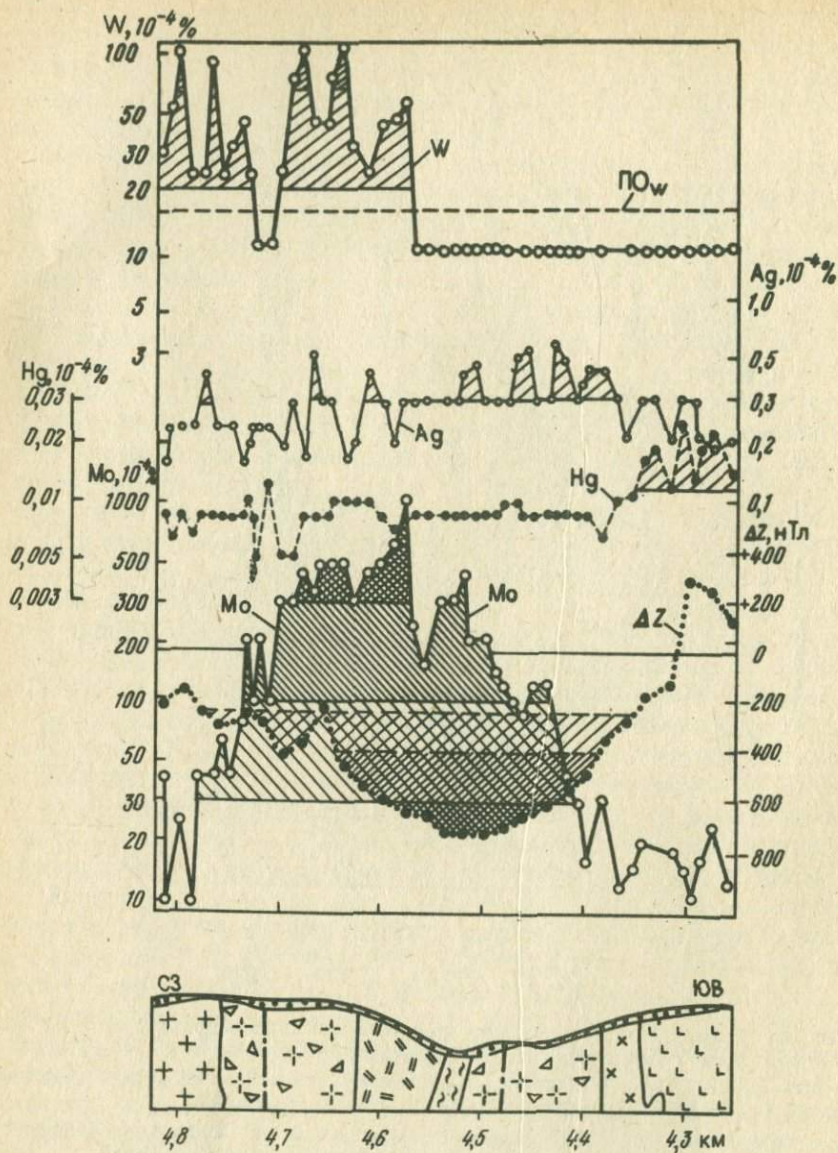


Рис. 27. Распределение Mo, Hg, Ag и W в золе шишек сосны обыкновенной и вертикальной составляющей магнитного поля  $\Delta Z$  по профилю 2 молибденового месторождения. Условные обозначения см. рис. 26. ПО<sub>w</sub> – предел обнаружения вольфрама

ландшафте юго-западного склона (в интервале 7,8–8,0 км) и в приводо-раздельном ландшафте северо-восточного склона (в интервале 8,1–8,2 км). В ландшафтах северо-западного склона (в интервале 8,3–8,5 км) и долины (в интервале 8,6–8,7 км) ореол молибдена в шишках сосны на уровне минимально-аномальных содержаний ( $\geq 0,003\%$ ) становится прерывистым и менее протяженным. В интервале 8,6–8,8 км он отсутствует. Интенсивный ореол с концентрациями молибдена 0,01–0,03% в шишках сосны прерывистый и наблюдается только на 300 из 800 м. Существенно меньшая контрастность биогеохимических ореолов в шишках сосны по сравнению с ореолами в нижних частях стеблей рододендрона и таволги объясняется их значительным (10-кратным и более) ослаблением на участках, закрытых золовым и золово-делювиальным рыхлым покровом мощностью более 6 м, и отсутствием — при их мощности  $\geq 8$  м (см. рис. 20). Приблизительно такие же поисковые характеристики, как в шишках сосны, имеют биогеохимические ореолы в надземных частях травянистых бобовых растений. Статистически достоверные биогеохимические ореолы во внутренних слоях корки стволов сосны на рассматриваемом профиле не выявлены (см. рис. 28). Содержание молибдена в них изменяется от 3 до  $10 \cdot 10^{-4}\%$  при среднем содержании  $8 \cdot 10^{-4}\%$ . Несмотря на то что региональный фон молибдена во внутренних слоях корки сосны равен  $3 \times 10^{-4}\%$  и среднее содержание его на месторождении повышенное, этот биообъект можно считать непригодным для выявления рудных тел в рассматриваемых условиях.

На рис. 28 также видно, что гумусовый горизонт почв является неинформативным в поисковом отношении в элементарных ландшафтах северных склонов и долины (в интервале 8,05–9,0 км) и малоинформативным в ландшафте южного склона и водораздела (в интервале 7,9–8,04 км), где аномальные концентрации молибдена достигают 0,002% при фоне 0,0002%, превышая местный фон в 3–10 раз. Почвенно-геохимические ореолы в горизонте ВС на глубине 25–35 см имеют приблизительно такие же поисковые характеристики как в горизонте А. Следует отметить, что содержание молибдена в почвах над большей частью рудного штокверка практически не отличается от фонового за пределами рудного поля, а в безбарьерных биообъектах превышает этот фон в 25–250 раз (см. рис. 28).

Рассмотренные данные по пяти биообъектам и двум почвенным горизонтам свидетельствуют о наибольшей поисковой информативности биогеохимических ореолов молибдена в рододендроне даурском и стеблях таволги средней, значительно превосходящей информативность почвенно-геохимических поисков во всех пересекаемых элементарных ландшафтах.

Кроме молибдена, статистически достоверные локальные биогеохимические ореолы на профиле 3 образуют Hg, Zn, F, Ag, Pb, Na, Rb, Cs, Ba, Sc, Y, La, Yb, Ga, Cu, Co, Ni. Элементы-спутники молибдена образуют сплошную аномальную зону локальных ореолов на всем протяжении месторождения (рис. 29).

Основные количественные характеристики биогеохимических, почвенных и первичных литохимических ореолов месторождения 28 ореолообра-

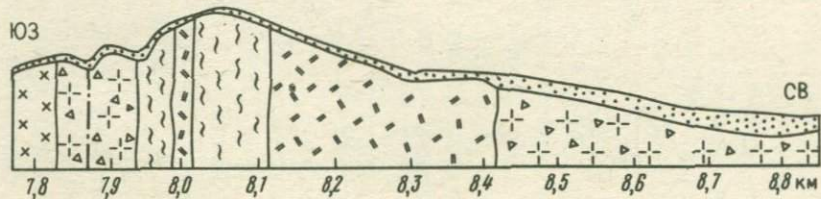
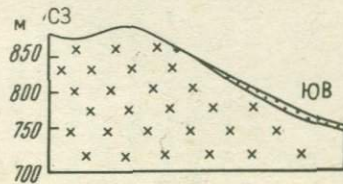
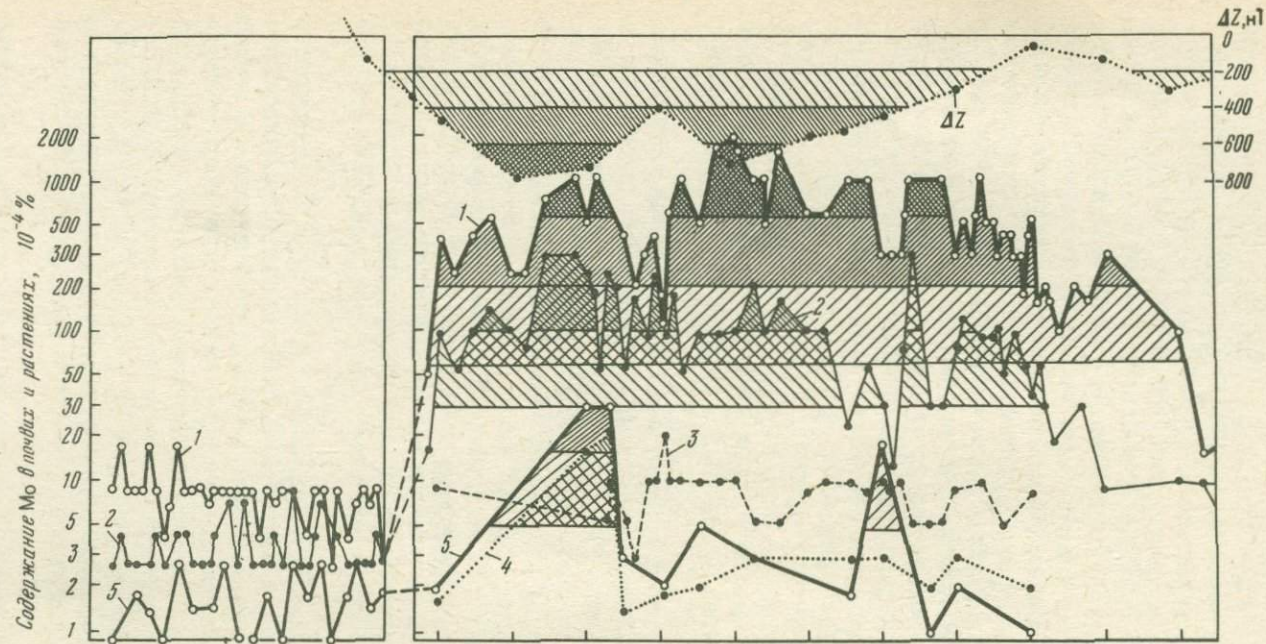


Рис. 28. Распределение Мо в почвах и растениях и вертикальной составляющей магнитного поля  $\Delta Z$  по профилю 3 молибденового месторождения

Содержание в золе растений: 1 – нижние части стеблей рододендрона даурского и стебли таволги средней; 2 – шишки сосны обыкновенной; 3 – внутренние слои корки сосны (неинформативный биообъект). Содержание в мелких ( $< 1$  мм) фракциях почв: 4 – гумусового горизонта А (0–10 см); 5 – горизонта ВС (25–35 см). Остальные условные обозначения см. рис. 26

зующих элементов из 50 проанализированных (табл. 24) говорят о том, что спектр их в биогеохимических и открытых литохимических ореолах практически одинаков. В последних характерно уменьшение содержания большинства элементов при переходе от горизонта Д (1–3 м) коренных горных пород, вскрытых траншеями, к горизонту ВС (0,3 м) в 2–8 раз. Концентрации вольфрама и серебра при этом уменьшаются в 10–20 раз, цинка в 25 раз, меди в 40 раз и висмута – более чем в 150 раз. Это говорит об ослаблении, вплоть до весьма значительного (для Zn, Cu, Bi), почвенно-геохимических ореолов при формировании почвенного покрова.

Данные табл. 24 показывают, что для большинства ореолообразующих элементов контрастность биогеохимических ореолов в безбарьерных биообъектах превышает контрастность почвенно-геохимических в 1,5–6 раз. Следует отметить, что максимальная контрастность почвенно-геохимических ореолов 15 из 28 рассматриваемых элементов (Hg, La, Cu, Zr, Ba, Co, Nb, Cs, Y, Yb, Cr, P, Ga, Ti, V) находится в пределах от 1,7 до 3,0, и они являются статистически малодостоверными. По наибольшей величине отношения коэффициентов контрастности биогеохимических ( $KK_6$ ) и почвенно-геохимических ( $KK_{\text{п}}$ ) ореолов на рассматриваемом месторождении выделяются фтор и ртуть ( $KK_6 : KK_{\text{п}} = 10$ ). Наименьшие величины  $KK_6 / KK_{\text{п}}$ , равные 0,7 и 1,0, имеют молибден и свинец. Большая контрастность биогеохимических ореолов в безбарьерных биообъектах по сравнению с открытыми почвенно-геохимическими, по нашим данным, является типичной для большинства ореолообразующих элементов на всех изученных месторождениях (железородных, полиметаллических, золоторудных, молибденовых, вольфрамовых и редкометалльных). Выделяющаяся наиболее высокая контрастность биогеохимических ореолов фтора и ртути, по сравнению с их первичными и вторичными литогеохимическими ореолами, также типична для большинства месторождений. Это объясняется присутствием фтора и ртути в горных породах в виде газообразных форм, имеющих интенсивность поглощения растениями приблизительно в 300000 раз больше, чем из различных форм твердой фазы (см. табл. 2). Данные о соотношениях между биогеохимическими и литохимическими ореолами месторождения позволяют предполагать наличие на нем и в его окрестностях атмохимических газорудных и газодиффузионных ореолов.

Полученные данные свидетельствуют о заметном преимуществе биогеохимических поисков по сравнению с почвенно-геохимическими на открытых выходах рудного штокверка и об отсутствии почвенно-геохимических ореолов на его большей части, погребенной под покровом золотых и золово-делювиальных образований мощностью более 0,5 м.

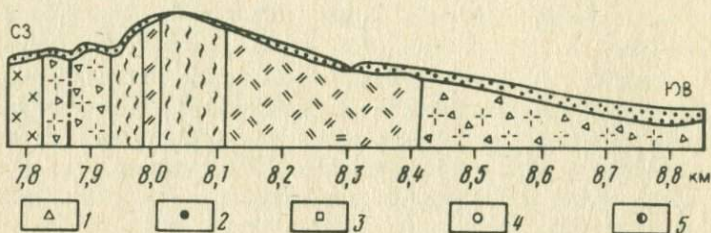
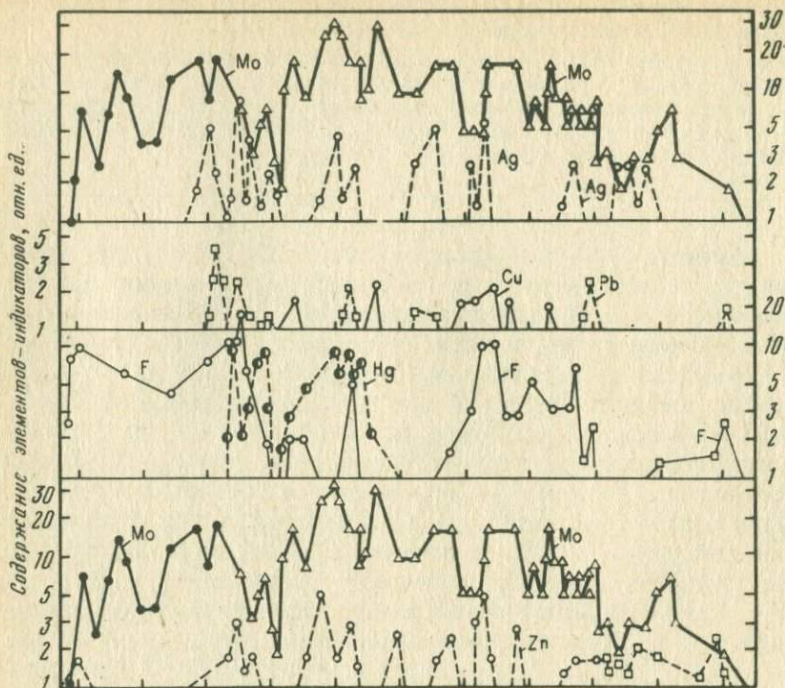


Рис. 29. Комплексные биогеохимические ореолы Mo, Zn, Ag, Pb, Cu, Hg и F по профилю 3 молибденового месторождения. Минимально-аномальные содержания соответствующих элементов приняты равными 1,0

Элементы-индикаторы и безбарьерные биообъекты: 1 – Mo в стеблях рододендрона даурского; 2 – то же, таволги средней, 3 – Zn, Pb и F в шишках сосны; 4 – Ag, Cu, Zn и F в корке стволов березы плосколистной (бересте); 5 – Hg в корке и шишках сосны, корке березы и побегах рододендрона. Остальные условные обозначения см. рис. 26

Весьма интересными оказались соотношения между биогеохимическими ореолами молибденового месторождения с особенностями его рельефа и геофизическими полями: магнитным  $\Delta Z$  и гравиметрическим  $\Delta g$ . Биогеохимические ореолы молибдена приурочены в основном к отрицатель-

## Характеристики биогеохимических и литохимических ореолов молибденового месторождения

Элемент	Биогеохимические ореолы				Открытые литогеохимические ореолы**			КК <sub>б</sub> /КК <sub>п</sub> КК <sub>б</sub> /КК <sub>л</sub>
	Номер био-объекта*	C <sub>ф</sub> ' 10 <sup>-4</sup> %	C <sub>м</sub> ' 10 <sup>-4</sup> %	КК <sub>б</sub> = = C <sub>м</sub> : C <sub>ф</sub>	C <sub>ф</sub> ' 10 <sup>-4</sup> %	C <sub>м</sub> ' 10 <sup>-4</sup> %	КК <sub>п</sub>	
							КК <sub>л</sub>	
Mo	1	20	4000	200	2	600	300	0,7
Mo	2	12	1000	83	2	3000	1500	0,13
Mo	3	16	2000	120				
W	2; 5	1	100	100	~2	50	25	4
					~2	1000	500	0,2
F	4	800	50000	62	400	4000	10	10
					500	10000	20	5
F	2	300	3000	10				
Hg	2; 4	0,02	0,64	32	0,016	0,048	3	10
					0,016	0,064	4	8
Hg	5	0,03	0,90	30				
Tl	4	~1	30	~30	~1	20	~20	~1,5
Bi	4	0,1	3	~30	~0,1	Не обн.	-	>3
					~0,1	15	150	~0,2
Zn	4	1500	30000	20	50	400	8	2,5
					50	10000	200	0,1
Ag	4	0,2	4	20	~0,1	1	10	2
					~0,1	10	100	0,2
Ag	1	0,12	2	17				
Ni	1; 2	20	300	15	20	80	4	3,8
Rb	2	60	600	10	80	300	3,8	2,6
La	2	~20	200	10	60	100	1,7	6
Hf	2	~20	200	10	~20	100	5	2
Pb	2; 4; 5	15	150	10	30	300	10	1,0
					30	1500	50	0,2
Cu	4	80	600	8	20	500	2,5	3,1
					20	2000	100	0,08
Cu	2	40	200	5				
Ge	1; 2; 5	~1	8	8	~1	5	5	1,6
Zr	2	140	1000	7	300	800	2,7	2,6
Sc	2	4	20	5	10	20	2	2,5
Co	2; 4	6	30	5	10	20	2	2,5
Nb	2	10	50	5	20	50	2,5	2,0
Ba	6	3000	15000	5	1000	2000	2,0	2,5
Cs	2; 5	5	20	4	4	10	2,5	1,6
Y	2	15	60	4	40	80	2,0	2,0
Yb	2	1,5	6	4	3	5	1,7	2,4
Cr	2	50	200	4	55	150	2,7	1,5
P	2	5000	20000	4	300	800	2,7	1,5

Элемент	Биогеохимические ореолы				Открытые литогеохимические ореолы**			$\frac{KK_B}{KK_{II}}$
	Номер биообъекта*	$C_{\Phi} \cdot 10^{-4} \%$	$C_{M'} \cdot 10^{-4} \%$	$KK_B = C_M : C_{\Phi}$	$C_{\Phi} \cdot 10^{-4} \%$	$C_{M'} \cdot 10^{-4} \%$	$\frac{KK_{II}}{KK_L}$	$\frac{KK_B}{KK_L}$
Ga	2	10	30	3	20	50	2,5	1,2
Ti	2	2000	6000	3	3000	6000	2,0	1,5
V	2	50	150	3	50	100	2,0	1,5

\* Номера биообъектов: 1 – нижние части стеблей рододендрона даурского; 2 – опробковевшие шишки сосны обыкновенной с лесного полога; 3 – надземные части травянистых бобовых (астрала перепончатого, вики однопарной, горошка заборного и мышиного, клевера лугового); 4 – корка стволов березы плосколистной; 5 – внешние слои корки стволов сосны; 6 – луб стволов березы.

\*\* В числителе – почвенно-геохимические ореолы на горизонте ВС (25–35 см), в знаменателе – первичные литохимические ореолы по данным разведочного бороздочного опробования траншей.  $KK_B$ ,  $KK_{II}$  и  $KK_L$  – коэффициенты контрастности биогеохимических, почвенных и первичных литогеохимических ореолов в неизмененных горных породах и рудах, равные отношению максимальных концентраций к местному фону.

ным формам рельефа: долинам, ложбинам и седловинам водораздела (см. рис. 26–28), а молибденовая минерализация – к гидротермально-измененным, легковыветриваемым взрывным или эруптивным брекчиям. Рудные биогеохимические ореолы молибдена на всех изученных профилях хорошо совпадают с минимумами  $\Delta Z$  (и  $\Delta g$ ), оконтуривающими гидротермально-измененные горные породы. Интересно отметить, что многочисленные биогеохимические аномалии молибдена за пределами месторождения, выявленные биогеохимической съемкой в масштабе 1:20000 по шишкам сосны, также приурочены к отрицательным формам рельефа и полям минимальных значений  $\Delta Z$ , а некоторые – к минимумам  $\Delta g$ . Это говорит о том, что сочетание разнотипных признаков – наличие биогеохимических аномалий, приуроченность их к отрицательным формам рельефа и совпадение с полями минимальных значений  $\Delta Z$  и  $\Delta g$  – можно рассматривать как комплексный поисковый признак рудоносных и, в частности, молибденоносных брекчий, аналогичных рудоносным породам месторождения.

Закономерные соотношения между биогеохимическими ореолами и геофизическими полями наблюдались и на других рудных месторождениях и рудопроявлениях, в том числе и на молибденовых. Например, на молибденовом рудопроявлении, приуроченном к вершине водораздела, биогеохимические ореолы с концентрациями молибдена в золе шишек сосны 0,005–0,03 % (при фоне 0,0008 %), превышающими фон в 6–38 раз, и рододендрона даурского 0,02–0,1 % (при фоне 0,002 %) хорошо совпали с зонами повышенных сопротивлений, выявленными электропрофилеиро-

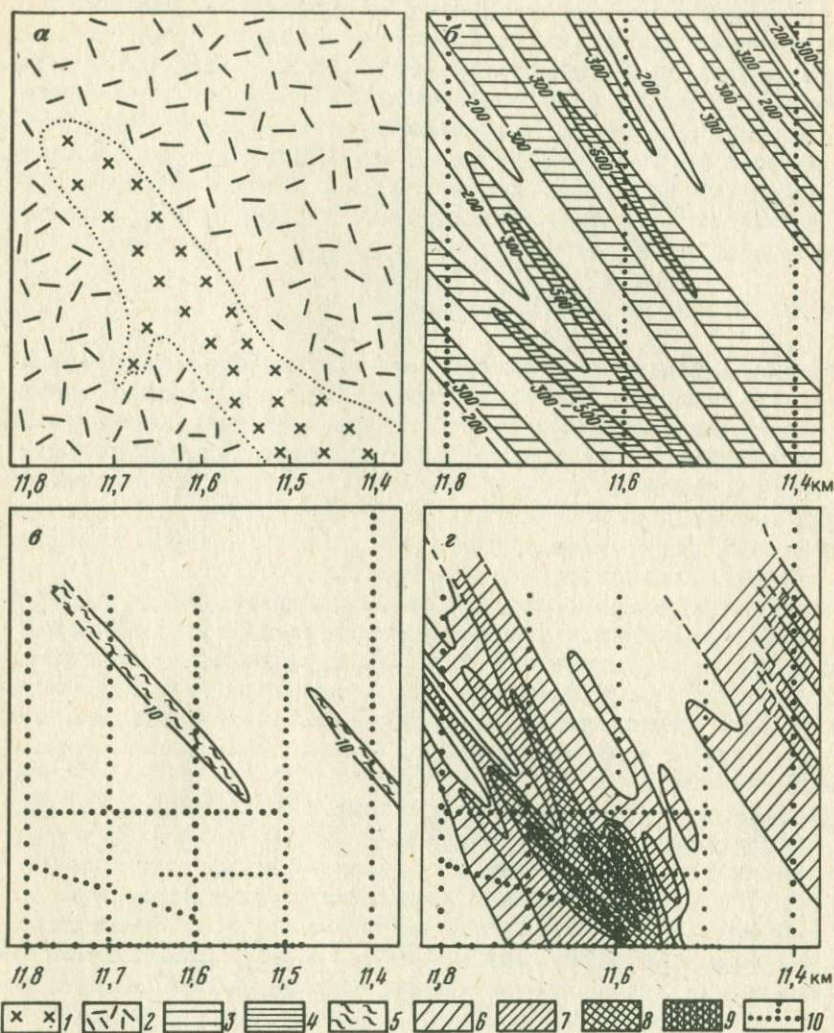


Рис. 30. Результаты биогеохимических и электроразведочных работ на молибденовом рудопроявлении

*а* – геологическая карта; *б-г* – планы аномальных полей (*б* – кажущегося удельного сопротивления  $\rho_{\text{к}}$ ; *в* – содержания Мо в коре сосны; *г* – то же, в шишках сосны).

1 – граниты верхнеюрского возраста; 2 – триасовые туфы кислых эффузивов; 3 –  $\rho_{\text{к}} = 300-500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ; 4 –  $\rho_{\text{к}} > 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ; 5 – Мо в коре сосны  $10-20 \cdot 10^{-4} \%$ ; 6-9 – содержание Мо в шишках сосны,  $10^{-4} \%$  (6 – 20-40, 7 – 50-90, 8 – 100-190, 9 – 200-300); 10 – точки наблюдений

нием (рис. 30). Эти данные согласуются с результатами последующих петрографических и минералогических исследований, свидетельствующих о том, что молибденитовая минерализация этого рудопроявления связана с окварцованными зонами кислых эффузивов, устойчивых к выветриванию и характеризующихся повышенным электрическим сопротивлением. Во внешних слоях корки сосны обыкновенной это рудопроявление отделилось мало контрастным биогеохимическим ореолом молибдена, превышающим местный фон ( $4 \cdot 10^{-4} \%$ ) в 2—4 раза. Эти данные о малой информативности внешних слоев корки сосны обыкновенной совпадают с результатами, полученными на рассмотренном (см. рис. 23 и 28) и других молибденовых месторождениях.

## ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В качестве примеров биогеохимических исследований на полиметаллических месторождениях рассмотрим данные по двум колчеданно-полиметаллическим месторождениям, расположенным в пределах единого рудного поля, приуроченного к останцу нижнекембрийских пород, расположенных среди интрузивных субвулканических и эффузивных образований; возраст которых изменяется от нижнего кембрия до мезозоя. Оно находится в зоне средней тайги со слабо расчлененным рельефом и таежно-мерзлотными ландшафтами кислого класса.

На площади месторождения № 1 с "железной шляпой" мощностью 10—40 м развиты своеобразные красные мерзлотно-таежные почвы. За пределами рудных тел месторождения мощность коры выветривания горных пород ограничена первыми метрами. Здесь, также как на большей части рудного поля, развиты типичные мерзлотно-таежные, поверхностно-железненные почвы, а на отрицательных, обычно заболоченных, формах рельефа — глеевые.

Площади рассматриваемых месторождения и их окрестностей покрыты лиственничным лесом (лиственница даурская) с примесью березы плосколистной, осины дрожащей и ивы козьей. Широко распространены кустарники (багульник болотный, рододендрон даурский, голубика и таволга средняя), а также травянистый или моховый покров. Близлежащие долины покрыты ерниками с моховым покровом и отдельными древесными растениями. Глубина проникновения корней древесных растений над рудными телами месторождения № 1 достигает 5 м, а за их пределами и на месторождении № 2 — 2 м.

Оба месторождения приурочены к метаморфизованным вулканогенно-карбонатным породам олдындинской свиты с видимой мощностью 1400—1800 м. Колчеданные, гематитовые, сульфидно-гематитовые, сидеритовые и баритовые тела являются в основном стратиформными и имеют преимущественно линзовидную или пластообразную форму. На месторождении № 1 вмещающие горные породы и залегающие согласно с ними многочисленные рудные тела образуют асимметричную синклиналиную складку северо-восточного простирания (рис. 31). Мощность рудных тел, представленных массивными и вкрапленными сульфидами, здесь изменяется

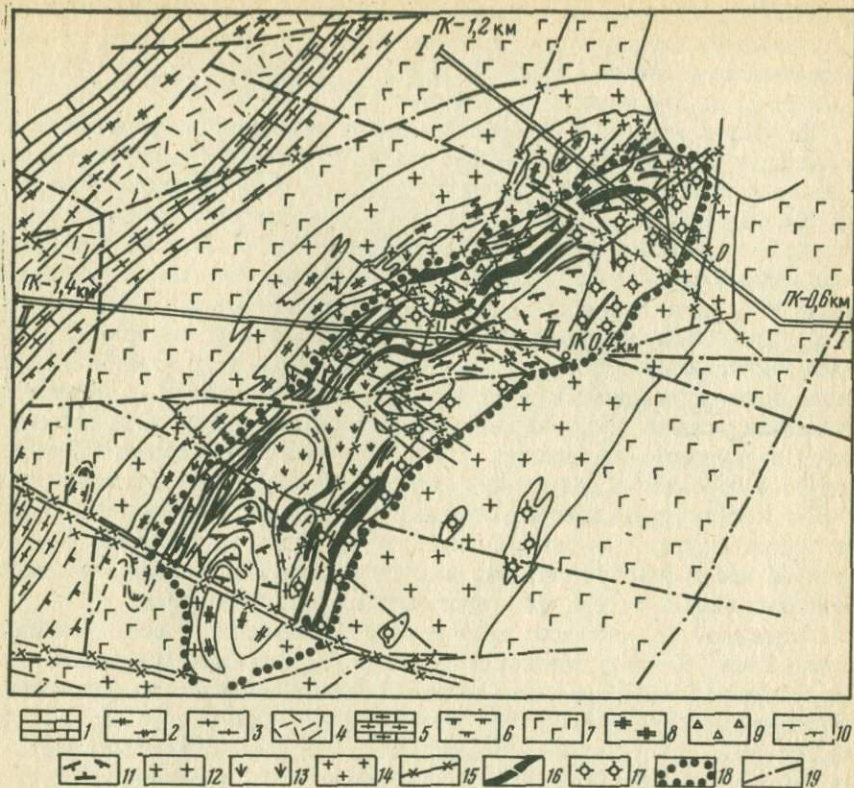


Рис. 31. Геологическая карта колчеданно-полиметаллического месторождения № 1 (по данным Р.С. Тарасовой и др., 1972)

1-3 - северная толща (1 - нижний горизонт - известковистые туфогравелиты, туффиты, туфопесчаники, 2 - средний горизонт - углистые и известковистые туффиты, в верхах - пласт колчеданной руды, 3 - верхний горизонт - окремненные и известковистые туффиты); 4-6 - гурвунурская толща (4 - нижний горизонт - кислые лавы, туфолавы, и туфы, 5 - средний горизонт - известняки, известняковые брекчи, туффиты, 6 - верхний горизонт - агломератовые туфы, туффиты, известняки, в верхах - пласт колчеданной руды); 7-11 - озерная толща (7 - туфолавовый горизонт + лавы и туфолавы андезит-дацитового порфирита с линзами и прослоями известняковых брекчи и оруденелых туффитов, 8 - туффитовый горизонт - известковистые туффиты и брекчи, туфогравелиты, 9 - первый продуктивный горизонт - известняки, известняковые брекчи и гравелиты, туффиты, туфы типа игнимбритов, 10 - второй продуктивный горизонт - известняки, известняковые брекчи и гравелиты, туфы и туффиты); 11 - кристаллотуфовый горизонт - известняки, известняковые брекчи, кристаллотуфы и лавы кислых эффузивов; 12 - автомагматические брекчи риолит-дацитовых порфиров; 13 - диабазовые порфириды; 14 - дацитовые порфиры; 15 - дайки андезитовых порфиритов, сиенит-порфиритов и долеритовых порфиритов; 16 - тела колчеданных свинцово-цинковых руд; 17 - сидеритовые руды; 18 - граница распространения "железной шляпы"; 19 - разломы; I-I, II-II - профили литобиеохимических исследований

от 2 до 45 м. Основными рудными минералами являются пирит, сфалерит и в меньшей степени галенит, подчиненными — сидерит, магнетит, гематит, пирротин, арсенопирит и др. Величина Zn/Pb в неокисленных рудах изменяется от 2 до 20 и в среднем составляет 6,0.

На месторождении № 2 выявлено семь полиметаллических рудных тел мощностью от 2 до 20 м, пять из которых являются стратиформными, а два — секущими. Одно из рудных тел слепое. Основные рудные минералы их представлены пиритом, сфалеритом и пирротином, второстепенные — галенитом, халькопиритом и арсенопиритом. Кроме колчеданно-полиметаллических (цинковых) рудных тел здесь более часто, чем на месторождении № 1, распространены маломощные гематитовые и кварц-гематитовые рудные тела, не представляющие промышленного интереса. Рудное поле месторождения № 2, так же как месторождения № 1, разбито крупными зонами тектонических разрывов на несколько блоков, характеризующихся различной интенсивностью и своеобразием рудной минерализации. Современная маломощная зона окисления месторождения № 2 расположена в основном в дефальном слое многолетней мерзлоты мощностью 1—3 м, и ее признаки наблюдаются на глубине до 5—10 м. Зона окисления относится к типу сульфатных, характерных для криолитозоны [31]. В верхней части она представлена дезинтегрированными рыхлыми гидроокислами железа, а в нижней — плотными его гидроокислами.

Почвенно-геохимические ореолы месторождения № 1 имеют площадь около 2 км<sup>2</sup>. Биогеохимические ореолы приблизительно совпадают с ними по площади. Наиболее контрастные биогеохимические ореолы в соответствующих безбарьерных биообъектах здесь образуют Pb, Cd, Hg, As, Ag, Zn (табл. 25). Следует отметить, что статистически достоверные биогеохимические ореолы меди на месторождении № 1 практически отсутствуют, хотя в почвах они достаточно контрастны (КК 3—7), а биогеохимические ореолы цинка менее контрастны, чем почвенно-геохимические (см. табл. 25). Это объясняется малой доступностью растениям остаточных форм меди и цинка в "железных шляпах" многих сульфидных месторождений.

Наиболее контрастные биогеохимические ореолы на месторождении № 1 образует кадмий. Как видно на рис. 32, в листьях ивы козьей и осины дрожащей, являющихся безбарьерными биообъектами по отношению к кадмию, наблюдаются высокоинтенсивные ореолы кадмия с концентрациями 0,01—0,05 % ( без поправок на его потери при полевом озолении, равные для листьев ~ 50 %) при фоне ~  $1 \cdot 10^{-4}$  %, что меньше предела обнаружения применявшегося количественного спектрального анализа ( $2 \times 10^{-4}$  %). Таким образом, концентрации кадмия превышают местный фон в 100—500 раз. В то же время в фоновых биообъектах — 2—8-летних отрезках ветвей всех изученных видов древесных и кустарниковых растений (в также в древесине) — биогеохимические ореолы кадмия отсутствуют. В них этот элемент выявлен в единичных пробах, содержащих  $2-3 \cdot 10^{-4}$  %. Графики распределения кадмия в фоновых биообъектах (см. рис. 32) свидетельствуют об их неинформативности на месторождении № 1. Аналогичные данные о наличии высококонтрастных

Характеристики биогеохимических и литохимических ореолов колчеданно-полиметаллического месторождения № 1

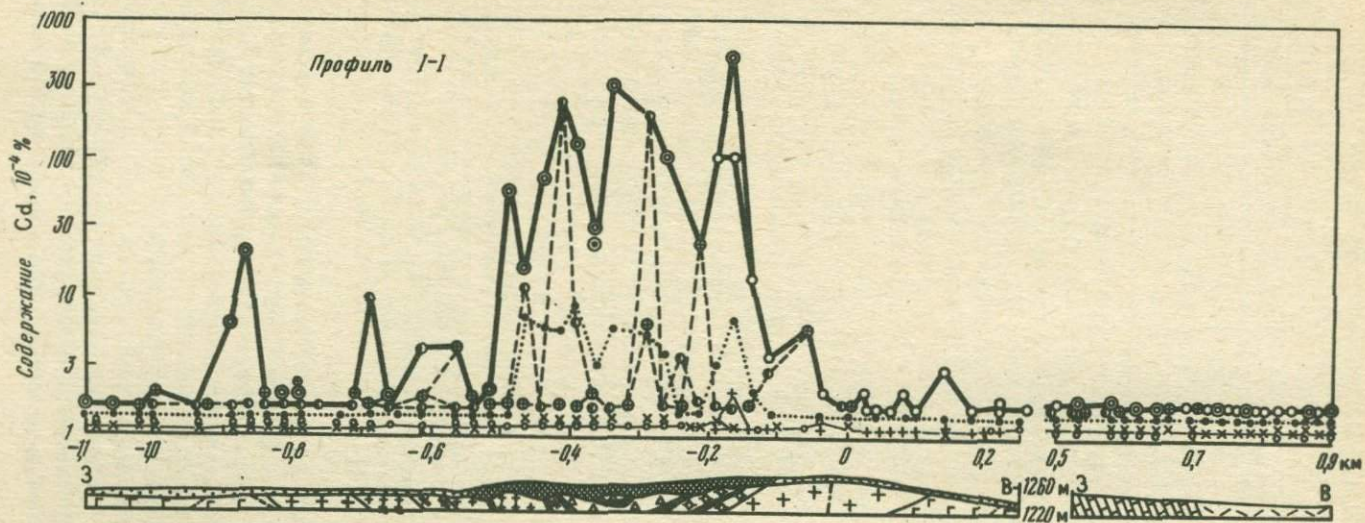
Элемент-индикатор	Биогеохимические ореолы				Литохимические ореолы**			$\frac{KK_{\text{Г}}/KK_{\text{П}}}{KK_{\text{Б}}/KK_{\text{Л}}}$
	номер био-объекта*	$C_{\text{Ф}}'$ $10^{-4} \%$	$C_{\text{М}}'$ $10^{-4} \%$	$KK_{\text{Б}} = C_{\text{М}} : C_{\text{А}}$	$C_{\text{Ф}}'$ $10^{-4} \%$	$C_{\text{М}}'$ $10^{-4} \%$	$KK_{\text{П}}/KK_{\text{Л}}$	
Cd	3,4	~1	500	500	~1	10	10	50
					~1	500	500	1,0
Pb	1,2	10	3000	300	0,0060	10000	170	1,7
					0,0050	100000	2000	0,15
As	1	~2	600	300	~3	300	100	3
					~5	10000	2000	0,1
Ag	5-7	0,6	60	100	0,1	17	170	0,6
					-	-	-	-
Tl	8	~1	50	50	~1	30	30	1,7
					~1	60	60	0,8
Hg	1,2	8	400	50	7	70	10	5
					-	-	-	-
Zn	1	3000	60000	20	60	3000	50	0,4
					80	400000	5000	0,004
Ba	9-11	6000	120000	20	800	2,0	25	0,8
					1000	5,0	50	0,4
Cu	2	80	100	1,2	50	300	6	0,2
					60	6000	100	0,012

\* Номера биообъектов: 1 – корка березы плосколистной; 2 – внешние слои корки лиственницы даурской; 3-4 – листья ивы козьей и осины дрожащей, 5-7 – корни березы, лиственницы и рододендрона даурского, 8 – листья багульника болотного, 9-11 – побеги и ветви березы, лиственницы и осины.

\*\* В числителе – почвенно-геохимические ореолы на горизонте ВС (0,3-0,6 м), в знаменателе – первичные литохимические ореолы в неизмененных горных породах.

биогеохимических ореолов в соответствующих безбарьерных биообъектах и об их отсутствии в фонобарьерных биообъектах были получены и для других, рассматриваемых ниже элементов-индикаторов. Из рис. 32 видно, что в биообъектах, разделяющихся на две группы особей с безбарьерным и барьерным накоплением кадмия, его ореол над рудным полем получается нестабильным – пилообразным.

Высококонтрастные биогеохимические ореолы свинца на месторождении № 1 (рис. 33) выявляются только по биообъектам, безбарьерным по отношению к этому элементу, в частности по хвое и корке лиственницы даурской и надземным частям брусники. В фонобарьерных видах и ча-



- |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 |    | 28 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

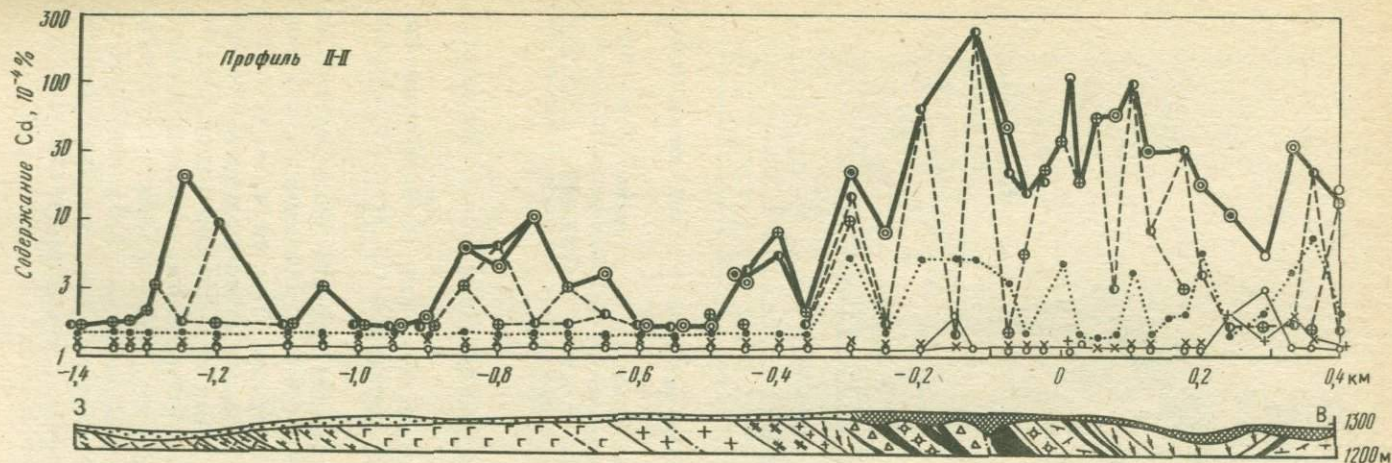


Рис. 32. Распределение кадмия в почвах и золе растений по профилям I-I и II-II (см. рис. 31) колчеданно-полиметаллического месторождения № 1

1 – рыхлые образования; 2-3 – гурвунурская толща; 2 – средний горизонт – известняки, известняковые брекчии, туффиты; 3 – верхний горизонт – агломератовые туфы, туффиты, известняки; 4-7 – озерная толща (4 – туфоловый горизонт – лавы и туфолавы андезито-дацитового порфирита с линзами и прослоями известняковых брекчий и оруденелых туффитов, 5 – туффитовый горизонт – известковистые туффиты и брекчии, туфогравелиты, 6 – первый продуктивный горизонт – известняки, известняковые брекчии и гравелиты, туффиты, туфы типа игнимбригов, 7 – кристаллотуфовый горизонт – известняки, известняковые брекчии, кристаллотуфы и лавы кислых эффузивов); 8 – автомагматические брекчии риолит-дацитовых порфиров; 9 – диабазовые порфириты; 10 – дацитовые порфиры; 11 – известняки; 12 – туфы, туффиты, фельзиты и кварцевые порфиры; 13 – тела колчеданных свинцово-цинковых руд и минерализованные зоны (а – разведанные, б – предполагаемые); 14 – сидеритовые руды; 15 – “железная шляпа” зоны окисления; 16 – разломы.

Содержание кадмия: 17 – в горизонте С почв (0,5–1,2 м); 18 – в безбарьерных биообъектах; 19 – в биообъектах с нестабильными барьерными характеристиками; 20 – в фонобарьерных, неинформативных биообъектах; 21–28 – биообъекты (21 – листья ивы, 22 – листья осины, 23 – корка лиственницы, 24 – корка березы, 25 – листья березы; 26 – ветви лиственницы; 27 – ветви березы, 28 – ветви осины)

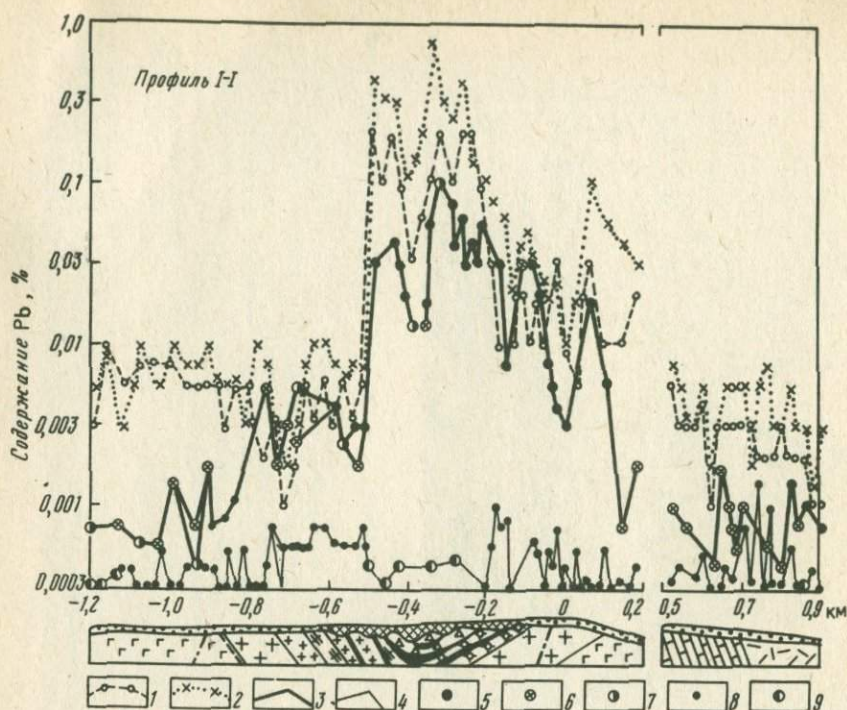


Рис. 33. Распределение свинца в почвах и золе растений по профилю 1 колчеданно-полиметаллического месторождения

Содержания свинца: 1 – в горизонте А почв (0–0,2 м); 2 – в горизонте С почв (0,5–1,2 м); 3–4 – в биообъектах (3 – безбарьерных, 4 – фонобарьерных); 5–9 – биообъекты (5 – хвоя лиственницы даурской, 6 – корка лиственницы, 7 – брусника, 8 – ветви березы плосколистной, 9 – ветви ивы козьей). Остальные условные обозначения см. рис. 32

ствах растений (ветвях березы плосколистной и ивы козьей) биогеохимические ореолы свинца отсутствуют.

Наиболее контрастные биогеохимические ореолы серебра установлены в корнях растений при отсутствии определенных содержаний этого элемента в листьях растений (рис. 34).

По данным анализов 1981 г. коллекции проб почв и зола растений месторождения № 1 (отобранных в 1965–1967 гг.) установлены высококонтрастные биогеохимические ореолы ртути. Как и на других ртутных и ртутьсодержащих месторождениях, наиболее интенсивные ореолы концентраций ртути в золе (до  $400 \cdot 10^{-6} \%$  при местном повышенном фоне  $5 \times 10^{-6} \%$ ) установлены в корке стволов березы плосколистной, внешних слоях корки и хвое лиственницы даурской, а также во мхах и лишайнике-ягеле, являющихся безбарьерными или практически безбарьерными по отношению к высоким концентрациям ртути. При этом в фонобарьерных видах и частях растений (ветвях и побегах березы, лиственницы, осины и

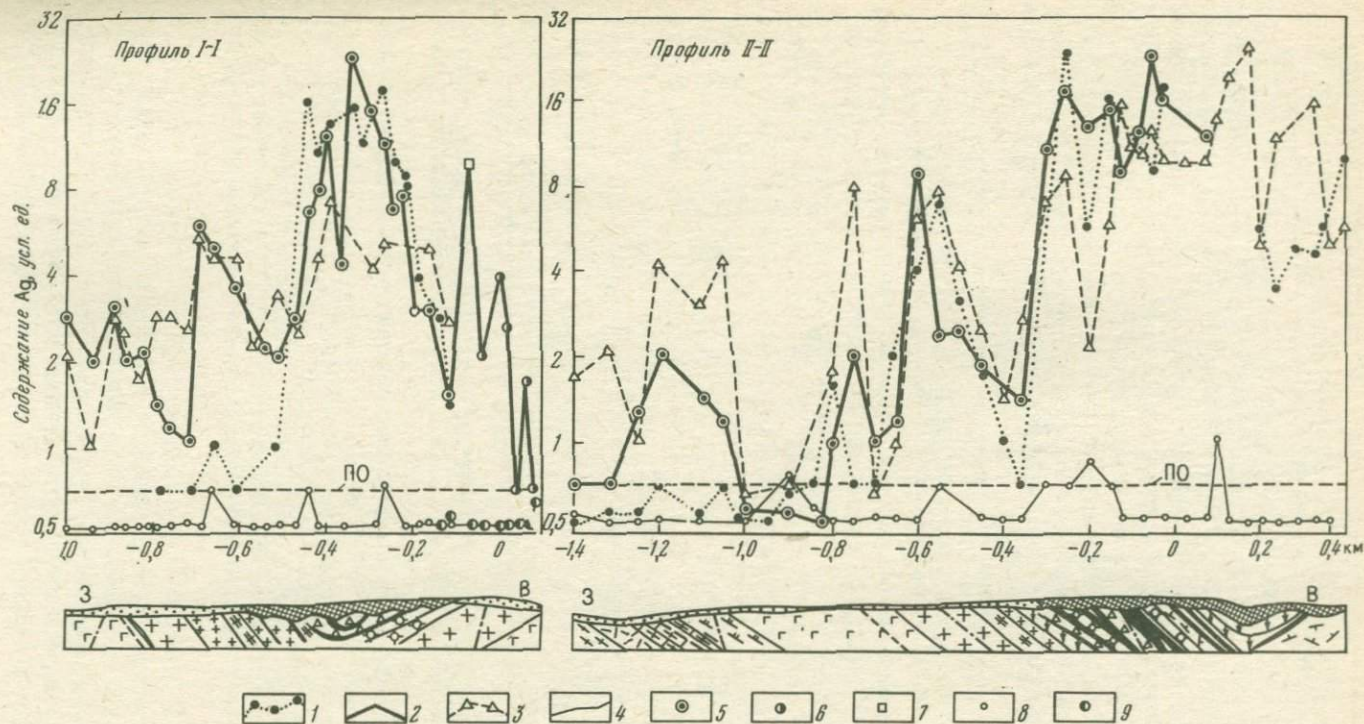


Рис. 34. Распределение серебра в почвах и золе растений по профилям колчеданно-металлического месторождения № 1  
 Содержание серебра: 1 – в почвенном горизонте С (0,5–1,2 м); 2–3 – в безбарьерных биообъектах: 2 – в корнях, 3 – в коре березы плосколистной; 4 – в фоноварьерных биообъектах; 5–7 – корни (5 – березы плосколистной, 6 – осины дрожащей, 7 – лиственницы даурской); 8 – луб березы; 9 – кора осины. ПО – предел обнаружения. Остальные условные обозначения см. рис. 32

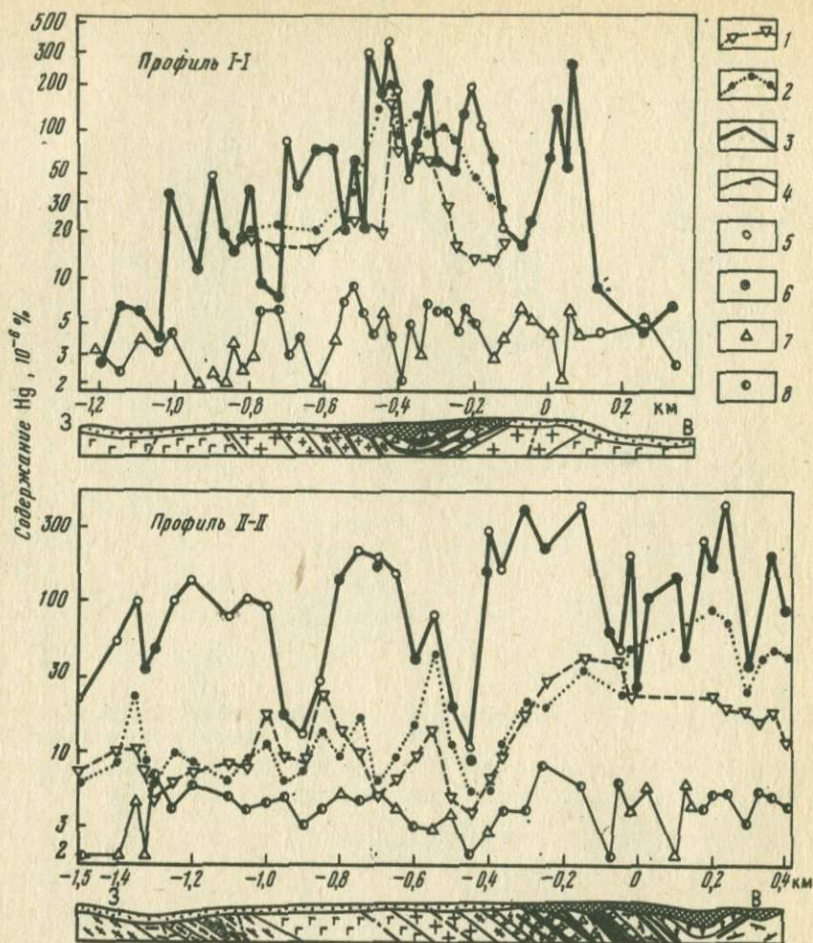


Рис. 35. Распределение ртути в почвах и золе растений по профилям колчеданно-полиметаллического месторождения № 1

Содержание ртути: 1 — в горизонте А почв (0–10 см); 2 — в горизонте С почв (0,5–1,2 м); 3–4 — в биообъектах (3 — безбарьерных, 4 — фонобарьерных); 5–8 — биообъекты (5 — корка березы плосколистной, 6 — внешние слои корки лиственницы даурской, 7 — ветви березы, лиственницы, осины дрожащей и рододендрона даурского, 8 — побеги березы, лиственницы и осины). Остальные условные обозначения см. рис. 32

ивы) ореолы ртути отсутствовали (рис. 35). Весьма вероятно, что наблюдаемые фоновые содержания ртути в золе растений здесь были завышены из-за длительного (примерно 15-летнего) совместного хранения проб с высокими и низкими содержаниями этого элемента, а максимальные — занижены. Поэтому можно предполагать, что истинная контрастность био-

геохимических ореолов ртути на месторождении № 1 больше величины, приведенной в табл. 25.

Биогеохимические ореолы мышьяка выявлены в единичных биообъектах месторождения № 1 из более 100 изученных видов и частей растений и их остатков. Наибольшие концентрации мышьяка, достигающие 0,2 %, установлены в золе зеленого мха и лишайника (оленьего мха-ягеля) и лесной подстилке лиственничного леса. Несколько меньшие содержания этого элемента (0,01–0,05 % при пределе обнаружения 0,006 %) часто встречаются в корке березы и весьма редко — в корке стволов лиственницы. Отсутствие мышьяка в большинстве других изученных биообъектов объясняется, по всей вероятности, барьерным накоплением этого токсичного элемента с предельными содержаниями менее 0,006 % — чувствительности обнаружения мышьяка эмиссионным спектральным анализом.

Еще более редкими являются биогеохимические ореолы таллия. Концентрации таллия в золе, превышающие предел его обнаружения (0,001 %) и достигающие 0,006 %, отмечены только в лишайнике, мхе, корке березы и лесной подстилке. Эти биообъекты могут быть отнесены к видам и частям растений, практически безбарьерным по отношению к таллию, так как ожидаемое фоновое содержание его приблизительно равно  $1 \cdot 10^{-4}$  %. Рассмотренные данные показывают, что высокоинформативные биогеохимические ореолы Cd, Pb, Ag, Hg, As, Tl на месторождении № 1 формируются в ограниченном числе биообъектов и легко могут быть пропущены при использовании фоновых видов и частей растений. Они значительно искажаются (сглаживаются) при опробовании малоинформативных, слабоконцентрирующих биообъектов.

По величине коэффициента контрастности биогеохимические ореолы в соответствующих безбарьерных биообъектах месторождения № 1 образуют следующий ряд (в скобках приведены максимальные величины их КК): Cd (> 500); Rb, As (300); Ag (~ 100); Hg, Tl (50); Zn (12). Этот ряд существенно отличается от расположения этих элементов в неизменных рудах: Zn (5000); Pb, As (2000); Ag, Cd (~ 500); Cu (100); Tl (60). Это объясняется значительным преобразованием вторичных литохимических ореолов в зоне гипергенеза по сравнению с их первичными ореолами и рудами. Наиболее характерной особенностью их является уменьшение содержания цинка в почвах по сравнению с неизменными рудами (в 100–500 раз) при значительно меньшем (в 10–30 раз) понижении содержания свинца, серебра, кадмия, ртути и таллия. В результате этих преобразований величина Zn/Pb в почвах равна 0,2–0,8, в то время как в рудах 4–6. Это необходимо учитывать при интерпретации биогеохимических ореолов, дающих информацию о концентрациях рудных элементов в почвах и зоне окисления рудных тел.

Как видно из табл. 25,  $КК_6$  ореолов Ag, Pb, As, Hg существенно превосходит  $КК_н$ , приближаясь к  $КК_д$  элювиальных ореолов, а для кадмия — к  $КК_д$  первичных ореолов. Сопоставление этих данных с ранее опубликованными говорит о значительном увеличении КК биогеохимических ореолов месторождения № 1 в безбарьерных видах и частях растений по сравнению с изученными ранее барьерными биообъектами.

Глубина горизонтов питания безбарьерных биообъектов  
Pb, Ag, As, Cd, Hg, Zn на месторождении № 1

Элемент-индикатор	Безбарьерные биообъекты	Глубина горизонта питания, м
Cd	Листья ивы козьей и корка березы плосколистной	Горизонт слабоокисленных руд, $\geq 5-10$
Pb	Корка лиственницы даурской и березы плосколистной	2-5
Ag	Корки лиственницы	1-3
Hg	Корка березы, корка и хвоя лиственницы	1-3
As	Корка березы	$\sim 1$
Zn	То же	$< 0,1$

На месторождении № 1 наиболее глубокое расположение горизонта питания соответствующих безбарьерных биообъектов установлено для кадмия (табл. 26). Оно приблизительно соответствует горизонту слабоокисленных руд, находящемуся на глубине 5–10 м и более. Для свинца, серебра и ртути горизонты питания безбарьерных биообъектов приурочиваются к элювию горных пород и руд на глубине 1–5 м, а для цинка имеют незначительную глубину ( $< 0,1$  м). Последнее объясняется тем, что здесь наблюдается неблагоприятное для биогеохимических поисков соотношение между доступностью цинка растениям на фоне за пределами рудных тел и над рудными телами в зоне окисления – “железной шляпе” (см. табл. 3).

В связи с маломощной зоной окисления над рудными телами месторождения № 2, биогеохимические, почвенно-геохимические и элювиальные литохимические ореолы здесь имеют ряд существенных отличий от ореолов месторождения № 1. Как видно из сопоставления табл. 25 и 27, спектры и контрастности элементов-индикаторов, образующих биогеохимические ореолы, на рассматриваемых колчеданно-полиметаллических месторождениях существенно различны. На месторождении № 2 характерно наличие биогеохимических ореолов W, Bi, Sn, Mo при отсутствии ореолов этих элементов редкометаллического комплекса на месторождении № 1. Кроме этого, на месторождении № 2 установлены высококонтрастные биогеохимические ореолы меди, отсутствовавшие на месторождении № 1, а также более контрастные ореолы цинка и менее контрастные биогеохимические ореолы Cd, Pb, Ag, As, Ba. Эти отличия обусловлены двумя факторами. Появление ореолов W, Bi, Sn, Mo объясняется разнотипностью рудной минерализации на этих месторождениях. Существенное изменение контрастностей биогеохимических ореолов элементов-индикаторов полиметаллической минерализации объясняется значительными различиями в формировании зон окисления и элювиальных литохимических ореолов на этих месторождениях. На месторождении № 1 развита древняя “железная

Характеристики биогеохимических и литогеохимических ореолов  
колчеданно-полиметаллического месторождения № 2

Элемент-индикатор	Биогеохимические ореолы				Литохимические ореолы**			$\frac{KK_O/KK_{II}}{KK_O/KK_L}$
	номер биообъекта*	$C_{\Phi}, 10^{-4} \%$	$C_{M'}, 10^{-4} \%$	$KK_O = C_M : C_{\Phi}$	$C_{\Phi}, 10^{-4} \%$	$C_{M'}, 10^{-4} \%$	$KK_{II}/KK_L$	
W	1; 2	~1	200	200	$\frac{\sim 1}{1}$	$\frac{20}{80}$	$\frac{20}{80}$	$\frac{10}{2,5}$
Bi	1; 2	~0,1	10	100	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{10}{200}$	$\frac{10}{0,5}$
As	1	~1	60	60	$\frac{\sim 1}{\sim 2}$	$\frac{100}{1500}$	$\frac{100}{750}$	$\frac{0,6}{0,08}$
Zn	1	2000	100000	50	$\frac{200}{300}$	$\frac{600}{50000}$	$\frac{30}{170}$	$\frac{1,7}{0,3}$
Cu	2	100	20000	200	$\frac{30}{50}$	$\frac{300}{10000}$	$\frac{10}{200}$	$\frac{20}{1,0}$
Hg	1; 2	0,02	0,8	40	$\frac{0,03}{0,02}$	$\frac{0,9}{0,20}$	$\frac{3}{10}$	$\frac{13}{4}$
Cd	1; 2	~1	30	30	$\frac{-}{1}$	$\frac{-}{\sim 10}$	$\frac{-}{10}$	$\frac{> 3}{3}$
Sn	2	3	100	30	$\frac{2}{2}$	$\frac{8}{20}$	$\frac{4}{10}$	$\frac{8}{3}$
Pb	1; 2	20	500	25	$\frac{30}{40}$	$\frac{500}{20000}$	$\frac{17}{500}$	$\frac{1,5}{0,2}$
Ag	1	0,5	10	20	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{10}{100}$	$\frac{2}{0,2}$
Mo	2	4	20	5	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{30}$	$\frac{3}{15}$	$\frac{1,7}{0,3}$
Va	1; 3	3000	10000	3	$\frac{600}{400}$	$\frac{2000}{2000}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{1,0}{0,6}$

\*Номера биообъектов: 1 – корка березы плосколистной; 2 – внешние слои корки листовницы даурской; 3 – корка осины дрожашей.

\*\* В числителе – почвенно-геохимические ореолы на горизонте BC (0,3–0,6 м), в знаменателе – первичные литохимические ореолы в неизмененных горных породах.

шляпа”, а на № 2 – современная маломощная зона окисления сульфатного типа. Вследствие этого на месторождении № 2 формируются высококонтрастные биогеохимические ореолы Cu и Zn. В связи со слабым окислением первичных минералов биогеохимические ореолы Cd, Pb, As, Ag на месторождении № 2 получились в 5–20 раз менее контрастными, чем на № 1.

Высококонтрастные биогеохимические ореолы T1 и Ba на месторождении № 1 при отсутствии ореолов T1 и наличии малоконтрастных ореолов Ba на месторождении № 2 объясняются более широким распространением первичных ореолов этих элементов на первом месторождении.

Сопоставление биогеохимических ореолов рассматриваемых месторождений свидетельствует о том, что биогеохимические исследования по безбарьерным биообъектам позволяют одновременно: 1) выявить и оконтурить месторождение, а при проведении детальных биогеохимических поисков — отдельные рудные тела; 2) получить данные о формационной принадлежности рудной минерализации по комплексу ореолообразующих элементов и их относительной контрастности; 3) получить информацию о стадиях развития зон окисления на выходах рудных тел полиметаллов. Для развитых зон окисления типа "железной шляпы" характерно наличие высококонтрастных биогеохимических ореолов Cd, Pb, Ag, As (КК 100—1000) и малоконтрастных — вплоть до отсутствия ореолов Cu и Zn. Для слабоокисленных выходов рудных тел полиметаллов характерно наличие высококонтрастных биогеохимических ореолов Cu и Zn (КК 30—300) и относительно малоконтрастных ореолов Pb, Ag, As (КК 10—60). Эти соотношения между относительной контрастностью биогеохимических ореолов основных элементов-индикаторов полиметаллов используются при интерпретации биогеохимических аномалий в Сибири. С необходимыми коррективами они могут быть использованы и в других регионах земного шара.

Эффективное применение биогеохимических поисков полиметаллических и других рудных месторождений в районах аридного климата СССР (Казахстан и Узбекистан) описано в ряде работ [1—3, 7, 39 и др.]. В этих районах широко распространены аллохтонные (эоловые, осадочные и др.) рыхлые отложения. При проведении опытно-методических работ в 1958—1970 гг. над полиметаллическими рудными телами, погребенными под аллохтонными отложениями мощностью 10—30 м, в различных видах почвы были отмечены интенсивные биогеохимические аномалии свинца, цинка и бария. На аномальных участках концентрации этих элементов в золе достигали 5,0 % при фоновых содержаниях свинца  $1-6 \cdot 10^{-3}$  %, цинка  $2-8 \cdot 10^{-2}$  % и бария  $2 \cdot 10^{-3}$  %.

Производственные биогеохимические поиски полиметаллических месторождений широко проводятся в Центральном Казахстане. Наиболее ценными для биогеохимического опробования здесь считают различные виды почвы, так как они широко распространены и имеют корневые системы, проникающие в рыхлый покров на глубину до 6 м, а в отличие от саксаула, корни которого достигают еще большей глубины (10 м и более), имеют высокие пределы поглощения рудных элементов [1, 3, 7]. По мнению авторов, проводивших биогеохимические поиски в Центральном Казахстане, применение этого метода эффективно и экономически целесообразно на площадях с аллохтонным рыхлым покровом мощностью от 1 до 20 м. В некоторых случаях заметные биогеохимические аномалии над рудными телами, залегающими в палеозойских породах фундамента, обнаруживались при мощности перекрывающих их мезо-кайнозойских отложе-

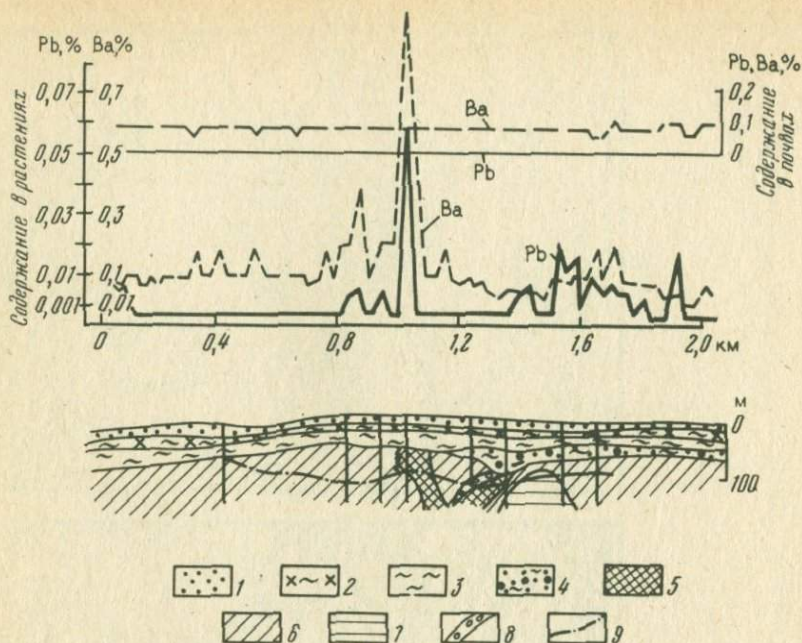


Рис. 36. Распределение свинца и бария в почвах и золе растений одного из участков свинцово-цинково-баритового месторождения

1 — эоловые пески  $Q_{3-4}$ ; 2 — карбонатизированные глины павлодарской свиты  $N_1^2 - N_2^{1pb}$ ; 3 — засоленные глины аральской свиты  $N_1^{1-2ar}$ ; 4 — глины акчийской свиты  $P_2^3 - P_3^{1ak}$ ; 5 — метасоматические тела барита с полиметаллическими рудами; 6 — кремнистые баритизированные породы верхнего фамена; 7 — углисто-кремнисто-карбонатные породы того же возраста; 8 — дайки; 9 — граница коры выветривания

ний до 60 м. Пример, иллюстрирующий выявление биогеохимической аномалии в Центральном Казахстане при мощности рыхлого покрова около 40 м, приведен на рис. 36. Комплексная биогеохимическая аномалия свинца и бария, а также цинка, данные по которому на рисунке не приведены, весьма локальна (выделяется только по одной точке наблюдения), но имеет высокую контрастность ( $KK_6$  60 и 8). Не исключено, что биогеохимической аномалией здесь были зафиксированы не собственно окисленные руды, а погребенный на глубине нескольких метров в неоген-палеогеновых осадочных образованиях сорбционно-солевой ореол элементов-индикаторов.

Интересные результаты биогеохимических поисков получены также в Южном Казахстане. На рис. 37 приведены данные биогеохимических и почвенно-геохимических поисков на одном из участков, закрытом рыхлыми образованиями переменной мощности, местами превышающей 5–10 м. Почвенно-геохимические поиски дали здесь разрозненные и мало контрастные аномалии свинца, а травянистые растения выявили площадные био-

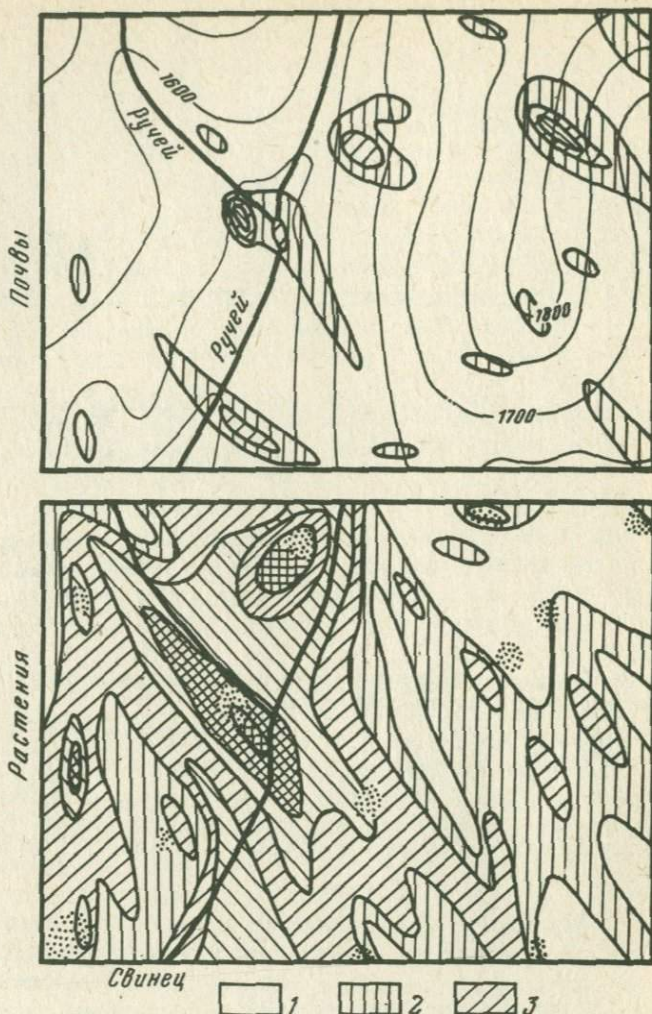
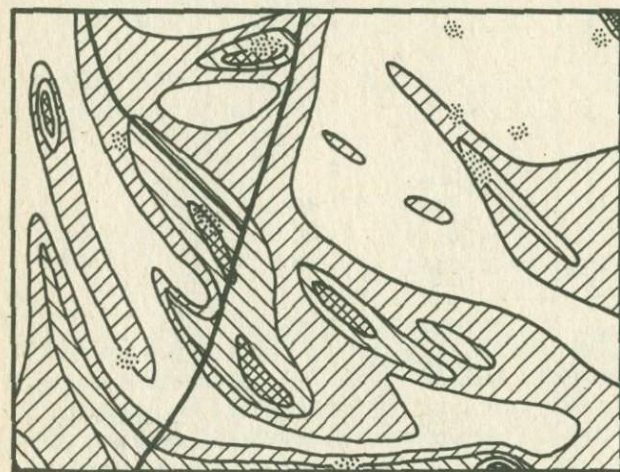
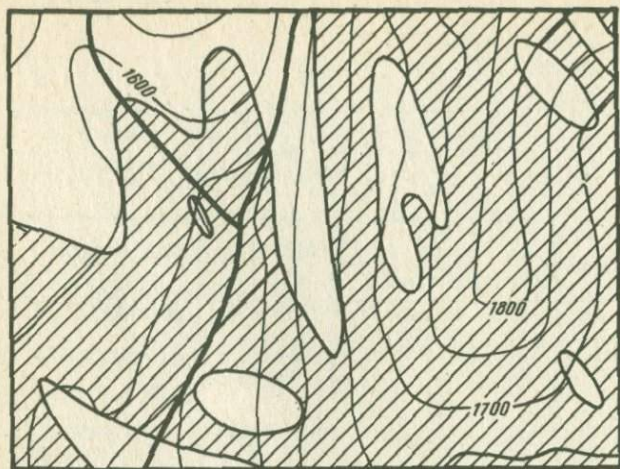


Рис. 37. Распределение свинца и цинка в почвах и растениях (по [39])

Содержание, %: 1 -  $< 0,01$  для Pb и  $< 0,02$  для Zn; 2 - 0,01-0,02 для Pb; 3-6 - распространения растений-индикаторов

геохимические аномалии значительной интенсивности. Цинковая аномалия в почвах также мало контрастна и расплывчата. Биогеохимические же аномалии цинка контрастны и расположены в виде узких протяженных зон северо-западного простирания. В Южном Казахстане с помощью биогеохимии на ранее изученных площадях выявлены перспективные рудопроявления полиметаллов и установлены интенсивные биогеохимические аномалии с концентрациями свинца и цинка в золе от 0,3 до 4,0% [1, 39].



для Pb и Zn (3 - 0,02-0,04, 4 - 0,04-0,07), 5 - 0,07-0,15, 6 - > 0,15); 7 - участки

Обобщенные результаты биогеохимических поисков полиметаллов приведены в табл. 28, из которой видно, что типичными максимальными концентрациями свинца в золе растений, произрастающих над рудными телами полиметаллических месторождений, являются 0,01-1,0 %, фоновыми - приблизительно  $3 \cdot 10^{-3}$  %. Биогеохимические и литохимические ореолы свинца имеют почти равные площади (0,1-1,0 км<sup>2</sup>). Линейная продуктивность их обычно превышает 3 м·% (до 300 м·%), а площадная

## Характеристики биогеохимических ореолов полиметаллических месторождений

Месторождение (район)	Биообъект	Элемент-индикатор	$\frac{C_m^*}{C_\Phi}$ , %	Ширина ореолов, м	Автор
№ 1 (Забайкалье)	Корка березы	Pb	$\frac{0,3}{0,001}$	400-600	Наши данные
	То же	Cd	$\frac{0,005}{\sim 0,0001}$	600-900	1967-1981 гг.
	"	Zn	$\frac{6}{0,3}$	100-300	
	"	Hg	$\frac{0,0004}{0,000008}$	600-900	
№ 2 (Забайкалье)	Корка лиственницы	Cu	$\frac{2,0}{0,01}$	20-120	Наши данные
	Корка березы	Zn	$\frac{10,0}{0,02}$	20-100	1977-1981 гг.
	То же	Pb	$\frac{0,05}{0,02}$	10-40	
	Корка лиственницы	Bi	$\frac{0,001}{0,00001}$	10-20	
	Корка осины	W	$\frac{0,02}{0,0001}$	10-20	
	Корка березы и лиственницы	Hg	$\frac{0,000080}{0,000005}$	20-200	
Ивановское (Забайкалье)	Береза (ветви)	Pb	$\frac{0,01-0,3}{0,002}$	110	Поликарпочкин и др.
Коксу (КазССР)	Мята, зверобой и др.	Pb	$\frac{0,1-4,0}{0,01}$	120	[39]
	То же	Zn	$\frac{0,2-4,0}{0,04}$	80	
Беркара (КазССР)	Разные	Pb	$\frac{0,03-0,06}{0,004}$	Нет данных	[2]
	"	Zn	$\frac{0,03-0,1}{0,014}$		
	"	Cu	$\frac{0,02-1,0}{0,008}$		
Учулак (УзССР)	Польнь	Pb	$\frac{0,02-0,08}{0,005}$	То же	Р.М. Таликов

Месторождение (район)	Биообъект	Элемент-индикатор	$\frac{C_M}{C_F} \cdot 100, \%$	Ширина ореолов, м	Автор
	Полынь	Zn	$\frac{0,02-0,10}{0,01}$		
Филизчайское (Кавказ)	Бук, граб (листья)	Pb	$\frac{0,006-0,03}{0,002}$	60-130	Ф.М. Бабаев
Вараза (Кавказ)	Бук, граб, дуб (листья)	Pb	$\frac{0,02-0,06}{0,01}$	Нет данных	[24]
Салливан (Канада)	Хвойные деревья (двухлетние ветви) То же	Pb	$\frac{0,03-0,11}{0,007}$	То же	Warren, e. a.
		Zn	$\frac{0,3-3,1}{0,1}$		
Блюбелл (Канада)	Деревья (двухлетние ветви) То же	Pb	$\frac{0,02-0,3}{0,007}$	То же	То же
		Zn	$\frac{0,2-3,1}{0,1}$		
Сильвермайн (Канада)	Ель (кора)	Pb	$\frac{0,02-0,14}{0,008}$	450	Fortescue, Hornbrook

$1000 \text{ м}^2 \cdot \%$  (до  $1 \cdot 10^5 \text{ м}^2 \cdot \%$ ). Наиболее контрастные биогеохимические ореолы установлены для свинца, кадмия, серебра и ртути в соответствующих безбарьерных биообъектах. На ртуть следует обратить особое внимание, так как за счет связи биогеохимических ореолов с газорудными глубинность ртутнобиогеохимических поисков полиметаллических и других ртутьсодержащих месторождений может достигать 500 м и более.

#### Глава 4. МЕТОДИКА БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Для большинства производственных геологических организаций биогеохимические поиски являются новым поисковым методом. Поэтому перед их проведением ответственные исполнители должны пройти обучение и стажировку на специальных курсах.

Конкретные методики проведения биогеохимических поисков рудных месторождений и других видов биогеохимических исследований могут быть весьма разнообразными. Они определяются геологическими задачами поисковых работ, условиями их проведения и имеющимися аналитическими возможностями. В зависимости от поставленных геологических за-

дач (выявление, оконтуривание и оценка перспективности рудных районов, полей, месторождений и отдельных рудных тел, а также изучение внутренней структуры рудных полей) изменяются масштабы поисковых работ и соответственно расстояния между поисковыми профилями и между точками наблюдения по профилю. Вид полезного ископаемого, являющегося объектом поисковых работ, и имеющиеся аналитические возможности определяют выбор комплекса элементов-индикаторов. В зависимости от типа растительного покрова изменяются виды и части растений, используемые при поисках.

В соответствии со стадиями и подстадиями геологоразведочных работ могут быть выделены следующие виды биогеохимических работ.

1. Внемасштабные, рекогносцировочные и мелкомасштабные (1 : 200000) поиски по гидросети или редкой сети профилей, проводимые в комплексе с региональной геологической съемкой совместно с лито- и гидрохимическими исследованиями. Они проводятся с целью получения рекогносцировочных данных о региональном биогеохимическом фоне и закономерностях его изменения, а также выявления крупных аномальных участков, соответствующих площадям потенциальных рудных районов, узлов и полей для проведения более детальных работ.

2. Среднемасштабные (1 : 50000 — 1 : 25000) биогеохимические поиски, являющиеся составной частью соответствующей подстадии геологической съемки с прогнозированием полезных ископаемых. Эти поиски в комплексе с геофизическими съемками и литохимическими (а в некоторых случаях атмосферическими) поисками следует рассматривать в качестве основного вида биогеохимических поисков. Они позволяют выявлять, оконтуривать и оценивать перспективные площади рудных полей и отдельных месторождений большинства видов полезных ископаемых, в том числе крупные рудоносные штокверки в закрытых и полужакрытых районах.

3. Биогеохимические поиски в масштабах 1 : 25000 — 1 : 5000, сопровождающие или опережающие подстадию общих геологических поисков и имеющие целью выявление и оконтуривание отдельных рудоносных зон, штокверков и крупных рудных тел.

4. Детальные биогеохимические поиски в масштабах 1 : 5000 — 1 : 1000. Эти поиски должны являться составной частью комплекса геолого-геофизических исследований подстадии поисково-оценочных работ. Возможность разработки методик детальных биогеохимических поисков установлена в настоящее время для Mo, Pb, Au и Be при наличии их в рудах и элювиальных литохимических ореолах в доступных растениях минеральных формах и маломощном рыхлом покрове, не превышающем глубины проникновения корневых систем (1—10 м).

Биогеохимические работы являются частью комплекса организационных, а также геологических и геофизических работ, освещение которых в настоящей монографии нецелесообразно. Поэтому ряд организационных и технических вопросов (проектирование, организация, отчетность и т. п.), проводимых в соответствии с действующими инструкциями и методическими руководствами, здесь не рассматриваются.

При использовании биогеохимических поисков рудных месторождений следует выделять два этапа: 1) проведение опытно-методических и опытно-производственных работ, а также детальных поисков на особо перспективных полужакрытых и закрытых участках, выявленных другими методами; 2) практическое использование этих методов на всех закрытых и полужакрытых площадях на основании районирования территорий по эффективности отдельных поисковых методов и результатов работ первого этапа.

На первом этапе опытно-методические работы должны проводиться на хорошо изученных открытых и полужакрытых промышленных рудных телах и месторождениях, а также на их предполагаемом продолжении под экранирующим покровом рыхлых образований. Основными целями работ этого этапа должны быть освоение методики и техники биогеохимических исследований, обучение персонала, проверка и уточнение известных методических и технических рекомендаций, приобретение первоначального опыта и получение собственных фактических данных о геологической эффективности, возможностях и глубинности, а также о количественных параметрах, необходимых для интерпретации биогеохимических и литобиогеохимических данных.

На втором этапе необходимо составление карт условий ведения поисковых работ и применимости различных геохимических методов поисков, включая биогеохимические. Такие карты на ландшафтно-геохимической основе составлены для территории деятельности многих производственных геологических объединений СССР [1, 3, 7, 10, 22, 24, 27, 29—31, 34]. Однако площади целесообразного применения биогеохимических методов на таких картах обычно не выделяются. Этот недостаток можно легко устранить, используя результаты опытно-методических работ первого этапа, а также сведения о типах и мощностях рыхлых образований и растительном покрове района поисковых работ.

При отсутствии опыта биогеохимических работ следует иметь в виду, что основным преимуществом биогеохимических поисков по сравнению с широко применяемыми почвенно-геохимическими является глубинность, а перед глубинными литохимическими поисками с использованием скважин — экономичность и экспрессность, хотя и меньшая информативность в связи с частой неоднозначной интерпретацией получаемых данных.

К важным достоинствам биогеохимических поисков следует отнести также их высокую чувствительность. Она обусловлена двумя одновременно действующими факторами: 1) отражением в биогеохимических ореолах малоизученных первичных и вторичных литохимических ореолов подвижных форм изучаемых элементов-индикаторов, образующих широкие околорудные "ореолы пропаривания" в зонах гидротермально-измененных горных пород, а в некоторых случаях — отражением первичных и вторичных гидро- и атомохимических ореолов; 2) концентрирующей способностью растений (РПК 3—300), делающей возможным выявление биогеохимических ореолов довольно большой группы рудных элементов (Ag,

Zn, Cd, Tl, As, Sb, Bi, Sn, W, Sr и иногда Li, Ge, F и др.), не определяемых в слабых, а иногда и в интенсивных, ореолах почв и горных пород эмиссионным спектральным анализом из-за недостаточного предела обнаружения. В связи с этими малоизученными и поэтому малоизвестными факторами в пределах рудных полей и месторождений число элементов, образующих статистически достоверные аномалии, в биогеохимических ореолах получается в 1,3–2 раза больше, чем в первичных и вторичных литохимических ореолах. Контрастность биогеохимических ореолов обычно превышает соответствующий показатель ослабленных почвенно-геохимических ореолов для большинства элементов-индикаторов в 2–10 раз при превышении контрастности для некоторых из них в экстремальных условиях (например, Ag, Au, Zn, Cd, Hg, Tl, As, Sb, Bi, V, F) в 10–100 раз и более.

Исходя из многолетнего опыта применение биогеохимических поисков рудных месторождений по безбарьерным биообъектам целесообразно при наличии в изучаемом районе погребенных, скрытых, скрытопогребенных, выщелоченных и погребенно-выщелоченных выходов рудных тел и месторождений, рыхлый покров которых не препятствует формированию биогеохимических ореолов (рис. 38). Экранирующие аллохтонные и склоновые рыхлые образования обычно имеют повсеместное сплошное или мозаичное распространение. Поэтому применение биогеохимических поисков в сочетании с почвенно-геохимическими целесообразно практически во всех природных ландшафтах с растительным покровом, включая средне- и низкогорные, в которых до недавнего времени их применение считалось нецелесообразным [11].

В зависимости от сплошного или мозаичного распространения покровных образований следует различать два варианта применения биогеохимического метода: 1) сплошное, обычно попланшетное опосредованное перспективных территорий, закрытых маломощным покровом рыхлых осадочных и других аллохтонных образований, длительное время применяющееся в Центральном Казахстане [1, 3, 7], а в последние годы в Бурятии, Якутии и Узбекистане [10, 11, 26, 32 и др.]; 2) проведение комплексных литобиогеохимических поисков, при которых на открытых участках поискового профиля отбираются литохимические, а на закрытых – биогеохимические пробы (на двух-четырёх точках наблюдения участков профиля при переходе с одного вида опробования на другой). В первом варианте биогеохимические поиски становятся ведущим прямым методом, выявляемые аномалии которого проверяются глубинными литохимическими методами, а во втором – органической составляющей частью комплексно-литобиогеохимического метода.

При составлении карт применимости комплексных литобиогеохимических поисков, включающих одновременно биогеохимические и почвенно-геохимические, для территорий со сплошным растительным покровом с известной глубиной этих методов могут быть рекомендованы четыре категории: I – открытые площади с выходами коренных горных пород и элювиальных почв, где целесообразно проведение литохимических поисков по первичным и почвенно-геохимическим ореолам с их количественной интерпретацией; II – неглубокопогребенные и полуоткрытые площа-

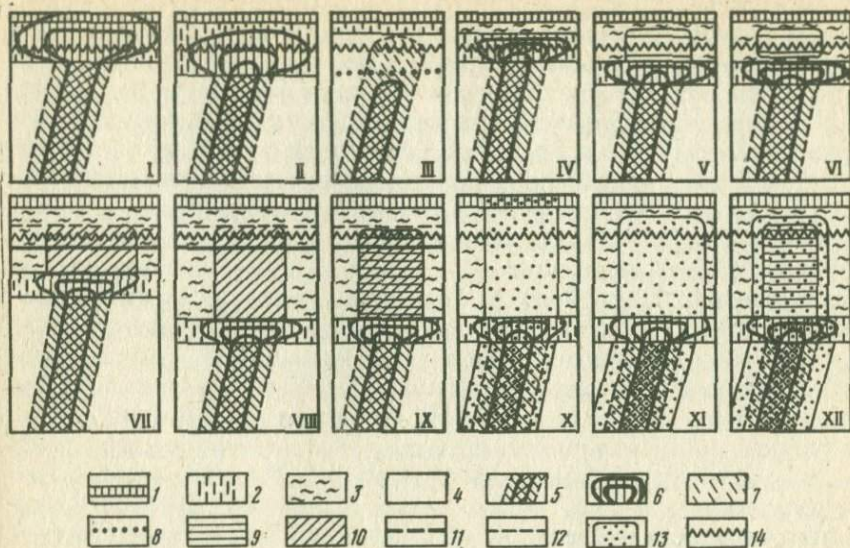


Рис. 38. Типы лито-, гидро- и атмохимических ореолов рудных тел при контакте с корневыми системами растений целесообразно проведение биогеохимических поисков

I – ослабленный элювиальный; II – выщелоченный с поверхности элювиальный; III – выщелоченный первичный; IV–VI – неглубокопогребенные (IV – элювиальный, V – сорбционно-солевой, VI – наложенный сорбционно-солевой); VII–IX – погребенные гидрохимические (VII – в маломощном верхнем водоносном горизонте, VIII – в мощном верхнем водоносном горизонте, IX – сопровождаемый сорбционно-солевым); X–XII – атмохимические (X – открытый, XI – неглубокопогребенный, XII – неглубокопогребенный, сопровождаемый сорбционно-атмохимическим).  
 1 – почва; 2 – элювий; 3 – аллохтонные образования; 4 – коренные горные породы, вмещающие рудные тела; 5 – рудное тело и его первичный литохимический ореол; 6 – элювиальный ореол; 7 – выщелоченный первичный ореол; 8 – нижняя граница коры выветривания и зоны выщелачивания; 9 – сорбционно-солевой и сорбционно-атмохимический ореолы; 10 – гидрохимический ореол; 11 – уровень воды верхнего водоносного горизонта; 12 – уровень его капиллярной каймы; 13 – атмохимический ореол; 14 – горизонт проникновения корневых систем растений

ди с маломощным рыхлым покровом, не препятствующим формированию количественно-информативных рудных биогеохимических ореолов, где почвенно-геохимические ореолы отсутствуют или значительно ослаблены и имеют только качественную поисковую информативность; III – закрытые площади, на которых элювиальные литохимические ореолы отсутствуют, а биогеохимические являются качественно-информативными, так как формируются за счет открытых или погребенных сорбционно-солевых литохимических, гидро- и атмохимических рудных ореолов; IV – площади, закрытые мощным рыхлым покровом, при котором рудные биогеохимические ореолы на известных месторождениях и рудопроявлениях отсутствуют. Эта категория площадей требует применения более глубоких

методов, чем биогеохимические поиски, как правило, с использованием скважин и шпуров глубиной 10–100 м и более.

При учете возможности количественной интерпретации геохимических ореолов главными критериями разделения площадей на категории являются мощность и тип рыхлого покрова. Например, по данным, приведенным на рис. 20, в районе молибденового месторождения к площади I категории следует отнести только открытые водоразделы с абсолютными отметками более 1300 м, имеющие выходы коренных горных пород или покров золотых отложений мощностью  $< 0,3$  м; к II категории площади с золотым покровом от 0,3 до 10 м (при опробовании шишек сосны обыкновенной) и от 0,3 до 16 м (при опробовании нижних частей стеблей рододендрона даурского или стеблей таволги); к III категории — площади с мощностью золотого или золото-делювиального рыхлого покрова 10–14 м при опробовании шишек сосны и 16–22 м при опробовании рододендрона или таволги, а к IV категории — площади с мощностями золотого покрова  $> 14$  м (при опробовании шишек сосны) и  $> 22$  м (при опробовании рододендрона или таволги). В связи с этим определения мощности и типа рыхлого покрова, а также глубинности почвенно-геохимических, биогеохимических и других геохимических методов должны являться обязательной составной частью геологосъемочных и геологопоисковых работ. Весьма информативными при определении глубинности различных геохимических методов и их вариантов являются зависимости относительной интенсивности рудных ореолов от мощности покровных образований, пример которых приведен на рис. 20.

При использовании ртутнобиогеохимического метода для поисков разнообразных рудных месторождений вопрос о разделении площадей по применимости различных геохимических поисков требует особого рассмотрения. Это связано с тем, что ртутнобиогеохимические ореолы могут образовываться за счет газортутных и наложенных газортутных ореолов и иметь в связи с этим глубинность порядка 200–500 м и более. Возможность широкого применения этого вида поисков установлена в последнее время и опыт их проведения в производственных условиях весьма незначителен.

При составлении карт применимости биогеохимических и почвенно-геохимических поисков полезных ископаемых с полностью выщелоченными на определенную глубину (обычно до 10 м) выходами рудных тел (например, водорастворимых боратов, криолита, некоторых месторождений меди и урана) следует иметь в виду непригодность для их обнаружения литохимических поисков по первичным и вторичным ореолам даже при наличии выходов коренных горных пород или их щебнистого элювия, подвергшихся интенсивному химическому выветриванию. Поэтому карты применимости биогеохимических и почвенно-геохимических поисков должны составляться для двух типов полезных ископаемых: образующих и не образующих полностью выщелоченные литохимические ореолы вблизи дневной поверхности.

Применение биогеохимических поисков целесообразно в следующих условиях и ландшафтах:

— широкого развития мощных современных или древних кор вывет-

ривания с полностью выщелоченными на 1—10 м первичными и вторичными литохимическими ореолами, характерными для руд, представленных водорастворимыми минералами;

— значительно (в 3—10 раз и более) ослабленных вторичных литохимических ореолов вследствие выщелачивания или разубоживания безрудным материалом при движении рыхлых масс на склонах;

— неглубокопогребенных первичных и вторичных литохимических, а также гидро- и атмохимических рудных ореолов при наличии разнообразного (осадочного, аллювиального, эолового, моренного, склонового и т.д.) покрова, не препятствующего формированию биогеохимических ореолов в безбарьерных биообъектах;

— при значительно большей трудоемкости и стоимости отбора литохимических проб по сравнению с биогеохимическими в условиях приблизительно одинаковой информативности поисковых данных, например, на болотах и заболоченных площадях и во влажных тропических лесах;

— в осенне-зимне-весенний период промерзания почв, когда отбор почвенно-геохимических проб более трудоемок, чем биогеохимических, при приблизительно одинаковой информативности поисковых данных.

Относительно сложные и малоосвоенные биогеохимические методы не следует применять при поисках рудных месторождений в высокогорно-гольцовых районах с хорошей обнаженностью и практическим отсутствием растительного покрова. Они нецелесообразны также в районах с растительным покровом при поисках большинства видов твердых полезных ископаемых, имеющих открытые первичные, а также обогащенные, невыщелоченные или слабовыщелоченные почвенно-геохимические ореолы; при отсутствии биообъектов, информативных по отношению к основным элементам-индикаторам руд, являющихся объектами поисковых работ; при поисках руд, элементы-индикаторы которых входят в состав труднорастворимых крупных кристаллов, зерен или массивных агрегатов и недоступны корням растений, и на площадях IV категории с рыхлым покровом более 100—300 м, где биогеохимические ореолы над известными рудными телами и месторождениями не выявляются из-за отсутствия контакта между корневыми системами растений и их лито-, гидро- и атмохимическими ореолами.

После выбора площадей на основании анализа картографического материала целесообразно проведение рекогносцировочного обследования территории, ознакомления с условиями ведения биогеохимических поисков на местности и предварительного выбора основных видов и частей растений, пригодных для систематических исследований при поисках.

## МАСШТАБЫ И ПОИСКОВЫЕ СЕТИ

Биогеохимические поиски рудных месторождений могут проводиться внemasштабно — по отдельным редким профилям, а также путем систематического опoискования площадей в масштабах от 1 : 200000 до 1 : 1000. Расстояния между поисковыми профилями определяются масштабом поисков, а между точками опробования по профилю — ожидаемыми размерами выходов рудных тел и их остаточных элювиальных ореолов. В целом

## Рекомендуемые поисковые сети при биогеохимических поисках

Масштаб	Интервалы, м		Число точек отбора проб на 1 км <sup>2</sup> площади
	между профилями	между точками опробования	
1 : 200000	2000	100–500	1–5
1 : 100000	1000	50–200	5–20
1 : 50000	500	20–100	20–100
1 : 25000	250	10–50	80–400
1 : 10000	100	10–20	500–1000
1 : 5000	50	5–20	1000–5000
1 : 2000	20	2–20	2500–25000
1 : 1000	10	2–10	10000–50000

сети точек биогеохимического опробования близки к рекомендуемым действующей инструкцией по геохимическим поискам [11] и характеризуются меньшим шагом опробования по профилям в связи с локальностью рудных биогеохимических ореолов (табл. 29).

Масштабы и виды биогеохимических съемок определяются типами и масштабами рудной минерализации, являющейся объектом поисковых работ, а также степенью геологической изученности территорий. Они должны приблизительно соответствовать масштабу одновременно проводимых геологосъемочных и поисковых работ и быть несколько крупнее масштаба детальных поисковых и геологоразведочных работ. Следует иметь в виду, что масштабы биогеохимических поисков крупных рудоносных штокверков (молибдена, вольфрама, меди и т.д.) могут изменяться от 1 : 50000 до 1 : 10000. При поисках месторождений и рудных тел жильного типа (золота, серебра, бериллия, ртути, бора, олова, вольфрама, флюорита, кобальта и т.д.) целесообразны масштабы поисков 1 : 25000 – 1 : 5000. При использовании биогеохимии для глубинной оценки перспективных лито-, гидро- и атмосферических, а также геофизических аномалий целесообразно проведение профильных и площадных биогеохимических детальных съемок в масштабах 1 : 10000 – 1 : 1000.

#### ОТБОР ПРОБ РАСТЕНИЙ

Биогеохимическая проба характеризует определенный объем почвы и почвообразующей горной породы, пронизанной корневой системой опробуемой особи древесного растения или совокупности особей травянистых или кустарниковых растений, отбираемых на определенной площади. В зависимости от соотношения между формой, площадью и шагом отбора индивидуальной пробы, отбираемой из одной или нескольких особей растений, выделяют четыре варианта биогеохимического опробования: 1) точечный, 2) пунктирный, 3) сплошной на поисковых профилях и 4) сплош-

ной на площади опоискования. До настоящего времени основным является точечное опробование, при котором проба характеризует участок приблизительно изометричной формы диаметром до 20 м, площадью порядка 10–300 м<sup>2</sup> и объемом 10–3000 м<sup>3</sup> при глубине корней от 1 до 10 м.

*Точечное биогеохимическое опробование* осуществляется путем отбора выбранного биообъекта из одной особи древесного, кустарникового или травянистого растения. При недостаточном для анализа объеме пробы опробуется несколько близко расположенных особей кустарниковых или травянистых растений, т.е. собирается сборная проба определенного вида и части растения. Размер площади отбора точечной пробы может изменяться в значительных пределах в зависимости от решаемых геологических задач. Форма этой площади может быть овальной, с длинной осью, ориентированной поперек профиля, или округлой. Это опробование с минимально возможной площадью производится с целью наиболее точной локализации местоположения маломощных рудных тел. Имеющиеся данные (см. табл. 17) свидетельствуют о том, что максимальная локализация биогеохимической информации для древесных растений не превышает 10 м, а для кустарниковых и травянистых равна 1–2 м.

*Пунктирное биогеохимическое опробование профилей* заключается в отборе сборных проб выбранного биообъекта из нескольких близко расположенных особей вдоль определенного интервала профиля, обеспечивающего получение сплошной усредненной информации на опробуемом интервале, чередуящемся с неопробуемыми интервалами профиля. Это опробование сходно с проходкой пунктирных канав на поисковых профилях.

*Сплошное опробование профилей* производится путем отбора объединенных проб, состоящих из нескольких частных проб биообъекта, выбранного для опробования, на определенном интервале профиля с отклонением от него до нескольких метров.

*Сплошное опробование площадей* может быть легко осуществлено при детальном биогеохимическом поиске, с целью выявления и оконтуривания всех рудных тел и рудоносных зон. Для этого производится отбор сборных проб наиболее информативных биологических объектов, с прикасающихся или даже перекрывающихся площадок. На каждой из таких площадок необходимо отбирать 5–50 равномерно расположенных частных проб, объединяемых в сборную пробу. Практически сплошное опробование площади достигается при биогеохимической съемке в масштабе 1 : 1000 по сети 10 × 10 м или 10 × 5 м с отбором проб отдельных частей особей древесных растений, имеющих корневую систему диаметром ≥ 10 м. При равномерном отборе сборных проб из нескольких особей деревьев, а также травянистых или кустарниковых растений на площадках размером 20 × 20 м возможно сплошное опоискование площади при биогеохимической съемке в масштабе 1 : 2000.

В связи с тем что сплошное опоискование профилей является более надежным, чем точечное или пунктирное, при которых могут быть пропущены локальные рудные тела и рудоносные зоны, представляющие практический интерес, этому виду опробования профилей при поисках в масшта-

бах 1:25000—1:10000 и особенно при детальных поисках в масштабах 1:5000—1:2000 следует отдавать предпочтение. При решении задачи наиболее точного оконтуривания маломощных рудных тел и получения биогеохимических данных для количественной оценки продуктивности их выходов под маломощный рыхлый покров следует применять точечный отбор проб растений. Возможность получения биогеохимических данных с избранной степенью детальности или усреднения по профилям и на площади при незначительной разнице в стоимости различных вариантов опробования является одним из преимуществ биогеохимического опробования по сравнению с литохимическим.

Для систематических биогеохимических исследований при поисках рудных месторождений должны использоваться, как правило, количественно-информативные части многолетних растений, безбарьерных или практически безбарьерных по отношению к основным элементам-индикаторам рудной минерализации. В крайних случаях, при отсутствии таких биообъектов, могут использоваться барьерные, слабо концентрирующие биообъекты, дающие качественную поисковую информацию. Использование для поисков неинформативных, фоновых видов и частей растений является бесполезным и представляет собой биогеохимические псевдопоиски. Во всех случаях исполнители биогеохимических работ должны иметь сведения об информативности биообъектов широко распространенных видов растений, подобные приведенным в табл. 22. Это обеспечивает установление минимального числа биогеохимических проб для получения количественно-информативных данных о необходимом комплексе элементов-индикаторов, а также видов анализов.

Для обеспечения наибольшей глубинности опробования территорий необходимо использовать виды растений с глубокопроникающими корневыми системами. При их выборе необходимо группировать широко распространенные виды растений района работ по глубине проникновения корневых систем [14, 15, 17]. При этом следует иметь в виду, что корни многолетних травянистых растений, как правило, проникают на ту же глубину, что и древесные и кустарниковые, а листовые древесные и кустарниковые растения обычно имеют более глубокие корни, чем произрастающие совместно с ними хвойные.

При отсутствии в точке наблюдения особой растений, избранных для систематического опробования, биогеохимические пробы могут отбираться со смещением в обе стороны от профиля или поискового маршрута на расстоянии до одной трети или половины расстояния между профилями и на расстоянии до одной трети или половины расстояния между точками наблюдения по профилю. При этих смещениях число точек наблюдения на  $1 \text{ км}^2$  должно соответствовать выбранному масштабу поисков.

Опыт показывает, что для получения наиболее ценной количественной биогеохимической информации о комплексе элементов-индикаторов на точке наблюдения иногда целесообразно отбирать не одну, а две-три пробы различных биообъектов, каждый из которых дает количественную поисковую информацию об одном элементе-индикаторе или об их определенном комплексе.

При опробовании культурных растений и любых растений в зоне влияния выбросов промышленных предприятий, особенно перерабатывающих полезное ископаемое, являющееся объектом поисковых работ, необходимо учитывать возможное наличие помех от запыления поверхности растений, а также от интенсивного поглощения надземными частями растений газообразных веществ, содержащих определяемые элементы-индикаторы, от внесения удобрений и опрыскивания растений инсектицидами, дефолиантами и т.п. Во многих случаях искажающее влияние этих загрязнений незначительно и может быть исключено или уменьшено опробованием частей растений, не испытывающих загрязнения. Так, например, загрязнение внешних слоев корки стволов деревьев пылью разнообразного происхождения может быть исключено опробованием ее средних или внутренних слоев без живых тканей луба. По нашему опыту, видимое на глаз загрязнение внешних слоев корки деревьев и опробковевших шишек с лесного полога пылью и песком золового происхождения не оказывает заметного влияния даже на фоновые содержания большинства элементов-индикаторов. Это объясняется тем, что содержание их в золе растений обычно больше, чем в золовой пыли, основным компонентом которой является кварц.

Для внешних слоев корки стволов деревьев статистически достоверной зависимости содержаний изученных элементов-индикаторов от высоты, ориентировки относительно сторон света и времени отбора проб в течение года или нескольких лет не наблюдалось. Однако было установлено значительное изменение содержания элементов-индикаторов в различных слоях корки, особенно во внутренних слоях и в лубе с камбием — живой ткани ствола. Отмечена существенная разница в содержании многих элементов в гладкой, белой корке стволов березы и в ее черных "бородавках" и пятнах (см. рис. 12), т.е. в видимых на глаз неоднородных частях корки. Подобные неоднородности проб корки стволов деревьев должны исключаться с помощью максимальной стандартизации опробуемого материала или количественной документации наблюдаемых неоднородностей при отборе проб.

Пробы толстой ( $> 1$  см) корки стволов деревьев необходимо измельчать до 5 мм, что ускоряет дальнейшие операции подготовки проб к анализам, в том числе их озоление. Это осуществляется стесыванием легким топориком необходимого слоя корки тонкими (2–5 мм) слоями или использованием специальных пробоотборников. При необходимости отбора проб корки с частицами, не превышающими заданную величину (порядка 0,5–2 мм), измельчение и отсеивание заданной фракции целесообразно производить непосредственно на точке наблюдения. Легко отделяемая от луба тонкая корка некоторых видов (например, береста березы и корка рябины) отбирается в пробу целиком, без разделения на слои.

Опробование травянистых растений проводится, как правило, путем отбора всей надземной массы выше 5–20 см от поверхности почвы для исключения загрязнения проб минеральными частицами. Данные последних лет показывают, что во многих случаях предпочтительнее опробовать не живые (зеленые) части многолетних травянистых растений, а их сухие прошлогодние остатки и при этом — нижние части стеблей, а не всю над-

земную биомассу. Как отмечалось выше, наиболее информативными частями травянистых злаковых растений являются нижние узлы стеблей (см. рис. 11 и 15). При применении методов анализа проб малых навесок (1–10 мг), например лазерного спектрального анализа, вполне реально использовать локальные части травянистых растений, наиболее информативных по отношению к основным элементам-индикаторам или к их комплексу. Выявление их — одна из задач дальнейших научно-исследовательских работ.

В тех случаях, когда на исследуемой площади наблюдается смена растительных ассоциаций (например, перемежаемость участков, занятых лесом, степями, лугами, болотами, пашнями и т.д.), опробуют несколько разнородных биообъектов, безбарьерных по отношению к основным элементам-индикаторам. Выбор их производится с помощью таблиц группировки видов и частей растений по поисковой информативности на отдельные элементы-индикаторы (см. табл. 5, 8, 13 и 15). Для многих других элементов подобные таблицы опубликованы в работах [14, 15, 17, 18]. При отсутствии информации о поисковых характеристиках различных частей широко распространенных растений она должна быть получена с помощью специальных опытно-методических исследований на известных месторождениях и рудопроявлениях района поисковых работ.

Наиболее благоприятным временем отбора надземных частей травянистых растений является осенний и осенне-зимний период после окончания вегетации и созревания семян. В это время содержание элементов-индикаторов в них стабильно, а однолетние растения имеют наибольшую глубину корневых систем. Благодаря наибольшей глубине корневых систем и безбарьерному накоплению некоторых элементов-индикаторов в конце вегетации биогеохимические ореолы и аномалии Cu, Zn, Pb, Mo, U и др. при осеннем и зимнем опробовании надземных частей травянистых растений часто получаются контрастнее, чем при весеннем и летнем. Результаты, аналогичные осеннему и зимнему опробованию надземных частей травянистых растений, могут быть получены при весеннем или летнем опробовании их сухих прошлогодних остатков. При этом недопустимо смешение последних с зелеными частями растений, так как содержание многих элементов-индикаторов в них значительно отличается (в 2–5 раз и более). Надземные части травянистых растений отбирают вручную или с помощью садовых ножниц.

Кроме периодических изменений содержаний элементов-индикаторов, связанных с фазами вегетации растений, установлены аperiodические кратковременные (2–5-дневные) изменения содержаний некоторых элементов-индикаторов в золе и особенно в неозоленных пробах зеленых частей растений. Они связаны с выщелачиванием химических элементов из надземных частей растений атмосферными осадками, особенно интенсивными, ливневыми дождями, а также с появлением в корнеобитаемой зоне их водорастворимых форм в увлажненной почве и рыхлом покрове. Выщелачивание интенсивными дождями некоторых элементов-индикаторов (Fe, Co, Ni, As, Se и др.) может приводить к уменьшению их содержания в сухом веществе в 3–7 раз и в золе в 2–4 раза. Увеличение содержания эле-

ментов-индикаторов после интенсивных дождей, особенно характерное для рудоносных зон Pb, Zn, Cu, Mo, Sr, достигает 2—5 раз. Через 3—5 дней после окончания дождей содержания элементов-индикаторов в наземных частях травянистых растений подходит близко к исходному уровню. Подробные данные об этих изменениях приведены выше при рассмотрении биогеохимии Pb, Cu, Mo. Для исключения их влияния при отборе проб в дождливый период следует сделать перерыв на 3—5 дней после окончания дождей.

Пробы растительной подстилки в лесных ландшафтах отбирают с поверхности или с глубины 2—10 см в зависимости от мощности ее слоя, обращая особое внимание на стандартизацию опробуемого материала. Следует иметь в виду, что эти пробы часто имеют наибольшую биологическую неоднородность и загрязнение почвой, пылью и песком.

Пробы мхов и лишайников следует тщательно очищать от минеральных частиц, отбрасывая ризоидный войлок и нижние части, загрязненные почвенными частицами. Водные мхи отмывают от ила и песка в воде, в которой они растут. Зола лесной подстилки и мхов можно повторно очистить от минеральных частиц встряхиванием на листе бумаги [26].

Пробы торфа отбирают из нижней или средней частей торфяного слоя, стараясь не загрязнить их минеральными частицами.

Масса биогеохимических проб определяется количеством материала, необходимого для анализов. Это обусловлено тем, что природная дисперсия содержаний химических элементов в однородных частях одной особи растения имеет величину порядка  $\pm 3-15\%$ , что значительно меньше погрешности приближенно-количественного спектрального анализа ( $\pm 20-60\%$ ). Достаточной следует считать массу сырого вещества биогеохимических проб, обеспечивающую получение навесок сухого вещества или золы растений, необходимую для 3—4-кратного повторения анализов. Это обеспечивает проведение основных и контрольных анализов и сохранение остатков проб для дополнительных анализов, в том числе после длительного их хранения. Приблизительная масса отбираемых проб растений может быть определена с помощью таблиц зольности различных видов и частей растений. При использовании эмиссионного спектрального анализа методом полного испарения [3, 13, 46], требующего 10—50 мг золы, масса отбираемых проб растений в зависимости от их влажности и зольности может быть равной 10—50 г. При использовании атомно-абсорбционных, флюоресцентно-рентгеноспектральных, рентгенорадиометрических, химических и других видов анализов, требующих для анализа навесок золы 0,1—1 г и более, масса проб должна быть увеличена до 500 г. Определенные расчетом и проверенные взвешиванием минимальные объем и массу отбираемых проб необходимо систематически контролировать во время поисковых работ. При проведении только эмиссионного спектрального анализа минимальная масса золы биогеохимических проб должна быть равна приблизительно 100 мг, а при использовании дополнительных методов анализа 1 г. В необходимых случаях она может достигать 20 г и более.

Отбор проб растений должен сопровождаться абрисом поисковых профилей, ландшафтно-геохимическими, геоботаническими и метеорологиче-

скими наблюдениями, фиксируемыми в журналах отбора проб. Они должны включать характеристику местоположения точек наблюдения относительно рельефа с выделением водоразделов, долин и резких изменений углов наклона склонов, заболоченных и обводненных участков, границ смены растительных ассоциаций, гарей, типов почв, регистрацию времени начала и окончания дождей, с указанием их интенсивности, и других сведений, которые могут оказаться необходимыми при изображении и интерпретации получаемых данных. При поисковых работах достаточна регистрация следующих фенофаз опробуемых растений: для травянистых — 1) вегетация (до цветения), 2) цветение, 3) созревание и 4) отмирание; для древесных — 1) сокодвижение, 2) набухание почек, 3) облиствение, 4) цветение, 5) созревание, 6) осенняя раскраска листьев, 7) листопад, 8) после листопада.

Отбор проб документируется в полевом журнале в соответствии с действующими инструктивными указаниями [11]. Обязательной документации подлежат: абрис профиля, место отбора каждой пробы, вид и часть растения, возраст (диаметр ствола) древесных растений, фенофаза опробуемой особи при отборе зеленых растущих частей растений, а также все другие данные, необходимые для интерпретации получаемых результатов. Список видов опробуемых растений в народном названии и их буквенные сокращения или цифровые шифры приводятся на первой странице каждого полевого журнала. В отчетах и публикациях названия растений даются также в принятой в ботанике латинской транскрипции.

При проведении комплексных литобиогеохимических поисков на участках профиля с открытыми литохимическими ореолами отбирают пробу коренных горных пород или почвы из представительного горизонта, а на участках с резко (в 3—10 раз и более) ослабленными или закрытыми почвенно-геохимическими ореолами — биогеохимическую пробу. При переходе с одного вида опробования на другой на двух-трех точках наблюдения каждого профиля отбирают две сопряженные пробы обоих видов опробования, по которым вычисляют значения РПК для составления единой карты литобиогеохимических поисков.

Для изучения типа, минералогии, а также стадий развития кор выветривания горных пород и зон окисления рудных тел необходимо их опробование на глубину, в 2—5 раз превышающую глубину корней, обязательно включая коренные горные породы. Оно должно являться составной частью комплексных литобиогеохимических исследований при проверке и оценке предположительно рудных биогеохимических аномалий и ореолов.

#### ПОДГОТОВКА ПРОБ РАСТЕНИЙ К АНАЛИЗАМ

Подготовка биогеохимических проб к анализам состоит в основном в озолении и реже в измельчении, отмывке или очистке от загрязнения.

Озоление проб растений обеспечивает получение их концентратов, в которых содержание элементов-индикаторов в результате удаления воды и углерода увеличивается по сравнению с содержанием в сырых пробах от 20 до 2000 раз, а по сравнению с высушенными пробами — от 5 до 500 раз.

Современные методы анализов обеспечивают достаточную чувствительность определений большинства элементов-индикаторов только в озоленных пробах. Поэтому, несмотря на трудоемкость, озоление проб растений является необходимой операцией подготовки проб растений к анализам на большинство элементов-индикаторов разнообразных полезных ископаемых, общее число которых в настоящее время достигает 70.

Непосредственно после отбора пробы в некоторых случаях производится ее кратковременная отмывка (без длительного намачивания) дистиллированной, чистой родниковой, речной или озерной водой, проверенной на отсутствие основных элементов-индикаторов. В практике наших работ в лесных и таежных ландшафтах эта операция не применялась, так как является излишней. Перед озолением проб корки ствола и шишек с лесного полога следует очистить их от пыли и песка путем встряхивания в тигле или в специальном контейнере. Во многих случаях перед озолением целесообразно измельчение отобранных проб до частиц определенного размера, не превышающего 10 мм, что обеспечивает их быстрое, приблизительно одновременное сгорание.

Озоление проб растений можно производить любым стандартизированным способом, обеспечивающим получение золы без углей и окалины тиглей. При использовании электрических печей массовое озоление проб может быть автоматизировано. В практике производственных биогеохимических поисков озоление проб растений производится иногда на костре или с помощью газовых, жидкотопливных или дровяных печей. Для массового озоления биогеохимических проб оборудуется стационарный озолительный цех с несколькими печами. Такой цех обеспечивает озоление от 200 до 1000 проб в смену. В полевых условиях озоление проб проводят непосредственно после их отбора на костре или в передвижных печах. Конструкции таких печей неоднократно публиковались [3] и др.

Наиболее целесообразно проводить озоление проб в тиглях, не дающих окалины (фарфоровых, кварцевых, из жароупорного стекла или керамических). В крайних случаях для этих целей могут быть использованы тигли из черного листового железа, проверенного на возможность существенного загрязнения проб основными элементами-индикаторами. Использование тиглей из консервных банок недопустимо. Для обеспечения высокой производительности труда необходимо иметь большой, периодически обновляемый запас тиглей, равный 3—5-кратному количеству одновременно сжигаемых проб. Это обеспечивает совмещение основных операций озоления: набивки тиглей, озоления растений, остывания тиглей, просеивания, вымагничивания и упаковки проб золы. Число одновременно сжигаемых биогеохимических проб изменяется обычно от 20 до 200. Довольно часто практиковавшееся двухступенчатое озоление проб растений: полевое до черной золы (обугливание) и лабораторное в муфельных печах до полного озоления в большинстве случаев следует считать нецелесообразным, так как намного увеличиваются время и стоимость подготовки проб к анализам.

Озоление проб ведется в окислительном режиме при свободном доступе кислорода воздуха и горении пробы в начале этой операции. Температу-

ра озоления проб может изменяться от 400 до 700 °С. Во всех случаях серия проб, отобранных на поисковом планшете, должна озоляться в стандартизированных условиях. Время озоления изменяется от 20 мин до 4 ч. Быстро озоляются листья, побеги, тонкие ветви и надземные части травянистых растений, а медленно — неизмельченные пробы древесины, корки стволов деревьев и толстых ветвей. Для сокращения времени озоления такие пробы требуют измельчения до 3 мм, которое следует производить в основном во время отбора проб. Необходимое доизмельчение проб может быть произведено перед и во время набивки тиглей. Для сокращения времени озоления целесообразно проводить его при температуре 600–700 °С со свободным, без уплотнения, насыпанием проб в тигель и неоднократным перемешиванием проб после выгорания основной массы органического вещества.

При озолении растений теряется некоторая часть легколетучих элементов. Наибольшие потери (от 50 до 97 %) наблюдаются для Hg, Cd, Tl, Pb. Потери легколетучих элементов на фоне и на биогеохимических ореолах при стандартизированных условиях озоления имеют одинаковую относительную величину, поэтому не влияют на основные поисковые результаты: форму, контрастность и интенсивность биогеохимических аномалий и ореолов.

При полном озолении растений в тиглях, не дающих окалины, полученная зола растирается вручную и направляется на анализ. При часто практикуемом ускоренном неполном озолении проб зола просеивается через алюминиевое, стальное, капроновое или пластмассовое сито с диаметром отверстий 0,25–1 мм для удаления несгоревших частиц растений и крупных частиц окалины. Применение сит с латунными сетками недопустимо, так как при этом пробы могут загрязняться медью, оловом и другими элементами. При озолении проб в железных тиглях дополнительная очистка их от окалины производится сильными магнитами типа "Граната" или керамическими. По нашему опыту, двухкратное извлечение магнитом окалины дает возможность определить в золе даже железо, так как оставшееся незначительное количество окалины увеличивает относительное фоновое содержание железа в золе лишь на 10–20 % и практически не влияет на биогеохимические ореолы и аномалии железа, превышающие фон в 2–50 раз. При наличии видимого на глаз загрязнения золы песком она очищается встряхиванием на листе бумаги, подобно пробам мхов [26]. Просеянная и очищенная зола слегка растирается вручную до получения однородной массы, после чего направляется в аналитическую лабораторию. Интенсивное истирание проб, как это иногда делается в практике поисковых работ, автор не рекомендует, так как при этом теряются заметные количества легколетучих элементов.

В последние годы все больше применяются методы определения некоторых элементов-индикаторов в неозоленных пробах и даже в живых растениях [14, 16, 17, 19]. Для проведения анализов неозоленных проб необходимо их предварительно измельчить и отсеять или выделить другими способами наиболее информативные фракции, а для некоторых видов анализов (рентгеноспектрального или ядерно-физического) — изготовить прессованные пробы.

Таблетированные пробы сухого вещества растений или их золы приготавливают в стационарных лабораториях с помощью ручных или гидравлических прессов и пресс-форм, причем целесообразнее использовать не исходные пробы растений, а их концентраты, например мелкие ( $< 0,25$  мм) и тяжелые ( $> 1,0-1,5$  г/см<sup>3</sup>) фракции корки стволов деревьев [17], а также золу растений. Применение прессов обычно существенно повышает чувствительность и точность рентгеноспектральных и ядерно-физических методов анализа в связи с увеличением плотности и массы анализируемого материала.

При хранении и подготовке к анализам биогеохимических проб должен быть исключен их контакт с ситами из цветных металлов, рудной пылью дробильных цехов и другими загрязняющими факторами. Особенно опасно загрязнение проб легколетучими элементами-индикаторами, например Hg, S, F, Cl, Br, I, так как зола является хорошим сорбентом газообразных веществ.

### АНАЛИЗ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОБ

Озоленные биогеохимические пробы анализируются теми же методами, что и литохимические. При этом следует иметь в виду, что зола растений по химическому составу наиболее близка к доломитизированным карбонатным горным породам: в ней содержится от 30 до 80 % суммы CaO+MgO. Для однородных биологических объектов она характеризуется мало изменяющимся макроэлементным составом при значительных изменениях большинства элементов-индикаторов руд.

Методы определения элементов-индикаторов в золе растений подробно рассматриваются в работах [3, 13, 23, 24, 41, 42, 44, 46, 50] и др.

В биогеохимических пробах следует определять те же элементы, что и в литохимических. Спектр их следует дополнять ценными элементами, выявляемыми лишь в золе растений при отсутствии определяемых количеств в литохимических пробах. Это касается эмиссионного спектрального анализа на Ag, Cd, Tl, Li, Bi, Ge, Sn, As, Sb, W, а также других специальных методов анализов на Hg, Au, Rb, Cs, F, B, Se, Fe и другие элементы-индикаторы. Из-за наличия антиконцентрационных барьеров и неинформативности в поисковом отношении в пробах растений нецелесообразно определять N, K, Ca, Al, Si, а также некоторые микроэлементы, накапливающиеся в растениях по фоновому типу. При озолении проб в железных или никелевых тиглях из списка анализируемых элементов при недостаточной очистке проб от окарины следует исключать железо и никель. Практически в большинстве случаев следует проводить полный полуколичественный эмиссионный спектральный (ПКЭС) анализ на 45-50 элементов всех биогеохимических и литохимических проб. В практике наших работ использование ПКЭС-анализа позволило выявить такие индикаторы, как Na, Cd, Sc, Y, La, Ce, Yb, Ga, Tl, Ti, Zr, Hf, Ge, V, Cr, Fe, Mn, P, которые ранее при биогеохимических поисках практически не использовались. Кроме экономичного ПКЭС-анализа, в золе растений с помощью различных специальных методик следует определять все основные элементы-индикаторы рудной минерализации, являющейся объектом поисковых работ. Для

этого нужно использовать рациональный комплекс аналитических методов. Наиболее приемлемыми методами определения золота в золе растений являются нейтронно-активационный (НА) и сцинтилляционный эмиссионный спектральный (СЭС) анализы повышенной чувствительности, требующие небольшой навески золы (менее 200 мг). Для определений Li, Rb, Cs, F, B, Nb, Ta, W используются специальные методики спектрального анализа. Для определений ртути целесообразно применение атомно-абсорбционного анализа на приборах РАФ-1М, РАФ-2М, ИМГРЭ-7, АРП-1, "Ртуть-ФЦ" и др. Определение радия в золе растений целесообразно производить с помощью экономичного и экспрессного альфа-импульсного метода, урана — перлюво-люминесцентного метода и т.д. С появлением новых высокочувствительных экспрессных и экономичных методов анализов проб малых навесок ( $\leq 10-100$  мг) их следует использовать для массовых анализов биогеохимических проб, в том числе их остатков после проведения основных анализов.

С целью уменьшения случайных и систематических погрешностей полуколичественных методов анализов для наиболее интересных проб с аномальными концентрациями основных элементов-индикаторов экономично проводить их с 2-4-кратной независимой повторностью. По нашим данным, средние значения из 4-кратных результатов ПКЭС-анализов имели погрешности в 3-3,5 раза меньше, чем результаты однократного анализа.

Следует иметь в виду, что аналитические методы быстро совершенствуются. Это делает целесообразным проведение анализов проб, находящихся в хранилищах, на те элементы, которые не определялись или не могли быть определены после их отбора из-за отсутствия приемлемых аналитических методов. Такими элементами являются Hg, Cd, Li, Rb, Cs, F, B, Au, Se, Te, Re, W, Ta, Pt и др.

Анализы неозоленных проб растений в настоящее время используются в значительной степени из-за недостаточной чувствительности определения фоновых и минимально-аномальных содержаний большинства элементов-индикаторов. В практике биогеохимических поисков использовались эмиссионные спектральные определения B, Sr, Ba, Zn, Mn, Fe, P и других микроэлементов в измельченных или истертых пробах растений. Наибольший интерес для определений элементов-индикаторов руд в неозоленных пробах представляет высокочувствительный флюоресцентный рентгено-спектральный (ФРС) анализ, имеющий предел обнаружения  $10^{-3}-10^{-4}$  %. Этим методом в сухом веществе растений можно определять фоновые содержания довольно большой группы элементов-индикаторов, содержание которых в золе превышает  $10^{-3}$  %. К ним относятся макроэлементы: Na, K, Mg, Ca, Al, Si, P, Fe и микроэлементы: Pb, Cu, Sr, Ba, Zn, B, Ti, Zr, Pb, Mn, F. Наиболее перспективно использование ФРС-анализа для определений элементов-индикаторов в концентратах из неозоленного материала корки стволов деревьев, например в мелких ( $< 0,25$  мм) и тяжелых ( $> 1,0-1,5$  г/см<sup>3</sup>) фракциях, обогащенных по сравнению с крупными фракциями такими микроэлементами, как Li, Be, Ti, V, Cr, Ga, Zr, Mo, Pb [17]. Для проведения ФРС-анализа неозоленных проб корки используют их порошки с размером зерен  $< 0,25-0,5$  мм или таблетированные пробы, спрессованные из этих порошков.

Исходя из опыта биогеохимических поисков в СССР, можно рекомендовать следующий комплекс анализов сопряженных биогеохимических и литохимических проб.

1. Стандартный ПКЭС-анализ на все определяемые в данной лаборатории элементы-индикаторы (обычно 40—50 элементов) или на выбранный спектр элементов.

2. Полные ПКЭС-анализы на 40—50 элементов с 2—4-кратной повторностью всех проб, имеющих аномально-высокие концентрации основных элементов-индикаторов (обычно 2—10 % от общего числа проб) для получения более точных данных об этих аномальных концентрациях и о полном комплексе ореолообразующих элементов-индикаторов при неполном ПКЭС-анализе всех проб.

3. Специальные ПКЭС-анализы всех проб на комплекс элементов-индикаторов, которые не определяются стандартным ПКЭС-анализом (Au, Pt, F, B, Rb, Cs, In, Re) или имеют недостаточную чувствительность (As, Sb, Bi, Cd, Tl, Nb, Ta, W, Li и др.). Комплекс дополнительных методик ПКЭС-анализа определяется в соответствии с поставленными геологическими задачами. Например, при поисках золоторудных месторождений необходимо определение золота, а во многих случаях целесообразно определение мышьяка; при поисках танталовых руд — тантала и ниобия и т.д.

4. Количественные эмиссионные спектральные, атомно-абсорбционные, химические, ФРС, рентгенорадиометрические, нейтронно-активационные и другие относительно сложные и дорогостоящие анализы части проб на небольшое число (1—3) основных элементов-индикаторов для проверки правильности ПКЭС-анализа и получения надежных результатов для количественной интерпретации литобиогеохимических данных.

5. Люминесцентно-перловый или ФРС-анализ на уран или альфа-импульсный анализ на радий отдельных серий проб, в которых по данным ПКЭС-анализа установлены аномальные концентрации типичных для изучаемого района спутников урановой минерализации. Для проб с высокоаномальной альфа-активностью проводятся радиохимические анализы на радий и радиоторий (по радону и торону) для определения природы их радиоактивности.

6. Прочие дополнительные анализы обычно небольшого числа проб, для уточнения количественных биогеохимических и минералого-биогеохимических параметров.

Для снижения затрат на дорогостоящие определения ценных элементов-индикаторов, требующих больших навесок золы (1—10 г и более), целесообразен анализ 2—10 смежных объединенных проб одного профиля. Примерами таких элементов, определявшихся в практике биогеохимических поисков, являются золото, уран и ртуть. Анализ объединенных проб растений особенно целесообразен для определений ртути, так как она является универсальным индикатором практически всех типов рудной минерализации и зон гидротермально-измененных горных пород при значительных мощностях экранирующих покровных образований (50—300 м). Включение в рациональный комплекс анализов определение бета-активности одновременно в четырех пробах почв широко используется в практике попутных поисков урана. Подобно этому анализ двух—десяти объединен-

ных биогеохимических проб на ртуть может обеспечить попутные глубинные поиски ряда ценных полезных ископаемых при минимальных дополнительных затратах. Следует иметь в виду, что при использовании экономичных ПКЭС-анализов на 40—50 элементов основные затраты при биогеохимических поисках приходятся на полевые работы, подготовку проб к анализам и обработку получаемых результатов. При использовании дорогостоящих методик количественного анализа, даже на ограниченное число (3—5) элементов-индикаторов, основные затраты приходятся на аналитические работы.

Одним из перспективных направлений следует считать разработку методик анализов проб малых навесок (~ 10 мг), так как они способствовали бы массовому отбору исходных биогеохимических проб из локальных безбарьерных частей растений (нижние узлы стеблей злаковых и других травянистых растений, черные "бородавки" на корке стволов березы, сухие плоды и семена растений, подобные шишкам сосны и т.д.). Отбор подобных высокоинформативных проб малых навесок не только увеличит эффективность биогеохимических поисков, но и решит важные проблемы повышения производительности, уменьшения стоимости и упрощения транспортировки большого числа проб растений.

#### ОБРАБОТКА ДАННЫХ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

Основные принципы математической обработки и графического изображения аналитических данных биогеохимических поисков не отличаются от соответствующих методик литохимических поисков по первичным и вторичным ореолам. Поэтому ниже рассмотрим те особенности камеральной обработки аналитических данных, которые характерны для биогеохимических поисков.

**Учет разнородности биогеохимических проб.** Несмотря на то что в лесных и таежных ландшафтах можно выделить один—три одинаковых биообъекта для систематических исследований, часто, особенно в лесостепных, степных и полупустынных ландшафтах, приходится отбирать разнородные пробы растений. В таких случаях необходим учет разнородности биогеохимических проб, который производится для каждого элемента-индикатора с помощью параметра ОСБО (см. табл. 23). Без введения поправок на разнородность проб растений возможно выявление ложных "видовых" биогеохимических аномалий Zn, Cu, Ag, Mo, Li, Ba, Ra, Mn, P и других элементов-индикаторов, а также пропуск интересных аномалий. Пренебрежение поправками за разнородность биогеохимических проб приводило в практике поисковых работ к выявлению ложных "березовых" аномалий цинка, серебра и меди, "рододендровых" аномалий молибдена и т.д.

Частичное, а иногда полное исключение влияния разнородности биогеохимических проб может быть сделано путем опробования биообъектов, имеющих значения ОСБО основных элементов-индикаторов, близкие к стандартному или эталонному биообъекту. Как видно из данных табл. 23, при опробовании корки стволов березы, лиственницы, кедра и ели поправ-

ки за их разнородность для Pb, Be и Sn можно не вводить, так как они отличаются не более чем на  $\pm 10-20\%$ , т.е. меньше погрешности приближенно-количественных методов анализа.

**Учет времени опробования растений.** В связи с переходом в последние годы в Сибири к массовому отбору при биогеохимических поисках старых опробованных частей растений — внешних слоев корки стволов деревьев или опробованных шишек хвойных деревьев с лесного полога — поправка на время опробования этих биообъектов здесь не вводится.

Учет времени опробования необходим при использовании зеленых наземных частей травянистых растений или молодых растущих частей кустарниковых и древесных растений (листьев, хвои, побегов, молодых ветвей и их комбинаций). Наиболее просто влияние времени отбора исключается путем кратковременного (не более двух-трех недель) отбора проб растений на ограниченных участках площади поискового планшета. Результаты анализов каждого из таких участков обрабатываются отдельно и не требуют введения поправок на время отбора проб. На практике в биогеохимическом опробовании одновременно участвуют до 20 человек, что позволяет в течение двух-трех недель отобрать до 20 тыс. проб растений.

При невозможности проведения кратковременного отбора проб молодых частей растений на время их отбора необходимо определять и вводить поправки. Для этого на эталонном участке вблизи полевого лагеря на 20—50 фиксированных точках наблюдения производится систематический отбор проб изучаемых растений с интервалом одна-две недели. Усредненные результаты анализов этих проб используются для определения поправок на время отбора биогеохимических проб. Как показывает опыт, их величина для большинства элементов-индикаторов является незначительной и часто не превышает погрешности массовых методов анализов. Поэтому эти поправки обычно необходимо вводить лишь для небольшого числа элементов-индикаторов (например, для Sr, Ba и V), содержания которых в зеленых частях растений наиболее изменчивы во времени.

**Определение биогеохимического фона и его дисперсии.** Биогеохимический фон (БГФ) содержания элементов-индикаторов определяется после введения поправок на разнородность и время отбора биогеохимических проб. БГФ определяется обычно на ЭВМ как медиана или среднее геометрическое при логнормальном и среднее арифметическое при нормальном законах распределения отдельных значений содержания элементов-индикаторов в пределах заведомо безрудных участков. Часто ошибочно определяют БГФ как среднее для всего изучаемого поискового планшета. При наличии на планшете интенсивных биогеохимических ореолов и аномалий это приводит к завышению фона и его дисперсии и, соответственно, к завышению минимально-аномальных значений. В связи со значительным влиянием геологических и ландшафтно-геохимических условий БГФ вычисляется раздельно для площадей распространения различных горных пород и для существенно разнородных геохимических ландшафтов (широких водоразделов, северных и южных склонов, долин, впадин и т.д.). Затем близкие величины БГФ, изменяющиеся не более чем на 10—20%, усредняются, а их площади объединяются. Это позволяет сократить число

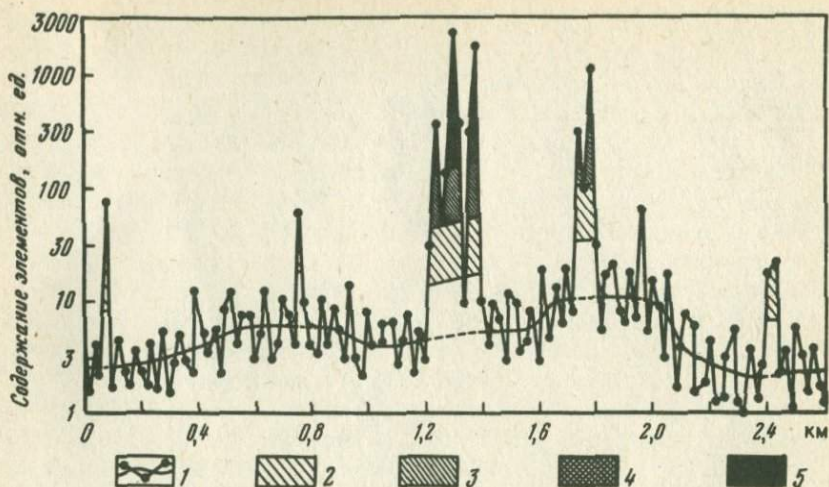


Рис. 39. Пример графического усреднения фоновых содержаний и выделения локальных биогеохимических аномалий на профиле

1 — фоновые содержания элемента-индикатора и усредняющая их кривая; 2–5 — аномалии (2 — минимально-достоверные, малоинтенсивные, 3 — среднеинтенсивные, 4 — высокоинтенсивные, 5 — максимальные)

участков, имеющих существенно различные значения БГФ, и облегчает дальнейшие операции выявления и оценки интенсивности биогеохимических аномалий и ореолов.

В тех случаях, когда участки планшета, однородные по геологическим и ландшафтным условиям, трудно или невозможно выделить, БГФ можно определить путем усреднения содержаний элементов-индикаторов на 4–16 соседних точках профиля или методом скользящей средней. При этом отдельные точки с высокими содержаниями элементов-индикаторов, превышающими величину БГФ в 5 раз и более, не включаются в усредняемые величины фоновых значений, а выделяются в качестве локальных биогеохимических аномалий. При построении графиков распределения содержаний элементов-индикаторов их усреднение показывается в виде плавной линии, исключая отдельные флюктуации содержаний, но выделяющей локальные значения, существенно (в 3 раза и более) превышающие ее уровень (рис. 39). Такое усреднение фоновых значений может быть использовано для уточнения контактов горных пород и изучения закономерностей изменения фона на профилях, а затем и на площадях.

В последние годы все большее практическое применение находят автоматизированные методы построения геохимических, в том числе биогеохимических, карт с помощью ЭВМ. При использовании таких карт необходимость в определении БГФ практически отпадает, так как анализ биогеохимического поля позволяет не только выделить площади с фоновыми содержаниями изучаемых элементов-индикаторов, но и рассматривать зако-

номерности изменений биогеохимического поля и выявлять факторы, определяющие эти изменения. Значительные трудности при построении достоверных карт с помощью ЭВМ могут возникнуть в случае существенных систематических погрешностей анализов, выполненных в разное время.

Опыт показывает, что биогеохимический фон большинства элементов-индикаторов является относительно стабильной величиной, и его изменения, отличающиеся от средних величин более чем в два раза, относительно редки. К таким элементам относятся Cu, Ag, Be, Sr, Ba, Ra, B, Ti, V, Zr, Sn, Pb, Mo, F, Mn, Fe. Ряд элементов-индикаторов, характеризующихся повышенной миграционной способностью в первичных и вторичных литохимических ореолах и неодинаковыми содержаниями в различных горных породах, имеют менее стабильный биогеохимический фон, изменяющийся до трех раз и более. К ним относятся Cr, Co, Ni, Zn, Au, Hg.

**Выделение биогеохимических аномалий и ореолов.** Биогеохимические аномалии и ореолы выделяют по полезному сигналу (рудной аномалии) на уровне разнообразных помех (случайных и систематических погрешностей анализов, природных флюктуаций содержаний элементов-индикаторов, закономерных изменений их содержаний, зависящих от типа, состава горных пород и рыхлых образований, неоднородностей геохимических ландшафтов, а также от загрязнения биогеохимических проб при отборе, хранении, подготовке и проведении анализов и т.д.). Следует иметь в виду, что существует некоторая пороговая величина слабых, минимально-аномальных рудных биогеохимических аномалий и ореолов, ниже которой при принятой методике работ они не могут быть выявлены. В этих случаях чувствительность биогеохимических поисков может быть увеличена только путем изменения методики поисковых работ (привлечения более информативных элементов-индикаторов, сгущения сети точек наблюдения, увеличения точности анализов и т.д.), требующей, как правило, дополнительных затрат.

Первым условием надежности выявления биогеохимических аномалий и ореолов является их статистически достоверное отличие от случайных флюктуаций биогеохимического фона. Как показывает опыт работ, недостаточная жесткость статистических критериев выделения минимально-аномальных содержаний элементов-индикаторов приводит к выявлению большого числа ложных "статистических" аномалий и ореолов. Одной из причин их выделения является массовость биогеохимического опробования при поисковых работах. Например, на поисковом планшете масштаба 1:50000 площадью 300 км<sup>2</sup> при отборе 12000 проб (плотность точек наблюдения 40 проб/км<sup>2</sup>) при отсутствии рудной минерализации будет выявлено ~240 ложных "аномальных" проб (2%), в которых содержание превышает БГФ на два стандарта. Даже при использовании в качестве минимально-аномальных повышенных значений, превышающих БГФ на три стандарта, на таком поисковом планшете будет выявлено ~20 ложных "аномальных" проб (0,14%). Это свидетельствует о невозможности выделения статистически достоверных биогеохимических аномалий на уровне, превышающем два и, тем более, один стандарт, что предусмотрено действующей инструкцией [11]. Мы рекомендуем выделять в качестве единич-

ных проб такие, в которых содержание основных элементов-индикаторов превышает местный БГФ не менее чем на три-четыре стандарта:  $BGF + (3-4) \cdot \sigma$  при нормальном и  $BGF \cdot \epsilon^{(3-4)}$  при более распространенном логнормальном законе распределения отдельных значений БГФ. Содержания, превышающие БГФ более чем на два стандарта, могут быть использованы для оконтуривания интенсивных аномалий и ореолов, превышающих БГФ не менее чем на три-четыре стандарта.

Для исключения ложных биогеохимических аномалий и ореолов, связанных с загрязнением биогеохимических проб, должны приниматься все меры предосторожности — следует следить за отсутствием контакта с материалами, дающими загрязнение изучаемыми элементами-индикаторами на всех стадиях (отбор, хранение, подготовка и проведение анализов проб). Наиболее часто возникает загрязнение проб с низкими содержаниями при сжигании или истирании, производимом непосредственно после проб с весьма высокими концентрациями, а также вследствие загрязнения посуды при "мокрых" методах анализа (например, спектрохимических определениях золота).

Статистически достоверные биогеохимические аномалии и ореолы наносятся на планы и карты, соответствующие масштабу проводимых поисковых работ или в более крупном масштабе для детального анализа сложных аномальных полей.

**Изображение результатов биогеохимических поисков.** Результаты анализов биогеохимических проб изображаются на картах и профилях, основой которых являются геологические и топографические карты и геологические разрезы с изображением рельефа, мощности рыхлого покрова и других важных характеристик изучаемых участков. Примеры таких профилей приведены на рис. 4, 14, 26—29, 32 и 33, а карт — на рис. 5, 30 и 37. Как правило, графически изображаются результаты не всех проанализированных элементов. Обязательно построение карт и профилей основных (обычно одного—трех) элементов-индикаторов руд, являющихся объектами поисковых работ, элементов, образующих интенсивные биогеохимические аномалии и ореолы, превышающие местный фон в 10 раз и более, а также других высокоинформативных элементов-индикаторов и их ассоциаций, позволяющих решать задачи поисковых работ. При выборе элементов-индикаторов и их ассоциаций для графических построений в качестве основного критерия следует использовать не интенсивность образуемых ими ореолов и аномалий, а их выдержанность в геологических структурах изучаемых площадей.

Кроме биогеохимических карт отдельных элементов-индикаторов, целесообразно построение карт мультипликативных показателей, характеризующих рудные или надрудные срезы рудных тел и определенные минеральные ассоциации изучаемых элементов-индикаторов. По нашему опыту, интересны карты мультипликативных показателей, характеризующие определенные минеральные ассоциации элементов-индикаторов, отражающие, по всей вероятности, различные этапы минералообразования. Во многих случаях полезным является построение карт мультипликативных показателей редкометалльной минерализации. В нашей практике использова-

лись от 2- до 8-компонентные мультипликативные показатели редкометалльной минерализации [17].

При изображении результатов комплексного литобиогеохимического опробования площадей могут быть рекомендованы два методических приема.

1. Построение карт растительно-почвенных коэффициентов (РПК). Такие карты для элементов-индикаторов, имеющих существенно различное распределение в почвах и растениях, позволяют выделять и оконтуривать площади распространения их различных минеральных форм. Они часто устанавливаются для Zn, Hg, B, Ti, Zr, Sn, Pb, Mn, F, Fe.

2. Приведение на биогеохимических картах соответствующих литохимических эквивалентов, например изолиний и максимальных концентраций элементов в растениях на основании зависимостей в системе "почва — растение" или "порода — растение", полученных для типичных геологических и ландшафтных условий района работ.

Наиболее ценными для интерпретации данных биогеохимических поисков являются карты, изображающие совмещенные результаты анализов комплекса элементов-индикаторов. Для автоматизированного построения таких усложненных карт с помощью ЭВМ используются разнообразные программы.

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

Задачи интерпретации результатов биогеохимических и литохимических поисков аналогичны. Во многих случаях в качестве основной задачи интерпретации биогеохимических данных следует рассматривать получение количественной информации о погребенных первичных или вторичных литохимических ореолах с помощью растительно-почвенных и растительно-рудных коэффициентов, определение которых должно являться обязательной частью комплекса литобиогеохимических исследований.

Одной из специфических проблем интерпретации биогеохимических данных является исключение из получаемой информации влияния экранирующего рыхлого покрова. Простейшим приемом, обеспечивающим частичное исключение этого влияния является вычитание местного биогеохимического фона. В связи с тем что весь объем корневых систем растений за пределами рудных тел и его большая часть над погребенными рудными телами находятся в рыхлом покрове, вычитание местного фона в определенной степени соответствует выделению глубинной составляющей биогеохимического поля, представляющей наибольший поисковый интерес. На рис. 22 видно, что концентрационные кривые молибдена для трех безбарьерных биообъектов имеют линейную пропорциональность только в диапазоне "рудных" содержаний (за нижнюю границу которых мы приняли содержание в бороздовых пробах, равное 0,01 %), но эти кривые значительно выполаживаются в диапазоне более низких содержаний. На рис. 40 видно, что график распределения аномальных содержаний молибдена в золе растений ( $Mo_a = Mo_n - Mo_f$ , где  $Mo_a$ ,  $Mo_n$ ,  $Mo_f$  — аномальные, наблюдаемые и фоновые содержания молибдена) по профилю значительно

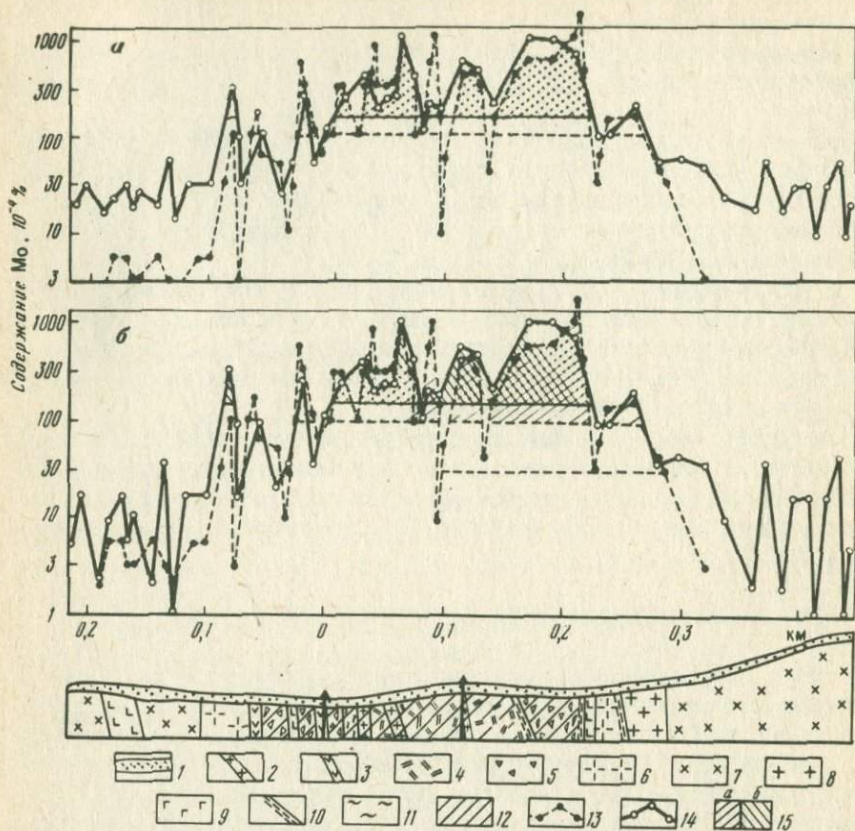


Рис. 40. Сопоставление наблюдаемых (а) и аномальных (б) содержаний молибдена в золе бобовых растений с результатами бороздового опробования по водораздельной части одного из молибденовых месторождений

1 – четвертичные отложения нерасчлененные: эоловые пески и супеси, делювиально-элювиальные образования. Субвулканический соготинский комплекс ( $P_2$ ); 2 – дайки микрогранитов и граносиенитов; 3 – дайки сиенит-порфиров, ортофиров и сиенит-аплитов; 4 – оруденелые эруптивные полимиктовые брекчи на цементе трахилипаритовых порфиров; 5 – оруденелые мономиктовые взрывные брекчи и брекчиевидные разности вмещающих пород. Бичурский комплекс ( $PZ_3$ ); 6 – граниты и граносиениты среднезернистые лейкократовые порфировидные; 7 – сиениты и кварцевые сиениты крупнозернистые неравномернозернистые; 8 – граниты среднезернистые биотитовые. Джидинский комплекс ( $PZ_1$ ): 9 – ксенолиты диоритов, сиенит-диоритов и микродиоритов. Разрывные нарушения: 10 – зоны дробления и брекчирования; 11 – зоны расланцевания и милонитизации; 12 – рудный штокверк; 13–14 – содержание молибдена (13 – в бороздовых пробах горных пород, 14 – в золе надземных частей травянистых бобовых растений – вики однопарной, горошка заборного и мышинного); 15 – рудные аномалии молибдена (а – в горных породах, б – в растениях)

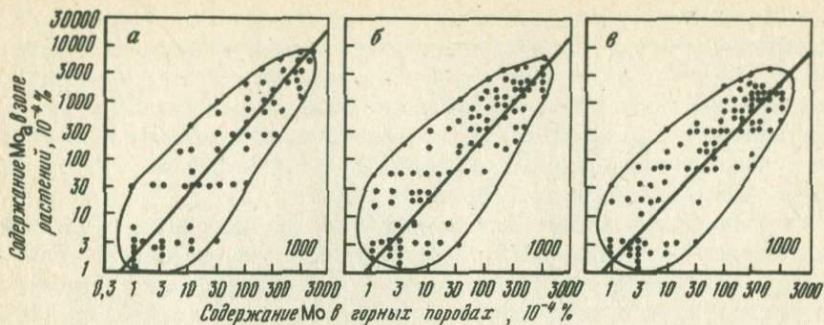


Рис. 41. Графики концентрационных зависимостей между содержаниями молибдена в горных породах и аномальными его содержаниями в безбарьерных биообъектах молибденового месторождения

*a* – нижние части стеблей рододендрона даурского; *б* – надземные части травянистых бобовых растений (вики однопарной, горошка заборного и мышинного); *в* – то же, шишки сосны обыкновенной. Условные обозначения см. рис. 12

лучше соответствует его содержаниям в борздовых пробах, чем наблюдаемые значения. Поскольку  $Mo_a$  является разностью двух величин, при низких, близфоновых содержаниях они могут иметь значительные погрешности. Это может приводить к появлению нулевых и отрицательных значений  $Mo_a$ . Такие содержания теоретически невозможны, поэтому на рис. 41 в точках с такими расчетными значениями приняты содержания, равные  $1 \cdot 10^{-4} \%$ , – пределу обнаружения молибдена для использовавшегося метода анализа.

На рис. 41 видно, что концентрационные кривые  $Mo_a$  для нижних частей стеблей рододендрона, надземных частей бобовых растений и шишек сосны, в отличие от  $Mo_n$  (см. рис. 22), сохраняют прямую пропорциональную зависимость во всем изученном диапазоне содержаний молибдена, что соответствует изменениям его содержаний в борздовых пробах из траншей и существенно улучшает корреляцию в рассматриваемой системе.

В хорошо изученных рудных районах и ландшафтах количественная интерпретация биогеохимических данных по безбарьерным биообъектам (практически безбарьерные биообъекты для этой цели, как правило, непригодны) может быть доведена до определения ожидаемых содержаний и прогнозных запасов рудных элементов в горных породах. Эта интерпретация производится обычно двумя приближениями. При первом приближении все количественные расчеты проводятся методом аналогий, принимая величины растительно-рудного коэффициента – РРК и поправочные коэффициенты на ослабление биогеохимических ореолов экранирующим покровом ( $ОСБО_a$ ), равными этим величинам на ранее изученных месторождениях и рудных телах. При втором приближении, осуществляемом после проходки и борздового опробования первых траншей, используются уточненные значения РРК и  $ОСБО_a$ , определенные непосредственно на изучаемом объекте. Результаты количественной интерпретации второго

приближения могут использоваться для оконтуривания, с учетом смещения элювия и элювио-делювия рудных тел на склонах, и количественной оценки продуктивности выходов рудных тел между траншеями и за их пределами в аналогичных ландшафтах рудного поля. Конечной целью количественной интерпретации биогеохимических данных является выявление рудоносных интервалов профилей с оценкой ожидаемых содержаний рудного элемента в коренных горных породах.

Первоочередными задачами опытно-методических работ в пределах разведываемых рудных полей должно быть изучение стабильности РПК и ОСБО<sub>а</sub> безбарьерных биообъектов в различных ландшафтах, на разных типах руд и при различной мощности и типе рыхлого покрова, т.е. изучение условий применимости различных вариантов методики количественной интерпретации биогеохимических данных для типичных геологических и ландшафтных условий района поисково-разведочных работ. Главным условием их применимости является стабильность минеральных форм интерпретируемых рудных элементов, подтверждаемая стабильностью средних величин РПК при значениях стандартного множителя  $\epsilon$  отдельных вариантов не более 1,7–2,0.

Важной задачей интерпретации биогеохимических данных масштаба 1 : 10000 – 1 : 50000 и крупнее является построение карт ореолов и аномалий при неравномерной сети, когда расстояния между профилями значительно превышают шаг между точками наблюдения по профилям. В связи с частой возможностью выбора нескольких направлений корреляции биогеохимических аномалий и ореолов между соседними профилями, для определения правильного направления изолиний биогеохимического поля необходимо использовать все имеющиеся структурно-геологические и геофизические данные. В нашей практике были случаи, когда в сложном биогеохимическом поле с большим числом аномальных точек, выявленных при сети точек наблюдений 200 × 20 м, была возможность построения по крайней мере трех вариантов биогеохимических карт. Два варианта с корреляцией по линейным структурам двух приблизительно взаимно перпендикулярных направлений и один вариант — с корреляцией в основном по кольцевым структурам, большинство которых оконтуривается магнитной, а некоторые и гравиметрической съемками. В сложных случаях, когда возможна неоднозначная корреляция геологических структур и геофизических аномалий и, соответственно, биогеохимических ореолов и аномалий на соседних профилях, необходимо сгущение сети геологических, геофизических и биогеохимических точек наблюдений на важнейших участках изучаемых площадей. При наличии или возможности наличия рудоносных кольцевых геологических структур и, соответственно, кольцевых биогеохимических ореолов и аномалий целесообразно проведение биогеохимических и геолого-геофизических съемок по двум взаимно перпендикулярным системам или по радиальной системе профилей. При недостаточно густой сети профилей для правильной интерпретации результатов целесообразно составление не одного, а двух-трех вариантов взаимно увязанных биогеохимических, геологических и геофизических карт, соответствующих наиболее вероятным положениям основных геологических

структур на изучаемой площади. Последующая целенаправленная детализация позволит отбросить ошибочные варианты и уточнить план основных геологических структур, являющихся основой для построения биогеохимических карт. Расшифровка структурного плана аномальных участков имеет большое значение для дальнейшей интерпретации биогеохимических данных, так как детальная карта биогеохимических ореолов не только отражает форму, размеры и продуктивность рудных тел и месторождений, но и дает важную информацию об их формационном и генетическом типах.

Задачами интерпретации тщательно отстроенных карт и профилей статистически достоверных биогеохимических аномалий и ореолов отдельных элементов, их комплексов, мультипликативных показателей, мультипликативных отношений и других данных биогеохимических поисков является их классификация по генетическим признакам. По этим признакам выделяются следующие аномалии и ореолы: 1) породные, 2) структурно-геологические, 3) околорудные, 4) рудные, 5) ландшафтно-геохимические, 6) техногенные или антропогенные и 7) ложные.

Породные ореолы обычно малоконтрастны, включают небольшое число элементов-индикаторов и часто, но далеко не всегда, выявляются при сопоставлении биогеохимических и геологических карт соответствующего масштаба. Затруднения в их идентификации возникают при нередком отсутствии достоверных геологических карт на закрытых площадях.

Структурно-геологические биогеохимические ореолы имеют обычно значительную протяженность, измеряемую первыми километрами, изредка десятками километров, и ширину в сотни метров, иногда более 1 км. Они приурочиваются к разнообразным региональным и локальным тектоническим геологическим структурам, выделяемым геологическими, геофизическими и геоморфологическими методами. Следует иметь в виду, что биогеохимические ореолы сопровождают незначительную часть зон тектонических разрывов, картируемых геологическими методами. Такие немногочисленные зоны разрывов, сопровождаемые биогеохимическими ореолами, часто являются наиболее интересными рудоподводящими или рудовмещающими структурами. Особенно четкими биогеохимическими ореолами сопровождаются зоны гидротермально-измененных горных пород, так как их первичные ореолы представлены в основном подвижными формами элементов-индикаторов. Структурно-геологические ореолы могут быть выделены на всех стадиях биогеохимических поисков (от рекогносцировочных до детальных). Характерные особенности их следующие.

1. Локальность (ширина — десятки, редко первые сотни и протяженность — сотни, редко более 1000 м) ореолов отдельных элементов, число которых в едином комплексном ореоле может быть более 40. Число элементов, образующих достоверные ореолы, в растениях обычно в 2—4 раза больше, чем в почвах, и в 1,3—2 раза больше, чем в первичных ореолах.

2. Сложная поперечная и продольная зональность ореолообразующих элементов, образующих в сумме над блоком гидротермально-измененных горных пород сплошное аномальное поле зон привноса и выноса, изредка сопровождающееся сплошным аномальным полем отдельных элементов: Ва — на некоторых железорудных и полиметаллических месторождениях;

Mo и F — на молибденоносных штокверках; Pb, Zn, Ag, Cd, Hg — на полиметаллических месторождениях и т.д.

3. Контрастность (превышение над местным фоном) биогеохимических ореолов большинства элементов находится в пределах от 10 до 100, а для отдельных, обычно второстепенных элементов (например, As, Sb, Bi, Cd, Hg, Tl, Pb, W, F и т.д.), в весьма локальных (точечных) ореолах достигает более 3000. Контрастность структурно-геологических биогеохимических ореолов для большинства элементов больше, чем почвенно-геохимических, а для ряда элементов (Na, Pb, Ag, Hg, B, F и др.) больше, чем первичных литохимических.

4. Комплекс элементов, образующих наиболее широкие выдержанные биогеохимические ореолы (Na, Li, Rb, Ag, Au, Ba, Zn, Hg, Y, Yb, B, Sn, Pb, Mo, Mn, F, Fe, Co, Ni), может не соответствовать основным рудным компонентам, которые часто образуют локальные, а иногда (например, Fe — на железорудных, W — на вольфрамовых, Ba — на бериллиевых месторождениях) малоконтрастные биогеохимические ореолы.

5. У однотипных месторождений определенного района, например на железорудных месторождениях юга Сибирской платформы, выделяется постоянный комплекс из 10—20 ореолообразующих элементов с приблизительно одинаковой контрастностью биогеохимических ореолов и несколько (1—7) элементов, характеризующихся аномально высокой (в 30 раз и более) контрастностью на отдельных месторождениях, характеризующих их специфичность. Это может использоваться при интерпретации выявляемых биогеохимических аномалий методами аналогий.

Причинами, обуславливающими большее число элементов-индикаторов зон гидротермально-измененных горных пород в биогеохимических ореолах и их более высокую контрастность и выдержанность в геологических структурах по сравнению с первичными литохимическими, являются: а) концентрирующая способность растений (РПК 3—300), обеспечивающая выявление ряда элементов при их отсутствии в горных породах из-за недостаточной чувствительности анализов; б) поглощение растениями подвижных (флюидных) форм химических элементов; в) большая представимость биогеохимических проб, характеризующих объем корнеобитаемой зоны в несколько или несколько десятков кубических метров.

В некоторых случаях анализ комплекса биогеохимических, литохимических, геологических, геофизических и геоморфологических данных позволяет выделить среди структурно-геологических биогеохимических ореолов предположительно рудные аномалии и ореолы. Структурно-геологические биогеохимические ореолы — наиболее часто встречаемый генетический тип выявляемых биогеохимических аномалий.

Околорудные биогеохимические ореолы образуют многочисленные элементы-спутники и элементы-индикаторы рудной минерализации. Их площадь обычно значительно превышает размеры рудных биогеохимических ореолов. Например, вблизи локальных железорудных тел мощностью 10—100 м в кольцевых структурах диаметром до 1 км и в трещинных тектонических зонах на юге Сибирской платформы комплексные околорудные ореолы шириной 100—1000 м образуют до 40 химических

элементов. При этом контрастность некоторых из них в десятки и сотни раз превышает контрастность биогеохимических ореолов железа. Наличие широких околорудных ореолов позволяет выявлять отдельные рудные тела и месторождения сетью точек наблюдения, что имеет большое практическое значение.

Рудные биогеохимические ореолы в большинстве случаев являются локальными и высококонтрастными, значительно превышающими минимально-аномальные содержания. Как правило, они приурочены к выходам рудных тел под рыхлый покров, не препятствующий образованию биогеохимических ореолов, незначительно смещаясь вниз по склону в соответствии с элювием и элювио-делювием — обычно до 20 м. Во многих случаях при горизонтальной мощности рудных тел более 10 м по интенсивности биогеохимических ореолов могут быть определены (с точностью до нескольких метров) границы рудных тел с заданной концентрацией основного рудного элемента. В таких благоприятных условиях предположительно рудные биогеохимические аномалии и ореолы следует интерпретировать количественно. Опыт такой интерпретации свидетельствует о том, что надежное выделение рудных биогеохимических аномалий по основным рудным элементам возможно далеко не всегда. В тех случаях, когда слабая биогеохимическая аномалия, сопровождаемая рудным или надрудным спектром сопутствующих элементов, находится в благоприятной геологической и геоморфологической обстановке и имеет площадь, соответствующую промышленному месторождению, для расшифровки генетического типа биогеохимической аномалии необходимо провести литохимическое опробование с обязательным отбором проб из коренных горных пород. Как показывает опыт работ, глубинное литохимическое опробование аллохтонного покрова из мелких скважин, не доходящих до коренных горных пород, может привести к пропуску крупных рудных тел и месторождений. Подобное явление наблюдалось, например, на одном из молибденовых месторождений, где литохимическое опробование золотых и золоводелиувальных лессовидных супесей из скважин глубиной до 16 м, пройденных переносным станком УПБ-25, не дало над богатыми рудными телами статистически достоверных литохимических ореолов.

Биогеохимические аномалии и ореолы, отнесенные к рудным, подразделяются на объекты первой и второй очереди и рекомендуются для проведения более детальных поисковых работ, в комплекс которых должны включаться детальные биогеохимические поиски. Наиболее перспективные первоочередные, предположительно рудные биогеохимические аномалии и ореолы осматриваются и изучаются на местности в возможно кратчайший срок после их выявления. При этом выявляются наиболее удобные подъезды и подходы, уточняются и дополнительно изучаются их геологическое строение и геоморфологическое положение и производится контрольно-детализационное литобиогеохимическое опробование по одному—трем профилям, пересекающим эпицентры аномалии и выявленные при осмотре геологические и геоморфологические структуры. Особое внимание обращается на пересечение отрицательных форм рельефа, с которыми часто связаны залежи легковыветриваемых руд. При проведении таких

работ целесообразно применять полевые рентгеноспектральные анализаторы. Результаты контрольно-детализационных работ используются при составлении проекта работ на аномалиях, получивших положительную оценку для определения комплекса методов и объемов геологоразведочных работ очередного этапа.

Ландшафтно-геохимические биогеохимические ореолы и аномалии в большинстве случаев могут быть легко выделены по их приуроченности к характерным элементам местных ландшафтов: подножьям и уступам склонов, ложбинам и мелким долинам, окраинам болот, выходам подземных вод на дневную поверхность, различаемых по наличию влаголюбивой растительности, мочажин, ключей и родников. Эти ореолы обычно распознаются при внимательном осмотре на местности, а также при анализе аэрофотоснимков. Биогеохимические ореолы, приуроченные к отрицательным фонам рельефа, обычно связаны с ослабленными или трещиноватыми, часто рудоконтролирующими зонами тектонических разрывов и брекчированных пород, в том числе протяженных, линейных или дуговых, а также круговых и кольцевых зон метасоматических брекчий. Они часто являются одним из характерных признаков гидротермально-измененных рудоносных горных пород. Поэтому подобные аномалии следует относить к ландшафтно-геохимическим с большой осторожностью, привлекая для их интерпретации дополнительные данные. Например, молибденовое месторождение, расположенное в основном в долине первого порядка, фиксируется интенсивным биогеохимическим ореолом молибдена, вытянутым вдоль нее. Многочисленные биогеохимические аномалии молибдена вблизи месторождения на площади 15 км<sup>2</sup>, опоскованной в масштабе 1 : 20000, также приурочиваются к отрицательным формам гористого рельефа. Можно предполагать, что большинство их являются не ландшафтно-геохимическими, а структурно-геологическими, а некоторые из них — рудными. Чтобы уверенно отнести биогеохимические аномалии к ландшафтно-геохимическим, необходимо провести специальные исследования, доказывающие их приуроченность не к определенным горным породам или их контактам, блокам и зонам гидротермального изменения, разрывным тектоническим структурам и рудоносным зонам, а к гипергенным геохимическим барьерам, связанным с контрастным изменением ландшафтно-геохимических условий. По опыту биогеохимических поисков в Сибири ландшафтно-геохимические ореолы встречаются относительно редко, преобладают структурно-геологические ореолы и аномалии. В районах аридного климата СССР они встречаются чаще. Для их расшифровки используют соответствующие методические приемы и признаки, разработанные в процессе многолетних биогеохимических исследований [1, 7, 12, 33, 39 и др.].

Техногенные или антропогенные ореолы и аномалии могут иметь разнообразные источники и причины. Наиболее характерными из них являются пылевые и газообразные выбросы и отходы горных и промышленных предприятий, содержащие высокие концентрации определенных химических элементов. Зона загрязнения вокруг подобных предприятий обычно ограничивается первыми километрами, а в направлении преоб-

ладающих ветров достигает 30 км. Известно загрязнение растений вблизи дорог на расстояние до 200 м, связанное с запылением при перевозке руд или других грузов с высокими концентрациями некоторых элементов, а также значительное загрязнение растений, связанное с выделением тетраэтила свинца при сгорании высокооктанового бензина в двигателях внутреннего сгорания. В условиях культурных ландшафтов антропогенные ореолы и аномалии обусловлены внесением разнообразных микроэлементных удобрений, а также инсектицидов, фунгицидов, дефолиантов и других химических веществ. Как известно, многие из них содержат ядовитые химические элементы (Cd, Hg, Tl, Pb, As и др.). Эти нерудные техногенные или антропогенные ореолы и аномалии распознаются по приуроченности к культурным ландшафтам и к соответствующим горным или промышленным предприятиям, транспортным артериям и т.п. объектам. В индустриальных странах и районах эти ореолы загрязнения создают значительные трудности для использования биогеохимических и других геохимических методов поисков. Для исключения влияния подобных загрязнений необходимы их специальное изучение, а также разработка методических приемов отбора проб растений и интерпретация получаемых аналитических данных.

Ложные биогеохимические аномалии также могут иметь разнообразные причины. Наиболее многочисленны ложные аномалии, связанные с недостаточной жесткостью статистических критериев при выделении минимально-аномальных значений (статистические аномалии), значительными систематическими, а иногда и случайными погрешностями анализов (аналитические аномалии) и загрязнением проб при их отборе, хранении, подготовке и проведении анализов (аномалии загрязнения проб). Ложные аномалии могут быть выявлены и исключены с помощью соответствующих систем контроля за их причинами.

Проведение интерпретации и классификации биогеохимических ореолов и аномалий возможно только на основании опыта работ в условиях конкретных регионов. На первых этапах применения биогеохимических поисков у исполнителей возникает много вопросов. Для их разрешения необходимы систематические опытно-методические работы, а также сочетание биогеохимических поисков с другими геологическими, геофизическими методами, особенно с поисками по первичным и элювиальным литохимическим ореолам.

#### ДЕТАЛИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

Целями детализации и оценки биогеохимических аномалий являются их подтверждение, оконтуривание и прогнозная оценка рудной минерализации или обусловивших их лито-, гидро- и атмохимических ореолов и аномалий. Эти работы, как правило, должны проводиться в два этапа.

На первом, детализационном этапе проводятся детальные геологические, литобιοгеохимические, геофизические и геоморфологические исследования по инструментально разбитой сети точек наблюдения в масштабе (обычно 1 : 25 000 — 1 : 5000), обеспечивающем пересечение площа-

ди аномалии не менее чем тремя профилями, выходящими в нормальное поле, без применения дорогостоящих горных работ. Следует иметь в виду, на этом этапе в закрытых площадях невозможно получить какую-либо дополнительную информацию о геологическом строении участка детализационных работ. На нескольких десятках аномальных точек или по отдельным профилям с наиболее интенсивными биогеохимическими аномалиями целесообразно опробовать несколько видов и частей растений, дающих существенно различную информацию об источниках биогеохимических аномалий и ореолов. Это опробование проводится с целью получения данных о литохимических ореолах на различных глубинах рыхлого покрова и в элювии горных пород и руд, а также определения приблизительной мощности аллохтонного рыхлого покрова. Кроме того, по нескольким наиболее интересным отрезкам опорных профилей целесообразно провести детальное биогеохимическое опробование наиболее глубинного биообъекта (при шаге 2—5 м) с целью уточнения мест заложения первых траншей для вскрытия эпицентров аномалий и определения значений растительно-рудного коэффициента, необходимого для дальнейшей количественной интерпретации предположительно рудных биогеохимических аномалий изучаемого участка.

Второй, оценочный этап работ производится после обработки результатов исследований первого этапа на участках, где были получены положительные результаты о наличии возможной рудной минерализации. При этом эпицентры биогеохимических аномалий и наиболее интересные пересечения ожидаемых рудоносных структур вскрываются горными выработками с учетом возможного смещения этих ореолов на склонах. Проходимые при этом шурфы, траншеи и скважины должны обязательно достигать коренных горных пород. Одновременно с этим проводятся детальные биогеохимические и геофизические работы с целью уточнения геологических структур, намечившихся по результатам работ первого этапа, и расширения площади детальных поисков в случаях, когда биогеохимические и геофизические аномалии изучаемого участка работ остались неоконтуренными.

При использовании переносных полевых рентгеноспектральных анализаторов, а также других методов, обеспечивающих получение аналитических данных непосредственно на точке наблюдения или в условиях полевой лаборатории, исследования первого и второго этапов могут быть объединены в один этап детализационно-оценочных работ. Естественно, что такая организация предпочтительнее описанной выше двухэтапной проверки аномалий, при которой время между отбором и получением анализов литобиогеохимических проб измеряется 1—6 месяцами. При обычной организации работ, когда съемочно-поисковая партия ведет геолого-геофизические работы на нескольких топографических планшетах в течение 3—5 лет, проведение двухэтапных детализационно-оценочных работ на перспективных биогеохимических аномалиях не представляет затруднений. Они являются типичными для производственных геологических объединений Сибири.

Перспективные биогеохимические аномалии и ореолы, оцененные как

возможные месторождения и рудопроявления, передаются для предварительной разведки специализированным разведочным партиям.

Если вскрытие эпицентров и наиболее интересных пересечений биогеохимических и геофизических аномалий не подтвердило их ожидаемой рудной природы, следует дать обоснованное заключение о природе и источниках биогеохимических ореолов и аномалий. Для этого в ряде случаев может потребоваться сложный комплекс исследований, включающий определение различных подвижных форм основных элементов-индикаторов в разрезе рыхлых образований и коренных горных породах, гидрохимические исследования, если участок работ и его горные выработки являются обводненными, и атмохимические исследования, если элементы (Hg, F, Cl, Br, I, S и др.) могут образовывать газовые ореолы. Естественно, что в этих случаях должны быть проверены возможности загрязнения биогеохимических и литохимических проб и участка работ ореолообразующими химическими элементами.

### СОЧЕТАНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ С ДРУГИМИ МЕТОДАМИ

Биогеохимические поиски следует рассматривать как один из прямых глубинных поисковых методов, используемых в основном на подстадиях поисков и оценки площадей. Они должны являться составной частью комплекса геологических, геохимических, геофизических и геоморфологических исследований. Общие принципы сочетания различных видов поисковых работ, исходя из их геологических возможностей и экономической целесообразности в конкретных условиях, следует использовать и при биогеохимических методах. Однако комплекс применяемых методов часто включает недостаточное число прямых, глубинных и экономичных видов исследований, одним из которых является биогеохимический.

Сочетание биогеохимических поисков с другими методами должно быть заложено в организационных формах их применения. Поисковая биогеохимическая партия должна включать в себя несколько отрядов: геологический, два—четыре биогеохимических, один-два топографических, один-два геофизических, а также горный и буровой. Все свои работы биогеохимическая партия ведет под руководством главного геолога экспедиции, треста или объединения. Биогеохимические отряды, включенные в съемочно-поисковые, поисково-разведочные, разведочные и геофизические партии, должны вести свои работы в комплексе с другими методами под руководством главного геолога партии. Целесообразно концентрирование всех производственных и опытно-методических биогеохимических работ треста или объединения в одной-двух биогеохимических партиях, а работ экспедиции — в одном биогеохимическом отряде.

Сочетание биогеохимических поисков с другими поисковыми и разведочными методами производится во времени и в пространстве. Оно может заключаться в проведении биогеохимических поисков в пределах единой поисковой программы или проекта в определенной последовательности с другими методами. Например, выявленные биогеохимические аномалии

изучаются геофизическими, геоморфологическими и геологическими методами, а выявленные на закрытых и полузакрытых площадях геологические структуры, перспективные геофизические аномалии и характерные геоморфологические формы рельефа изучаются биогеохимическим методом. При этом взаимном дополнении последующие методы применяются на сравнительно локальных, наиболее интересных участках, рекомендованных для проведения более детальных комплексных исследований. Биогеохимические поиски следует использовать как составную часть комплексного геологического, геофизического и глубинного геохимического исследований закрытых площадей при геологических съемках и поисковых работах в масштабах 1 : 10000 – 1 : 200000.

Особенно целесообразно сочетание биогеохимических поисков с литохимическими (литобиогеохимические поиски), когда на закрытых площадях и участках ведутся биогеохимические поиски, а на открытых – поиски по литохимическим ореолам, с частичным перекрытием этих видов работ при переходе с одного вида опробования на другой.

В условиях, когда биогеохимические и литохимические поиски дают взаимно дополняющую информацию, целесообразно их совместное проведение. Это касается, например, условий, где одни полезные ископаемые дают открытые литохимические ореолы, а другие не могут быть выявлены почвенно-геохимической съемкой из-за полного выщелачивания основных элементов-индикаторов из почв и выветрелых выходов рудных тел. Примером таких условий могут быть открытые и полуоткрытые районы, перспективные одновременно на полиметаллы и водорастворимые бораты.

Совместное проведение биогеохимических и почвенно-геохимических поисков может быть рекомендовано также для получения объективных данных, имеющих целью сравнение геологической эффективности этих двух альтернативных методов прямых поисков на первых этапах внедрения биогеохимического метода.

Большие возможности имеет сочетание глубинных биогеохимических поисков с другими геохимическими методами в вариантах, когда биогеохимические поиски используются для детализации и оценки закрытых и полузакрытых перспективных площадей, а также аномалий и ореолов, выявленных другими методами.

В настоящее время во многих ПГО на закрытых и полузакрытых площадях зафиксированы тысячи и десятки тысяч в основном малоконтрастных почвенно-геохимических, гидрохимических и геофизических аномалий, а также шлиховых, литохимических и водных потоков рассеяния, требующих детализации и оценки глубинными методами. Включение экономических биогеохимических методов в комплекс работ на таких аномалиях, закрытых аллохтонными или склоновыми рыхлыми покровами, обещает ускорить их проверку и оценку. Такой комплекс работ, когда мелко- и среднемасштабными почвенно-геохимическими и гидрохимическими поисками выявляются перспективные аномальные площади, закрытые рыхлыми образованиями, а детальными биогеохимическими поисками в комплексе с глубинными литохимическими, геофизическими и геологическими работами производится их оценка, обещает быть одним из

эффективных комплексов поисков месторождений полезных ископаемых на таких аномалиях и аномальных площадях.

Рациональным является сочетание биогеохимических поисков с атмосферическими. Особенно это относится к атмосферическим поискам по нерудным (гелию, водороду, кислороду, углекислому газу, азоту) и углеводородным газам, однозначная интерпретация которых часто затруднительна или невозможна. Использование детальных биогеохимических поисков для оценки атмосферических аномалий предполагает повысить однозначность интерпретации комплексных атмосферических ореолов и ускорить выявление новых рудных месторождений. Целесообразно сочетать биогеохимические поиски с атмосферическими по рудным газам (ртути, сероводороду, сернистому газу, фтору, хлору, бром и йоду). Опытнометодические исследования в этом направлении позволят выяснить сферы применения наиболее глубоких газовых методов в сопоставлении с такими глубинными экспрессными и экономичными методами, какими являются биогеохимические. При этом очевидно, что использование элементов-индикаторов рудных газов в качестве биогеохимических индикаторов позволит существенно увеличить глубинность биогеохимических поисков. При сочетании газорудных поисков с руднобиогеохимическими первые будут иметь преимущества при отсутствии обводненных и заболоченных площадей, а вторые — на обводненных и заболоченных площадях. Это обусловлено тем, что такие площади обычно покрыты обильной растительностью, некоторые биообъекты которой являются безбарьерными по отношению к высоким концентрациям ртути в питающей среде. Целесообразно использование глубинных биогеохимических поисков с определением в растениях 40—50 элементов-индикаторов для оценки газорудных аномалий на закрытых площадях, которые не могут быть интерпретированы без привлечения дополнительных индикаторов разнообразных руд.

Особое внимание следует обратить на сочетание биогеохимических поисков с геофизическими исследованиями. Геофизические методы, применяемые преимущественно на закрытых площадях и представляющие в основном структурные методы, являются косвенными методами поисков рудоносных структур и весьма редко — прямыми методами поисков руд. Сочетание двух групп глубинных методов, одна из которых включает косвенные, а вторая — прямые поисковые методы, обещает быть весьма эффективным, несущим принципиально новую, взаимно дополняющую информацию. Известно, что сочетание таких независимых методов исследований дает не простое сложение информации, а значительно больший ее объем. Вторым важным обстоятельством, целесообразности сочетания биогеохимических методов с геофизическими, является то, что последние снабжены аппаратурой (радиометрической, ядерно-физической и рентгено-спектральной), которую можно использовать для экспрессных биогеохимических поисков. Эта аппаратура (например, рентгено-спектральный прибор типа "Поиск") в некоторых случаях используется для определения неинформативных элементов-индикаторов в верхних горизонтах покровных отложений различного типа. Проведение в лесных и таежных районах экспрессных определений ряда элементов-индикаторов (в настоящее время

суммы тяжелых металлов, Zn, Pb, Cu, Fe, Mn, Ba, Sr, а в будущем значительно большего спектра элементов) в корке стволов живых деревьев или их пней непосредственно в поисковом маршруте позволит без каких-либо дополнительных затрат существенно повысить эффективность использования переносных рентгеноспектральных анализаторов и включить биогеохимические поиски в комплекс разнообразных геофизических работ.

Следует иметь в виду, что при несложной на практике организации полевого озонения проб растений спектр элементов-индикаторов, определяемых с помощью современных полевых рентгеноспектральных, ядерно-физических и радиометрических анализаторов, может быть значительно расширен (до 30). При экспрессных геохимических поисках предлагается следующий порядок операций: сегодня — отбор проб, завтра — их озонение, послезавтра — анализ, а через два дня — детализация и оценка наиболее интересной выявленной аномалии.

Весьма многообещающим является сочетание структурно-геологических биогеохимических работ со структурными геофизическими исследованиями. Это позволит при незначительных дополнительных затратах выделять среди большого числа геологических структур, выявляемых геофизическими аномалиями, относительно небольшое число рудоподводящих, рудоносных и других рудоконтролирующих структур. Таким образом, включение биогеохимических поисков в комплекс исследований, выполняемых геофизическими партиями и экспедициями, обещает существенно усилить те направления геофизических методов, которые имеют дело с прямыми методами выявления, оконтуривания и оценки различных рудных месторождений, и повысить их геологическую эффективность.

Весьма целесообразно сочетание различных биогеохимических методов с быстро развивающимися детальными аэрокосмическими исследованиями в масштабах 1 : 10000 — 1 : 100000. Включение прямых, экономических, экспрессных и глубинных биогеохимических методов в комплекс наземных геолого-геофизических методов оценки предполагаемых рудоносных и рудных геологических структур, выявляемых детальными аэрокосмическими съемками, повысит эффективность и надежность проводимых работ на закрытых площадях. Особенно это касается отрицательных геоморфологических структур, требующих для своей оценки использования глубинных методов.

Во всех случаях при сочетании различных поисковых методов следует основываться на районировании изучаемой территории по условиям ведения поисковых работ и применимости различных геохимических методов, включая биогеохимические. Последние должны применяться после такого районирования как составная часть литобиогеохимических поисков только на тех площадях, где по геологической или экономической эффективности они имеют существенные преимущества перед более простыми и надежными литохимическими методами.

В последнее десятилетие в биогеохимических поисках рудных месторождений произошел определенный прогресс. Его важнейшим звеном яв-

ляется разработка нового направления в прямых, глубинных и экономич-  
ных геохимических методах — биогеохимических поисков по безбарьер-  
ным и практически безбарьерным биообъектам, основанного на определе-  
нии количественных барьерных и соответственно поисковых характери-  
стик большого числа видов, частей и остатков растений, группировке изу-  
ченных биологических объектов по этим характеристикам и выявлении  
среди них небольшого числа биообъектов, наиболее информативных в  
конкретных условиях.

К настоящему времени такая группировка проведена по 23 элементам-  
индикаторам, для каждого из которых изучено от 50 до 500 видов и час-  
тей растений Сибири и других регионов (см. табл. 4, 5, 8, 13 и 15). Для  
многих других элементов подобные таблицы приведены в предыдущих ра-  
ботах автора. Кроме того, получены предварительные данные о количест-  
венных барьерных и поисковых характеристиках еще для 29 химических  
элементов.

Обобщение этих данных позволило выявить несколько характерных  
групп биообъектов, безбарьерных по отношению к большому комплексу  
(порядка 30—40) элементов-индикаторов разнообразных руд. Такими, в  
определенной степени универсально высокоинформативными биообъекта-  
ми являются мхи и лишайники, корни древесных, кустарниковых и травя-  
нистых растений и внешние слои корки в нижней, удобной для опробова-  
ния части стволов древесных растений, а по предварительным данным по-  
следних лет — корка стеблей кустарниковых растений. Это позволило в  
1973 г. рекомендовать корку деревьев для использования при производст-  
венных биогеохимических поисках полиметаллических, золоторудных, бе-  
риллиевых и урановых месторождений, надземные части широко распро-  
страненных травянистых растений при поисках молибденовых месторож-  
дений, а мхи и лишайники — при поисках большинства видов полезных ис-  
копаемых, элементами-индикаторами которых являются Pb, Zn, Mo, Ag,  
Au, Ra. Корни растений не рекомендуются для опробования при биогеохи-  
мических поисках в связи с трудоемкостью их отбора и загрязнением  
почвой.

Дальнейшие научно-исследовательские работы и частичное использо-  
вание рекомендаций по отбору при производственных биогеохимических  
поисках безбарьерных и практически безбарьерных биообъектов, начатое  
в Сибири, после проведения в 1973—1974 гг. опытно-производственных  
работ, позволили установить безбарьерность и, соответственно, высокую  
поисковую информативность внешних слоев корки стволов деревьев на  
значительно больший комплекс элементов-индикаторов. Изучение поиско-  
вых возможностей корки деревьев для обнаружения разнообразных руд  
показало, что по этим в значительной степени универсально безбарьерным  
биообъектам одновременно могут быть выявлены почти все виды полез-  
ных ископаемых. Исключением в некоторых случаях являются молибде-  
новые и борные месторождения, так как корка некоторых видов древес-  
ных растений неинформативна или малоинформативна по отношению к  
молибдену и бору (см. табл. 15 и 22).

Научно-исследовательские и производственные работы последних лет

позволили сделать вывод, что в условиях Сибири опробование внешних слоев корки стволов широко распространенных древесных растений, допняемое в необходимых случаях одним-двумя биообъектами, безбарьерными по отношению к тем основным элементам-индикаторам руд, которые накапливаются в корке опробуемых видов древесных растений по неинформативному в поисковом отношении фоновбарьерному типу, обеспечивает одновременное выявление практически всех видов рудных месторождений. Это делает биогеохимические поиски комплексным методом опоскования закрытых территорий, требующим минимального количества дорогостоящих буровых работ для оценки выявляемых предположительно рудных биогеохимических аномалий.

Использование методик определения количественных барьерных характеристик и соответственно поисковой информативности разнообразных биологических объектов [16, 17] требует разработки практических рекомендаций по проведению высокоинформативных биогеохимических поисков по безбарьерным и практически безбарьерным биообъектам для неизученных ландшафтов и видов полезных ископаемых.

Научно-исследовательские работы 1977—1982 гг. позволили установить возможность и перспективность использования внешних слоев корки деревьев и других безбарьерных биообъектов при следующих видах геологических работ: 1) детальных поисках, имеющих целью выявление, оконтуривание и приближенно-количественную оценку продуктивности (биогеохимическая разведка) выходов отдельных рудных тел под маломощный (до 10 м) рыхлый покров склоновых или аллохтонных образований, экранирующих рудные тела и их литохимические ореолы, но не препятствующих образованию количественно-информативных биогеохимических ореолов в наиболее глубинных биообъектах; 2) структурно-геологических биогеохимических исследованиях на закрытых и полужакрытых площадях; 3) детальных литобиогеохимических исследованиях при минералогическом картировании блоков и зон гидротермально-измененных горных пород, а также площадей рудных полей, месторождений и крупных штокверковых тел; 4) определении на выявленных биогеохимических аномалиях содержания рудных элементов на различных глубинах рыхлого покрова, экранирующего литохимические ореолы, — биогеохимический каротаж.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевко В.А., Войткевич Г.В.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1979.
2. *Биогеохимические и геоботанические исследования* / Е.Е. Белякова, Н.Н. Васильева, Л.И. Грабовская и др. Л., Недра, 1972.
3. *Биогеохимические поиски рудных месторождений.* Под ред. А.Л. Ковалевского и А.И. Перельмана. Улан-Удэ, Изд-во Бурятск. фил. СО АН СССР, 1969, 288 с.
4. *Вернадский В.И.* Проблемы биогеохимии. — Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, т. 16, 1980.
5. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М., Изд-во АН СССР, 1957.
6. *Власюк П.А.* Биологические элементы в жизнедеятельности растений. Киев, Наукова думка, 1969.
7. *Иванчиков В.П.* Биогеохимические поиски в Центральном Казахстане. — В кн.: Геохимия ландшафтов рудных провинций. М., 1982.
8. *Ивашов П.В.* Теоретические основы биогеохимического метода поисков рудных месторождений. Новосибирск, Наука, 1976.
9. *Иванович В.И.* Молибденовые месторождения Западного Забайкалья и особенности их поисков. — Сов. геология, 1980, № 6, с. 34—46.
10. *Иванович В.И., Жбанов Э.Ф., Радченко П.И.* Геохимические поиски молибденовых месторождений в Бурятской АССР. — В кн.: Геохимические методы поисков м-ний цветных металлов. Новосибирск, 1979, с. 88—99.
11. *Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений.* М., Недра, 1965.
12. *К биогеохимии некоторых регионов* / Ф.В. Чухров, Л.П. Ермилова, Г.Е. Каленчук, И.Б. Никитина — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1981, № 7, с. 86—100.
13. *Карякин А.В., Грибовская И.Ф.* Эмиссионный спектральный анализ объектов биосферы. М., Химия, 1979.
14. *Ковалевский А.Л.* Биогеохимические методы поисков золоторудных месторождений. Обзор. М., ОЦНТИ ВИЭМС, 1974.
15. *Ковалевский А.Л.* Особенности формирования рудных биогеохимических ореолов. Новосибирск, Наука, 1975.
16. *Ковалевский А.Л.* Биогеохимические методы поисков месторождений цветных металлов. Обзор. М., ОЦНТИ ВИЭМС, 1976.
17. *Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М.* Биогеохимические поиски бериллиевых месторождений. Новосибирск, Наука, 1979.
18. *Ковалевский А.Л., Ковалевская О.М.* Биогеохимические ореолы золоторудных и вольфрамовых месторождений. — В кн.: Тектоника и геохимия зон крупных разломов Забайкалья. Улан-Удэ, 1982, с. 97—120.
19. *Ковалевский А.Л., Томский И.В.* Определение цинка в коре деревьев полевыми рентгеновскими анализаторами. — Докл. АН СССР, 1980, т. 251, № 1, с. 173—176.
20. *Ковальский В.В.* Геохимическая экология. М., Наука, 1974.
21. *Ковда В.А.* Основы учения о почвах. М., Наука, 1973.
22. *Красников В.И.* Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., Недра, 1965.
23. *Левинсон А.А.* Введение в поисковую геохимию. М., Мир, 1976.
24. *Малюга Д.П.* Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1963.
25. *Мармо В.* Биогеохимические исследования в Финляндии. — В кн.: Геохим. методы поисков рудных м-ний. М., ИЛ, 1954, с. 443—460.
26. *Методическое руководство по геохимическим методам поисков рудных месторождений в Якутии* / В.А. Биланенко, Г.В. Бархатов, Г.П. Лопав и др. Якутск, 1977.
27. *Мицкевич Б.Ф.* Геохімічні ландшафти Українського щита. Київ, Наукова думка, 1971.

28. Новая вулканическая структура с молибденовой минерализацией в Западном Забайкалье / В.В. Скрипкина, В.Л. Верник, Л.И. Рейф и др. — Докл. АН СССР, 1982, т. 264, № 6, с. 1461—1464.

29. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М., Высшая школа, 1975.

30. Перельман А.И. Геохимия. М., Высшая школа, 1979, 423 с.

31. Питулько В.М. Вторичные ореолы рассеяния в криолитозоне. Л., Недра, 1977.

32. Радченко П.И. Эффективность биогеохимической съемки на юге Бурятии. — В кн.: Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. Вып. 4, М., 1982, с.36—38 (ИМГРЭ).

33. Разенкова Н.И., Самойлова Ю.С. Ртуть в зоне окисления. М., Недра, 1975.

34. Скарлыгина-Уфимцева М.Д., Черняхов В.Б., Березкина Г.А. Биогеохимические особенности месторождений Южного Урала. Изд-во ЛГУ, 1976.

35. Соловов А.П. Современное состояние и перспективы развития геохимических методов поисков. — Вестн. МГУ. Геология, 1978, № 2, с. 3—28.

36. Таусон Л.В., Китаев Н.А., Жукова Р.И. Оценка информативности биогеохимического опробования при поисках полей концентрирования золота. — Докл. АН СССР, 1980, т. 251, № 2, с. 460—463.

37. Ткалич С.М. Фитогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых. Л., Недра, 1970.

38. Труды Биогеохимической лаборатории АН СССР, тт. 1—20, 1930—1982.

39. Флерова Т.П., Флеров В.Е. Опыт проведения биогеохимических и геоботанических поисков в Джунгарском Алатау. — В кн.: Материалы по геол. и полезн. ископ. Южного Казахстана. Вып. 2 (27). Алма-Ата, 1964, с. 144—152.

40. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л., Наука, 1974.

41. Brooks R.R. Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration. N.Y. — London, Harper a. Row, 1972.

42. Hornbrook E.H.W. Biogeochemical prospecting for molybdenum in west-central British Columbia. — Geol. Surv. Canada, paper 68—56, 1969.

43. Lagerwerff J.V., Armiger W.H., Specht A.W. Uptake of lead by alfalfa and corn from soil and air. — Soil Sci., 1973, v. 115, N 6, p. 455—460.

44. Lovering T.G. Lead in the environment. — U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 1976, N 957.

45. Nraigu J.O. The biogeochemistry of lead in the environment. N.Y., Elsevier Press, 1978.

46. Reeves R.D., Brooks R.R. Trace element analysis of geological materials. N.Y., John Wiley a. Sons, 1978.

47. Shacklette H.T. Cadmium in plants. Bull. U.S. Geol. Surv., 1972, N 1314—G.

48. Warren H.V. Biogeochemistry in Canada. — Engavour, 1972, v. 31, N 112, p. 46—49.

49. Warren H.V., Delavault R.E. Further studies of the biogeochemistry of molybdenum. — Western Miner, 1965, v. 38, N 10, p. 64—72.

50. Warren H.V., Delavault R.E., Barakso J. Some observations of the geochemistry of mercury as applied to prospecting. — Econ. Geol., 1966, v. 61, N 6, p. 1010—1028.

## Латинские названия растений, упоминаемых в тексте

Акация желтая	<i>Caragana arborescens</i> Lam.
Аконит бородачатый	<i>Aconitum barbatum</i> Pers.
Аконит Чекановского	<i>Aconitum Czekanovskyi</i> Steinb.
Аконит	<i>Aconitum</i> sp.
Актинидия коломикта	<i>Actinidia kolomicta</i>
Аморфа	<i>Amorpha</i> sp. L.
Арбуз обыкновенный	<i>Citrullus vulgaris</i> Forsk.
Астра алтайская	<i>Aster altaicus</i> Willd.
Астра альпийская	<i>Aster alpinus</i> L.
Астрагал донниковый	<i>Astragalus melilotoides</i> Pall.
Астрагал кустарниковый	<i>Astragalus fruticosus</i> Pall.
Астрагал перепончатый	<i>Astragalus membranaceus</i> (Fisch.) Bge.
Астрагал приподнимающийся	<i>Astragalus adsurgens</i> Pall.
Багульник болотный	<i>Ledum palustre</i> L.
Барбарис сибирский	<i>Berberis sibirica</i> Pall.
Бархат амурский	<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.
Береза бородавчатая	<i>Betula verrucosa</i> Ehrh.
Береза гибридная	<i>Betula hybrida</i> Schelud.
Береза карликовая	<i>Betula nana</i> L.
Береза круглолистная	<i>Betula rotundifolia</i> Spach.
Береза кустарниковая	<i>Betula fruticosa</i> Pall.
Береза маньчжурская	<i>Betula mandschurica</i> Nakai.
Береза мелколистная	<i>Betula microphylla</i> Bge.
Береза Миддендорфа	<i>Betula Middendorffii</i> Trautv et Mey.
Береза низкая	<i>Betula humilis</i> Schrank.
Береза плосколистная	<i>Betula platyphylla</i> Sukacz.
Береза пушистая	<i>Betula pubescens</i> Ehrh.
Берест	<i>Ulmaceae campestris</i> L.
Бескильница тонкоцветная	<i>Puccinellia tenuiflora</i> Turcz.
Биюргун	<i>Anabasis salsa</i> (C.A. Mey.) Benth.
Бобовое гигантское	<i>Vicia</i> sp.
Бодяк	<i>Cirsium</i> sp.
Бонгарзия золотистая	<i>Crataegus aurerum</i> L.
Борщевик	<i>Heracléum</i> sp.
Боярышник	<i>Crataegus</i> sp.
Брусника обыкновенная	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.
Бук	<i>Fagus</i> sp.
Василек растопыренный	<i>Centaurea Aquarrosa</i> Willd.
Василек	<i>Centaurea</i> sp.
Василистник байкальский	<i>Thalictrum baicalense</i>
Василистник	<i>Thalictrum</i> sp.
Вейник Лангсдорфа	<i>Calamagrostis purpurea</i> Trin.
Вейник ланландский	<i>Calamagrostis Lapponica</i> (Wahl.) Harm.
Вейник наземный	<i>Calamagrostis epigeios</i> L.
Верблюжья колочка	<i>Alhagi</i> Adans.
Вереск	<i>Calluna Salisb</i>
Вика однопарная	<i>Vicia unijuga</i> A.Br.
Волоснец сибирский	<i>Leymus sibiricus</i> L.
Вяз	<i>Ulmus</i> sp. L.
Гикорий	<i>Hicoria (Caria)</i> sp.
Голубика	<i>Vaccinium uliginosum</i> L.
Горицвет амурский	<i>Adonis amurense</i> Rgl. et Radde.
Горох посевной	<i>Pisum sativum</i> L.

Горошек заборный  
Горошек мышиный  
Горошек  
Горчак розовый  
Граб  
Гриб масленок  
Гриб моховик  
Гриб подосиновик  
Гриб трутовик  
Груша  
Донник  
Дуб  
Дуб монгольский  
Ежа сборная  
Ель аянская  
Ель белая (канадская)  
Ель сибирская  
Ель Энгельмана  
Ерник  
Жимолость алтайская  
Жимолость голубая  
Жимолость мелколистная  
Жимолость обыкновенная  
Жимолость татарская  
Зверобой  
Зизифора  
Зопник клубненосный  
Ива канадская  
Ива карликовая (ерник, ивка)  
Ива козья (бредина)  
Ива колымская  
Ива прутовидная  
Ива пятичичиновая  
Ива Радде  
Ива Старка  
Ива суходобивая  
Ива узколистная  
Ива Флодера  
Ивка, см. ива карликовая  
Ирга  
Ирис  
Ирис русский  
Калина  
Карагана алтайская  
Карагана Бунге  
Карагана карликовая  
Кастилея  
Кассиопея вересковидная  
Кедр  
Кедр сибирский  
Кедровый стланик (сосна малорослая)  
Кизильник  
Кипрей узколистный  
Кладония альпийская  
Кладония стройная  
Клевер белый  
Клевер красный

*Vicia sepium* L.  
*Vicia cracca* L.  
*Vicia* sp.  
*Acroptilon picrus* C.A.M.  
*Carpinus* sp.  
*Boletus luteus* (L.) Henn.  
*Boletus variegatus* Sw.  
*Boletus rufus* Schaeff.  
*Boletus fomentarius*  
*Pyrus* sp.  
*Melilotus* Hill.  
*Quercus* sp.  
*Quercus mongolica* Fisch.  
*Dactylis glomerata* L.  
*Picea jezoensis* Carr.  
*Picea alba* Link. (*P. canadensis* Britt.)  
*Picea obocata* Ledeb.  
*Picea Engelmannii* Engelm.  
*Betula* sp., *Salix* sp.  
*Lonicera altaica* Pall.  
*Lonicera coerulea* L.  
*Lonicera microphylla* Willd.  
*Lonicera xylosteum* L.  
*Lonicera tatarica* L.  
*Hypéricum* sp. L.  
*Ziziphora tenuior* L.  
*Phlomis tuberosa* L.  
*Salix canadensis*  
*Salix* sp.  
*Salix caprea* L.  
*Salix kolymensis* O.v.Seem.  
*Salix viminalis* L.  
*Salix pentandra* L.  
*Salix raddeana* Laksch.  
*Salix Starkiana* Willd.  
*Salix xerophylla* Flod.  
*Salix* sp.  
*Salix Floderusii*  
  
*Amelanchier* sp.  
*Iris* sp.  
*Iris ruthenica* (Kor.) Gawl.  
*Viburnum* sp.  
*Caragana altaica* Pojark.  
*Caragana Bungei* Ledeb.  
*Caragana pygmaea* (L. ?) D.C.  
*Castilleja* sp.  
*Cassiope ericoides* D. Don.  
*Pinus* sp.  
*Pinus sibirica* (Rupr) Mayrc.  
*Pinus pumila* Pall. (Rgl.)  
*Cotoneaster* Med.  
*Epilobium angustifolium* L.  
*Cladonia alpestris* (L.) Raben.  
*Cladonia gracilis* (L.) Willd.  
*Trifolium alba* L.  
*Trifolium rubens* L.

Клевер луговой	<i>Trifolium pratense</i> L.
Клевер ползучий	<i>Trifolium répens</i> L.
Клевер мелколистный	<i>Acer monofolium</i> Maxim.
Княженика	<i>Rubus árticus</i> L.
Княжик охотский	<i>Atragene ochotensis</i> Pall.
Княжик сибирский	<i>Atragene sibirica</i> L.
Ковыль волосатик	<i>Stipa capillata</i> L.
Ковыль Крылова	<i>Stipa Krylovii</i> Rochev.
Ковыль сарептский	<i>Stipa sareptána</i> Beck.
Ковыль сибирский	<i>Stipa sibirica</i> L.
Коровяк бактрийский	<i>Verbascum bactrianum</i> Bge.
Костер безостый	<i>Bromus inermis</i> L.
Костер иркутский	<i>Bromus irkutensis</i> Kom.
Костер ржаной	<i>Bromus secalinus</i> L.
Костер сибирский	<i>Bromus sibiricus</i> Drob.
Костяника	<i>Rúbus saxátilis</i> L.
Кохия простертая	<i>Kóchia prostrata</i> L.
Кочедыжник мягкий	<i>Athyrium mite</i> Christ.
Кошачья лапка	<i>Antennária</i> sp. Gaertn.
Крапива	<i>Urtica</i> sp.
Кровохлебка аптечная	<i>Sanguisorba officinalis</i> L.
Крыжовник	<i>Grossulária</i> sp.
Кувшинка	<i>Nymphaea</i> sp.
Кукуруза обыкновенная	<i>Zea máys</i> L.
Купена аптечная	<i>Polygonatum officinale</i> All.
Курильский чай	<i>Dasiphora frutícosa</i> Raf.
Лапчатка пижмолистная	<i>Potentilla tanacetifolia</i> Willd.
Ластовень сибирский	<i>Anfitoxium sibiricum</i> L.
Лебеда	<i>Atriplex</i> sp.
Леспедеца двуцветная	<i>Lеспедеза bicolor</i> Turcz.
Леспедеца копеечниковая	<i>Lеспедеза hedurasoides</i> Pall.
Лещина обыкновенная	<i>Córylus avellána</i> L.
Лимонник китайский	<i>Schizandra chinensis</i> Baill.
Линнея северная	<i>Linnaea poreális</i> L.
Липа амурская	<i>Tilia amurensis</i> Rupr.
Липа маньчжурская	<i>Tilia mandshurica</i> Rupr. et Maxim.
Липучка обыкновенная	<i>Lappula echinata</i> Gilib.
Лиственница даурская	<i>Larix dahurica</i> Turcz.
Лиственница сибирская	<i>Larix sibirica</i> Lidb.
Лишайник (олений мох — ягель)	<i>Cladonia gracilis</i> (L.) Willd.
Лишайник	<i>Cladonia</i> sp.
Лох	<i>Elaeagnus</i> sp. L.
Лук	<i>Allium</i> sp.
Люцерна	<i>Medicágo</i> sp.
Люпин	<i>Lupinus</i> sp.
Майник двулистный	<i>Maiántémum bifolium</i> L.
Мак желтый	<i>Papáver</i> sp.
Малина обыкновенная	<i>Rúbus idaeús</i> L.
Малина сахалинская	<i>Rúbus sachalinensis</i> Levl.
Марьян корень (пион)	<i>Paeonia anomala</i> L.
Миндаль обыкновенный	<i>Amygdalus communis</i> L.
Можжевельник односемянной	<i>Juniperus monosperma</i> (Engelm.) Say.
Молочай	<i>Euphória</i> sp. L.
Морковник	<i>Silaum</i> sp. Mill.
Мох (кукушкин лен)	<i>Polytrichum hyperboreum</i> R.Br.
Мята	<i>Méntha</i> sp. L.
Мятлик луговой	<i>Poa pratensis</i> L.

Нителюстик сибирский	<i>Filifolium sibiricum</i> (L.) Kitam.
Ноняя темно-бурая	<i>Nonea pulla</i> (L.) DC.
Овес посевной	<i>Avena sativa</i> L.
Овсяница луговая	<i>Festuca pratensis</i> Huds.
Одуванчик лекарственный	<i>Taraxacum officinalis</i> Wigg.
Ольха кустарниковая	<i>Alnus fruticosa</i> Rupr.
Ольха вырезная	<i>Alnus sinuata</i> Rydb.
Осина дрожащая	<i>Populus tremula</i> L.
Осока	<i>Carex</i> sp.
Осока аргунская	<i>Carex argunensis</i> Turcz.
Осока головчатая	<i>Carex capitata</i> L.
Осока дернистая	<i>Carex caespitosa</i> L.
Осока ланцетная	<i>Carex lanceolata</i> Boot.
Осока лесная	<i>Carex silvatica</i> Huds.
Осока стоповидная	<i>Carex pediformis</i> (C.A.) Mey.
Осочка пустынная	<i>Carex pachystylis</i> J. Gay.
Очиток пурпуровый	<i>Sedum purpureum</i> (L.) Schult.
Папоротник-орляк	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.
Патриния сибирская	<i>Patrinia sibirica</i> (L.) Juss.
Пижма	<i>Tanacetum</i> sp. L.
Пижма обыкновенная	<i>Tanacetum vulgare</i> L.
Пихта белокорая	<i>Abies nephrolepis</i> Maxim.
Пихта сибирская	<i>Abies sibirica</i> L.
Пихта субальпийская	<i>Abies lasiocarpa</i> Nutt.
Плаун	<i>Lycopodium</i> sp. L.
Подмаренник настоящий	<i>Gallium verum</i> L.
Подсолнечник	<i>Helianthus annuus</i> L.
Полевица белая	<i>Agróstis alba</i> L.
Полевица Триниуса	<i>Agrostis trinii</i> Turcz.
Полынь австрийская	<i>Artemisia austriaca</i> Jacq.
Полынь веничная	<i>Artemisia scoparia</i> Waldstetkit.
Полынь Гмелина	<i>Artemisia Gmelini</i> Wob. et Stechm.
Полынь малоцветковая	<i>Artemisia pauciflora</i> Web.
Полынь маньчжурская	<i>Artemisia manschurica</i> Kom.
Полынь обыкновенная	<i>Artemisia vulgaris</i> L.
Полынь побегоносная	<i>Artemisia stolonifera</i> Maxim.
Полынь сероземная	<i>Artemisia Herba alba</i> Asso.
Полынь скальная	<i>Artemisia rupestris</i> L.
Полынь холодная	<i>Artemisia frigida</i> Willd.
Поповник	<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.
Прострел	<i>Pulsatilla tenuiloba</i> (Hayek.) Juz.
Псевдотсуга Мензиеси	<i>Pseudotsuga Menziesii</i>
Пушица	<i>Eriophorum</i> sp. L.
Пшеница	<i>Triticum</i> sp. L.
Райграс высокий	<i>Arrhenatherum elatius</i> L.
Резуха пониклая	<i>Arabis pendula</i> L.
Рододендрон белоцветковый	<i>Rhododendron albiflorum</i>
Рододендрон даурский	<i>Rhododendron dahurica</i> Turcz.
Рододендрон золотистый	<i>Rhododendron aureum</i> Georgi.
Рожь посевная	<i>Secale cereale</i> L.
Рябина обыкновенная	<i>Sorbus aucuparia</i> L.
Рябина сибирская	<i>Sorbus sibirica</i> Hedl.
Саксаул черный	<i>Haloxylon aphyllum</i> (Minkw.)
Саранка	<i>Lilium mártagon</i> L.
Свекла обыкновенная	<i>Béta vulgaris</i> L.
Серпуха васильковая	<i>Serratula centauroides</i> L.
Синюха голубая	<i>Polemonium coeruleum</i> L.

Синюха	<i>Polemonium</i> sp. L.
Скабиоза венечная	<i>Scabiosa comosa</i> Fisch.
Скерда тонколистная	<i>Crepis tenuifolia</i> Willd.
Смолевка злаковидная	<i>Silene graminifolia</i> Otth.
Смолевка обыкновенная	<i>Silene venosa</i> Gilib.
Смородина красная	<i>Ribes rubrum</i> L.
Смородина мелкоцветная	<i>Ribes parviflora</i> (Ehrh.) Pers.
Смородина моховка	<i>Ribes procumbens</i> Pall.
Смородина черная	<i>Ribes nigrum</i> L.
Солянка	<i>Salsola</i> sp. L.
Сосна белокорая	<i>Pinus albicaulis</i> Engelm.
Сосна желтая	<i>Pinus ponderosa</i> , Dougl.
Сосна обыкновенная	<i>Pinus silvestris</i> L.
Сосна черная	<i>Pinus contorta</i>
Соссюрея	<i>Saussurea</i> sp.
Соссюрея иволистная	<i>Saussurea salicifolia</i> L.
Стеллера карликовая	<i>Stellera chamaejasme</i> L.
Схизонепета многонадрезная	<i>Schizonepeta multifida</i> (L.) Brig.
Таволга зверобоелистная	<i>Spiraea hypericifolia</i> L.
Таволга иволистная	<i>Spiraea salicifolia</i> L.
Таволга средняя	<i>Spiraea media</i> Fr. Schmidt.
Таволга трехлопастная	<i>Spiraea trilobata</i> L.
Тамарикс	<i>Tamarix</i> sp. L.
Тонконог тонкий	<i>Koeleria cristata</i> (L.) Pers.
Тополь	<i>Pópulus</i> sp. L.
Тыква	<i>Cucúrbita</i> sp. L.
Тысячелистник азиатский	<i>Achillea Asiatica</i> Serg.
Тысячелистник "чихоточная трава"	<i>Achillea ptarmica</i> L.
Фломис	<i>Phlomis thapsoides</i> Bge.
Хвощ болотный	<i>Equisetum palústre</i> L.
Хвощ лесной	<i>Equisetum sylvaticum</i> L.
Хвощ луговой	<i>Equisetum pratense</i> Ehrb.
Хохлатка пенолистная	<i>Corydális paeoniifolia</i> (Steph.) Pers.
Хризантема скальная	<i>Dendranthema</i> (D.C.), Des Moul.
Чемерица	<i>Verátrum</i> sp. L.
Черемша	<i>Allium ursinum</i> L.
Черника	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.
Чий	<i>Lasiagrostis splendens</i>
Эдельвейс эдельвейсовидный	<i>Leontopodium leontopodiodes</i> Willd.
Эфедра	<i>Éphedra</i> sp. L.
Ясень	<i>Fráxinus</i> sp. L.
Ячмень короткоостый	<i>Hórdeum brevisubulatum</i> (Trin.) Link.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	5
Глава 1. Общие теоретические основы биогеохимических поисков месторождений полезных ископаемых . . . . .	10
Глава 2. Закономерности формирования рудных биогеохимических ореолов на примере Zn, Pb, Cu, Hg, Mo и других элементов-индикаторов . . . . .	22
Глава 3. Некоторые практические результаты биогеохимических поисков рудных месторождений . . . . .	92
Молибденовые месторождения . . . . .	92
Полиметаллические месторождения . . . . .	108
Глава 4. Методика биогеохимических поисков рудных месторождений . . . . .	125
Выбор площадей . . . . .	127
Масштабы и поисковые сети . . . . .	131
Отбор проб растений . . . . .	132
Подготовка проб растений к анализам . . . . .	138
Анализ биогеохимических проб . . . . .	141
Обработка данных биогеохимических поисков . . . . .	144
Интерпретация результатов биогеохимических поисков . . . . .	149
Детализация и оценка биогеохимических аномалий . . . . .	157
Сочетание биогеохимических поисков с другими методами . . . . .	159
Список литературы . . . . .	165
Приложение. Латинские названия растений, упоминаемых в тексте . . . . .	167

Александр Леонидович Ковалевский

## БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Редактор издательства С.Г. Бароянц  
Обложка художника Л.Н. Курьерова  
Художественный редактор Е.Л. Юрковская  
Технический редактор Л.С. Гладкова  
Корректор Е.В. Мухина  
Оператор И.А. Павловская

ИБ № 8669

---

Подписано в печать 28.04.84. Т-09576. Формат 60x90<sup>1/16</sup>. Бумага офсетная № 2.  
Набор выполнен на наборно-пишущей машине типа ИБМ "Композер". Гарнитура  
"Пресс-Роман". Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,0. Усл. кр.-отт. 11,25. Уч.-изд. л. 13,0.  
Тираж 1165 экз. Заказ 1395 /8669-2. Цена 70 коп.

---

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра", 103633, Москва, К-12,  
Третьяковский проезд, 1/19

Московская типография № 9 Союзполиграфпрома при Государственном комитете  
СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
Москва Ж-3/3, Волочаевская, 40.

**ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!**

**В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "НЕДРА"**

**ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ НОВЫЕ КНИГИ**

**АРИСТОВ В.В.** Методика геохимических поисков твердых полезных ископаемых. — М.: Недра, 1984 — 15 л., ил. — 80 к.

Рассмотрены объекты геохимических поисков, их системный анализ и моделирование. Дана классификация геохимических методов поисков по условиям их применения. Описаны дистанционные, контактные и контактно-дистанционные методы. Изложена методика геохимических поисков в различных геологических и ландшафтных условиях на разных стадиях поисковых и разведочных работ. Освещены вопросы интерпретации геохимических данных и оценки геохимических полей и аномалий для прогноза и поисков эндогенных и экзогенных месторождений твердых полезных ископаемых.

Для геологов, занимающихся поисками и разведкой месторождений твердых полезных ископаемых.

**БРАУНЛОУ А.Х.** Геохимия: Пер. с англ. — М.: Недра, 1984 — 52 л., ил. — В пер.: 4 р.

На современном уровне дано краткое изложение теоретических основ общей и прикладной геохимии. Последовательно рассмотрены электронное строение атомов, химические элементы, стабильные и радиоактивные изотопы, методы определения абсолютного возраста минералов и пород. Отдельные главы посвящены термодинамике, гидрогеохимии, кристаллохимии, органической геохимии, геохимии осадочных, интрузивных и метаморфических горных пород.

Для геохимиков, минералогов, петрографов и других специалистов, занимающихся изучением природных геологических объектов. Может быть полезна преподавателям и студентам вузов геологического профиля.

САПРЫКИН Ф.Я. Геохимия почв и охрана природы. — Л.: Недра, 1984 — 18 л., ил. — В пер.: 1 р. 30 к.

Рассмотрены геохимические особенности почвообразования в гумидном и аридном климате, особое внимание обращено при этом на нечерноземную зону и на роль ледниковой деятельности при создании специфических почвообразующих пород, а также на процесс оподзоливания почв. Показана роль отдельных химических элементов в жизнедеятельности растений и человека. Дано описание аэрохимического метода повышения плодородия почв, основанного на внесении в них осадочных пород, способных улучшить структуру и ликвидировать дефицит нужных химических элементов. Применение метода позволяет улучшить окружающую среду и сэкономить большое количество минеральных удобрений.

Для геологов, геохимиков, почвоведов, биохимиков, агрохимиков, агрономов.

МЯГКОВ В.Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд. — М.: Недра, 1984 — 10 л., ил. — 55 к.

Описан метод парагенетического анализа руд, основанный на изучении пространственных соотношений геохимических полей концентрации вещества в рудных телах и ореолах месторождений полезных ископаемых. Показаны возможности метода, который позволяет выделять парагенезисы компонентов руд, оценивать полигенерационность их состава и диагностировать генетические типы зонального строения рудных тел. Приведенные результаты исследований помогают решению многих поисково-разведочных задач (разбровка геохимических аномалий, определение плотности разведочной сети и системы опробования, выделение типов руд и др.), что способствует повышению эффективности геолого-разведочных работ.

Для геохимиков, геологов и других специалистов, занимающихся поисками, разведкой и изучением руд.

ПОИСКИ меднорудных месторождений / Бородаевская М.Б., Володин Р.Н., Кривцов А.И. и др. — М.: Недра, 1984 — 17 л., ил. — В пер.: 1 р.

Рассматриваются геологические основы и методы поисков месторождений меди. Дается промышленно-генетическая типизация месторождений с учетом современных требований к меднорудному сырью и его комплексному использованию. Анализируются тенденции и перспективы развития сырьевой базы медедобывающей промышленности. На базе формационного и системного анализа рассматриваются типовые поисковые модели месторождений. Особое внимание уделяется методике поисков скрытых меднорудных месторождений.

Для геологов-производственников; может быть использована в качестве учебного пособия в вузах геологического профиля.

**ЧЕТВЕРИКОВ Л.И.** Теоретические основы разведки недр. — М.: Недра, 1984 — 15 л., ил. — 2 р. 30 к.

Рассматриваются в широком плане теоретические основы разведки недр. Определяется предмет и цель разведки. Даются модели недр и устанавливается метод разведки, вне зависимости от решаемых разведкой прикладных задач. Детально рассматривается разведочная сеть и ее влияние на результат разведки. Особое внимание уделяется теоретическим принципам оценки результатов разведки недр и методическим вопросам оптимизации разведки.

Для специалистов, работающих в прикладных областях геологии и связанных с вопросами разведки недр в научной и практической работе.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел "Книга — почтой" магазинов:

№ 17 — 199178, Ленинград, В.О., Средний проспект, 61;

№ 59 — 127412, Москва, Коровинское шоссе, 20.

70 коп.

2

$\frac{103}{2}$

4269

24

НЕДРА