

П. В. ИВАШОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА”
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ХАБАРОВСКИЙ КОМПЛЕКСНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

П. В. ИВАШОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА
ПОИСКОВ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

(применительно к территории Дальнего Востока)

Ответственный редактор
докт. биол. наук А. М. Ивлев

1734



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Новосибирск • 1976



В монографии описаны результаты биогеохимических исследований на различных рудных месторождениях и рудопроявлениях — оловянных, полиметаллических и редкометалльных с целью разработки теоретических основ биогеохимического метода поисков цветных, редких и рассеянных химических элементов применительно к условиям лесной и лесостепной зон Дальнего Востока.

Освещены особенности миграции и накопления различных металлов — олова, бериллия, вольфрама, молибдена, циркония, лития и других в почвах и растениях в пределах зон оруденения и вне их. Установлено, что рудная минерализация любого генетического типа сопровождается биогеохимическими ореолами и контрастными биогеохимическими аномалиями в их пределах, четко отбивающими рудопроявления. Это дает основание утверждать, что биогеохимический метод поисков в комплексе с другими геохимическими методами может быть применен для обнаружения возможных рудопроявлений на перспективных участках территории Дальнего Востока.

Монография представляет интерес для геологов, геохимиков, биогеохимиков, почвоведов, а также специалистов по геохимическим методам поисков рудных месторождений.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время геохимические методы поисков рудных месторождений являются основными. Они позволяют обнаружить месторождения большинства химических элементов. Среди геохимических методов поисков равноправное место занимает биогеохимический метод, разработка теоретических основ которого особенно широко проводилась за последние 10 лет. За эти годы появились основные публикации как по *опытно-методическим разработкам метода*, так и по *практике биогеохимических поисков*. Достаточно отметить, что биогеохимический метод наряду с другими геохимическими методами включен в Инструкцию по геохимическим методам поисков рудных месторождений, утвержденную Министерством геологии СССР.

Имеющиеся материалы по биогеохимическим поискам в Сибири, на Урале, в Средней Азии, Казахстане, на Украине, Кавказе, в Белоруссии и Молдавии свидетельствуют о больших перспективах биогеохимического метода в конкретных горно-геологических и ландшафтных условиях, где другие геохимические методы малоэффективны или бесполезны. Однако применительно к огромной территории Дальнего Востока биогеохимические исследования с целью разработки метода до последнего времени почти не проводились. Между тем эта территория нашей страны характеризуется своеобразными ландшафтными условиями, зависящими от специфических природных особенностей, в частности, от муссонного климата вследствие близости Тихого океана.

В данной монографии, представляющей собой первую сводку по восточной части страны, отражен опыт систематических и специальных биогеохимических исследований для разработки теоретических основ биогеохимического метода поисков руд применительно к лесной и лесостепной зонам Дальнего Востока, т. е. той части территории этого обширного региона, где больше всего проявляются черты муссонного умеренного гумидного климата. В ней впервые изложены новые данные по биогеохимии цветных, редких и рассеянных химических элементов, по их особенностям накопления и миграции в почвах и растениях на рудных месторождениях горных ландшафтов лесной зоны Дальнего Востока.

Автор выражает свою признательность В. М. Анисимову, В. В. Бардуку, А. А. Бабурину, Е. С. Бояршинову, В. А. Булгакову, Е. С. Петрову, А. Г. Кольцовой, Э. Н. Сохиной, принимавшим участие в сборе и обработке полевого фактического материала, коллективу химико-аналитической лаборатории Хабаровского КНИИ ДВНЦ АН СССР и ответственному редактору.

За поддержку тематики исследований и за консультации автор благодарит члена-корреспондента АН СССР, доктора геолого-минералогических наук профессора А. С. Хоментовского.

ВВЕДЕНИЕ

Технический прогресс и высоко развитое народное хозяйство нашей страны во многом обусловлены богатыми минерально-сырьевыми ресурсами. Геологическая служба, широко развернутая на всей территории СССР, с каждым годом дает возможность открывать и передавать промышленности новые месторождения полезных ископаемых.

В настоящее время среди методов поисков руд основными являются геохимические, позволяющие обнаружить месторождения большинства химических элементов. Геохимические поиски основаны на учении о миграции химических элементов, т. е. перемещении, рассеянии и концентрации последних в недрах земной коры и на поверхности земли, заложенном академиками В. И. Вернадским, А. Е. Ферсманом, А. П. Виноградовым и продолженном их учениками. Главная задача геохимических методов поисков заключается в обнаружении ореолов рассеяния вокруг месторождений, а по ним и выявление самого месторождения. Среди геохимических методов в последние годы значительный интерес приобретают биогеохимические методы, в составе которых выделяют собственно биогеохимический, геоботанический и бактериальный (микробиологический).

Собственно биогеохимический метод основан на тесной связи между содержанием химических элементов в растениях, с одной стороны, и в почвах и материнских (коренных) породах — с другой. В настоящее время в растениях обнаружены почти все химические элементы, известные в природе. Некоторые из них, такие как медь, молибден, марганец, цинк, никель, кобальт, бор и др., жизненно важные для растений, играют в них определенную физиологическую роль, участвуя в биохимических процессах. Ряд же элементов, вероятно, попадает в растения вынужденно в процессе минерального питания. В конечном счете все химические элементы, имеющиеся в минеральном субстрате, оказываются в растениях, создавая биогеохимические (биогенные) ореолы рассеяния.

Сущность собственно биогеохимического метода поисков состоит в нахождении рудного месторождения по биогенным ореолам рассеяния соответствующего химического элемента. Этот метод использует в качестве руководящего признака повышение содержания отдельных рудных химических элементов в растениях, распространенных над месторождением. Произрастая над эпицентрами рудных залежей, растения при помощи корневой системы внедряются в почву и в подпочвенный слой, достигая рудных тел. Корневые волоски растений поглощают почвенную влагу и вместе с ней растворенные минеральные соли рудных химических элементов. В некоторых случаях при определенных условиях корневые волоски растений могут переводить в подвижное состояние и поглощать минеральное вещество, первоначально прочно связанное в обломочные минералы, содержащиеся в почве и в современной коре выветривания. По имеющимся представлениям этому явлению способствуют поверхность

окончаний корневых волосков растений и окружающее их пространство в почве, обладающие кислой средой, которая возникает вследствие выделения корнями значительных количеств углекислоты.

Изобилие ионов водорода, выделяющихся корнями растений, приводит к протеканию активных катионообменных реакций между органоминеральными коллоидами почвы и поверхностью корневых волосков, имеющих, как теперь установлено, высокую обменную способность. В результате этих реакций ионы водорода замещают ионы металлов, находящихся на поверхности глинистых минералов и органо-минеральных коллоидных частиц. Высвободившиеся ионы-металлы проникают через почвенную влагу к корням растений и, достигая поверхности окончания корневых волосков, попадают, таким образом, в растения.

Миграция и накопление металлов в растениях зависят от ряда факторов, таких как свободная и ограниченная диффузия, движение растворителя, электрические и термические параметры, скорость реакций обмена, способность растения к аккумуляции минеральных веществ в виде металлоорганических соединений и т. д. При благоприятном сочетании этих факторов химические элементы накапливаются в растениях, создавая тем самым биогеохимические ореолы рассеяния на определенной территории, ограниченной рудной зоной.

После отмирания целого растения или только его некоторых органов (листьев, коры, цветков, плодов и т. д.) рудные химические элементы, содержащиеся в этих органах, попадают в опад и лесную подстилку, а затем и в самый верхний горизонт почв — гумусовый, где и накапливаются. Естественно, процесс накопления определенных химических элементов наиболее ощутим в растениях, непосредственно произрастающих над рудным телом, и, следовательно, на этом участке будут четко выражены биогенные ореолы рассеяния в гумусовом горизонте почв, в лесной подстилке и в растениях и биогеохимические аномалии в составе этих ореолов. Схема формирования биогенных ореолов рассеяния в растениях и в верхнем гумусовом горизонте почв, а также в лесной подстилке приведена на рис. 1.

Как правило, при биогеохимических поисках содержание химических элементов определяют в золе растений, т. е. после сжигания растительных проб в полевых или лабораторных условиях, поскольку при выгорании органического вещества в золе происходит концентрация металлов. Поэтому собственно биогеохимический метод называют иногда зольным (Ткалич, 1970). Рядом исследователей установлено (Малюга, 1963), что в золе растений, произрастающих на участке месторождения, содержание химических элементов в сотни и даже тысячи раз превышают их среднюю

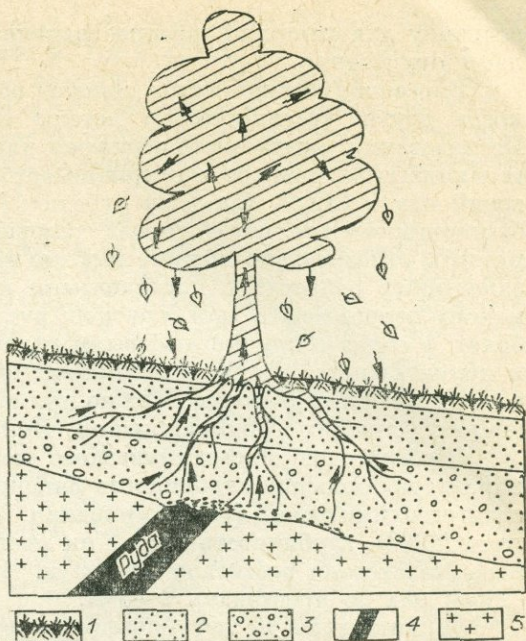


Рис. 1. Схема образования биогеохимического ореола рассеяния в растениях и в гумусовом горизонте почв (по Д. П. Малюге, 1963).

1 — лесная подстилка и гумусовый горизонт; 2 — почвенный слой; 3 — склоновые (делювиальные) отложения; 4 — рудное тело; 5 — корневые породы.

величину для растений, распространенных на обычных почвах за пределами оруденения.

Биогеохимический метод поисков обычно рекомендуют в том случае, когда другие геохимические методы малоэффективны или бесполезны. Исследования опытно-методического характера, а также практика биогеохимических поисков и открытие методом рудопроявлений и месторождений как в СССР, так и за рубежом (Малюга, 1963), показывают, что биогеохимический метод может успешно применяться в районах, где развиты относительно мощные рыхлые наносные отложения, и в северных залесенных областях с подзолистыми почвами. Кроме того, этот метод можно использовать для поисков рудных месторождений в условиях болот, в горах с крупноглыбовыми склоновыми отложениями, в пустынях и полупустынях, в сухих равнинных областях, а также на каменистых осыпях в горных районах. Можно применять биогеохимический метод и в зимних условиях (Поликарпочкин, Поликарпочкина, 1964 г.).

Особенностью биогеохимического метода является то, что для него характерна большая глубинность фиксирования рудных тел по сравнению с литогеохимическим (Поликарпочкин, 1971). Так, по данным Д. П. Малюги (1963), глубинность метода на месторождениях Закавказья и Северного Казахстана достигала 20—30 м. В условиях многолетней мерзлоты (Тува) она не превышала 2—3 м.

За последние 40 лет биогеохимический метод зарекомендовал себя весьма положительно. С помощью этого метода открыты рудопроявления и месторождения различных полезных ископаемых как в нашей стране, так и за рубежом.

Имеющиеся к настоящему времени опубликованные и фондовые материалы по биогеохимическим поискам рудных месторождений на территории нашей страны (Сибирь, Урал, Казахстан, Средняя Азия, Кавказ, Украина, Белоруссия и другие регионы) свидетельствуют о том, что метод весьма перспективен. Однако до недавних пор применительно к огромной территории советского Дальнего Востока этот метод не был разработан. Между тем территория Дальнего Востока, особенно в пределах лесной и лесостепной зон, характеризуется специфическими природными условиями, зависящими большей частью от муссонного климата, а следовательно, — от периодического переувлажнения, которое вызывает интенсивные процессы почвенного выщелачивания. Кроме того, на территории Дальнего Востока обширные области заняты марями и заболоченными пространствами, а также горами, где широко развиты участки с крупноглыбовым элювио-делювием. Такие условия затрудняют, а подчас делают невозможным применение литогеохимического метода поисков, и наоборот — весьма благоприятны для биогеохимического метода.

Необходимость разработки биогеохимического метода поисков применительно к разнообразным ландшафтным условиям Дальнего Востока диктуется еще и тем, что на указанной территории, входящей по металлогеническому районированию в Тихоокеанский рудный пояс, находится целый ряд уникальных месторождений цветных, редких и рассеянных химических элементов, особенно олова, вольфрама, молибдена и др., и многочисленные перспективные участки, где наряду с литогеохимическими можно ставить и биогеохимические поиски. Поэтому, естественно, разработка теоретических основ биогеохимического метода поисков рудных месторождений для условий Дальнего Востока весьма актуальна. Подобные тематические исследования на Дальнем Востоке почти не проводились, поэтому необходимость таких работ очевидна. В разработке этой проблемы прежде всего заинтересованы производственные геологические организации Дальнего Востока, поскольку в ряде конкретных горно-геологических, ландшафтно-геохимических и климатических условий Дальнего Востока некоторые традиционные методы поисков малоэффективны. Например, в свое время шлиховый метод дал отрицательные

результаты на одном из оловорудных месторождений Малого Хингана, так как тонкодисперсный касситерит плохо улавливался в шлихах. Лишь впоследствии месторождение было открыто литогеохимическим методом (Красников, 1957; Кочубей, 1957; Павлов, Кизяковский, Ундзенков, 1957). На этом же месторождении хорошие результаты дал и биогеохимический метод в процессе проведения опытно-методических биогеохимических исследований (Ивашов, Бардюк, 1967).

Иногда, особенно при поисках оловорудных месторождений, отрицательные результаты дает не только шлиховый метод, но и металлометрия (литогеохимия), особенно там, где предполагаемые рудные зоны перекрыты маревыми ландшафтами (Комсомольский рудный узел) или покрыты каменистыми осыпями (Баджал). В этом случае биогеохимический метод является основным для обнаружения вторичных ореолов рассеяния.

Главной задачей исследований по разработке теоретических основ биогеохимического метода было установление особенностей миграции и накопления химических элементов в растениях и почвах в условиях муссонного климата в связи с различным составом и свойствами питающей среды — современной коры выветривания рудных месторождений различного генетического типа Дальнего Востока.

Кроме выполнения указанной проблемы, необходимо решить ряд частных вопросов, связанных с разработкой биогеохимического метода: 1) установить особенности формирования биогенных ореолов рассеяния химических элементов в растениях разных ландшафтных зон и на различных рудных месторождениях и участках поисков; 2) выявить растения-концентраторы химических элементов на различных рудных месторождениях применительно к растительным (ландшафтным) зонам; 3) определить особенности накопления химических элементов в различных органах растений; 4) охарактеризовать степень поглощения химических элементов над рудными телами и за пределами их с помощью коэффициента биологического поглощения; 5) показать сезонные изменения содержания химических элементов, особенно редких и рассеянных, в пределах зон оруденений; 6) попутно установить ботанические индикаторы в пределах участков определенной рудной минерализации; 7) разработать быстрый и дешевый способ озоления биогеохимических растительных проб для спектрального анализа; 8) выяснить особенности накопления химических элементов в генетических горизонтах почв, развитых на площадях месторождений; 9) сравнить лито- и биогеохимические ореолы рассеяния химических элементов с целью оценки их для фиксирования рудных тел.

Решение указанных частных вопросов, с одной стороны, давало возможность разработать основы биогеохимического метода применительно к определенным ландшафтно-климатическим зонам Дальнего Востока, для конкретных генетических типов руд, с другой стороны, представлялась возможность оценить экзогенные ореолы рассеяния металлов (биогеохимические и литогеохимические) и на основании этого рекомендовать тот или иной геохимический метод поисков — биогеохимический или литогеохимический или их совместное применение. Этим обстоятельством и обусловлено то, что биогеохимические исследования носили опытно-методический характер и были выполнены на многих известных месторождениях и рудопоявлениях, а также на их флангах.

Фактическим материалом для разработки биогеохимического метода послужили биогеохимические исследования на 15 месторождениях и рудопоявлениях цветных, редких и рассеянных химических элементов. На этих площадях в точках наблюдения по профилям было отобрано свыше 9000 растительных проб, заложено около 300 почвенных шурфов, из которых отобрано по генетическим горизонтам 900 образцов почв и отмыто 260 шлиховых проб с целью изучения минералогических особенностей современной коры выветривания, сформированной на рудных месторождениях умеренной гумидной зоны Дальнего Востока.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗРАБОТКИ, ПРИМЕНЕНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Биогеохимический метод поисков — относительно новый, хотя использование биогеохимической индикации в практике поисков полезных ископаемых имеет длительную историю. Применение растений при поисках руд, а также воды, осуществлялось еще в древние времена. Нахождение в пустынях и полупустынях подземных вод по распространенности отдельных растений дошло даже до нашего времени. Как указывает Д. П. Малюга (1963), в Средней Азии растений армала из семейства рутовых и сейчас используется при поисках пресных вод, залегающих на глубине до 30 м. Древние рудокопы использовали при поисках сульфидных месторождений на Южном Урале и Алтае «медную травку» — кацим Патрена.

В 1763 г. М. В. Ломоносов писал: «На горах, в которых руды или другие минералы рождаются, растущие деревья бывают обыкновенно не здоровы, т. е. листья их бледны, а сами низки, кривлеваты, сувороваты, суковаты, гнилы и прежде совершенной старости своей» (цитируется по Д. П. Малюге, 1963, с. 11).

Более систематические данные о геохимической приуроченности растений начинают появляться со второй половины XIX в. Первую попытку научно обосновать приуроченность растений к различным горным породам сделал русский ботаник А. М. Карпинский (1841). Проследивая распространение растений на песчаниках, глинах и известняках, он пришел к выводу о том, что одни виды растений тяготеют к известнякам, другие — к песчаникам. Большой заслугой А. М. Карпинского является вывод о том, что распознавание горных пород нужно делать не по отдельным видам растений, а по их сообществам на том или ином ограниченном участке земной поверхности.

И. К. Высоцкий (1904), проводя геологические исследования на Северном Урале, отмечает четкую приуроченность соснового бора к дунитам, сосново-лиственничного — к перидотитам, кедра — к габбро-диоритам. О принадлежности отдельных сообществ к определенной геологической обстановке отмечали многие другие отечественные и зарубежные ученые (Викторов, 1947).

Одним из наиболее интересных примеров геохимической приуроченности растений является существование цинковой флоры, впервые обнаруженной на цинковых месторождениях в Чехии (Викторов, 1947, 1955), с содержанием цинка в золе растений более 10%. -

В США обнаружена селеновая флора (несколько видов астрагалов). Распространение этих растений на почвах, обогащенных селеном, серой, ванадием и ураном, позволяет их использовать в качестве косвенных индикаторов на вторичные урановые руды (Кэннон, Клейнхемпл, 1956).

Наряду с этим многие ученые отмечают морфологические изменения у растений, происходящие под влиянием избыточного содержания в почвах

и породах тех или иных химических элементов. Эти изменения заметны во внешнем облике цветков и листьев, по ритму развития, по разным признакам заболевания и т. д. В частности, Д. П. Малюга (1958, 1963) обнаружил на полиметаллическом месторождении в Армении махровые формы мака крупнокоробочкового, не характерные для данного вида.

Впервые о нахождении тяжелых металлов в золе растений указывает во второй половине XVIII в. шведский химик Иерне (Малюга, 1963). В золе растений он отметил железо, медь, олово, ртуть, свинец, золото и др. — всего 10 тяжелых металлов. Однако возникновение метода биогеохимической индикации стало возможным после того, как была создана наука биогеохимия, когда случайные факты нахождения больших и малых концентраций металлов в растениях и в живых организмах были объединены в 20—30-х годах В. И. Вернадским (1940а, б; 1954) в теорию биогенной миграции химических элементов в приповерхностных горизонтах нашей планеты.

В 1923—1925 гг. С. П. Александров установил в золе растений, распространенных на одном из месторождений, повышенное содержание урана и ванадия по сравнению с растениями за пределами зоны оруденения. Этот факт еще в то время дал основание выдающемуся советскому геохимику А. Е. Ферсману (1955) высказать мнение о больших перспективах использования растений при геохимических поисках.

В 30-х годах А. П. Виноградовым были намечены задачи изучения редких элементов в почвах как составной части биосферы. Тогда же Биогеохимическая лаборатория АН СССР приступила к разработке этой большой биогеохимической проблемы. Позже полученные материалы по изучению геохимии редких и рассеянных элементов в почвах были обобщены А. П. Виноградовым (1950, 1957).

По предложению А. П. Виноградова в 1934 г. Д. П. Малюга начал систематическую работу по изучению ореолов рассеяния рудных месторождений, в частности железа и никеля в почвах и растениях. В 1935—1936 гг. он отметил заметное накопление никеля и железа в гумусовом горизонте почв и накопление никеля в деревьях и травах, растущих над никелевыми месторождениями Среднего и Южного Урала.

В 1935 г. С. М. Ткалич приступил к изучению вопросов биогеохимической индикации. Его первые биогеохимические исследования на востоке нашей страны по оконтуриванию ореолов рассеяния дали положительные результаты (Ткалич, 1938).

В 30—40-х и частично 50-х годах становлению биогеохимического метода способствовали работы многих советских ученых, разрабатывающих различные аспекты металлотрической съемки, в частности исследования Е. А. Сергеева (1936, 1941, 1946), Н. И. Сафронова (1936, 1957а, б, в, 1958), Б. Л. Флерова (1935, 1938), И. И. Гинзбурга (1957), С. Д. Миллера (1957), А. П. Соловова (1957, 1959), А. И. Перельмана и А. А. Саукова (1957), М. А. Глазовской (1957) и многих других.

Среди биогеохимических исследований тех лет следует отметить работу Е. Ф. Эпштейна (1948). Называя биогеохимический метод флорогеохимическим, этот автор еще в то время указывал, что флорометрия может успешно использоваться для поисков месторождений молибдена, цинка, меди, вольфрама, ртути и сурьмы, и при этом особо подчеркивал, что указанный метод, как и другие методы, не сможет дать положительных результатов без всестороннего изучения геологических особенностей территории.

Начиная с 50-х годов широко развернулись опытно-методические исследования по разработке основ и проверке в практике поисков биогеохимического метода. Из них следует отметить работы Х. Г. Виноградовой (1954), А. П. Виноградова (1954), А. П. Виноградова, Д. П. Малюги (1957, 1958), Д. П. Малюги (1947, 1950, 1951, 1954, 1958, 1959а, б, 1960) и др.

Много внимания разработке теоретических основ биогеохимического метода в начале 50-х годов уделил С. М. Ткалич (1952, 1953, 1956, 1959а, б, 1960, 1961, 1962). Его большая заслуга состоит в том, что им, по существу, впервые в нашей стране составлено «Практическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений» (1959б). Работа привлекла внимание широкого круга геологов-поисковиков, начавших исследование биогеохимического метода непосредственно в производственных условиях.

Со второй половины 50-х годов появилась многочисленная литература по биогеохимическим исследованиям на рудных месторождениях в разных ландшафтно-климатических зонах нашей страны, свидетельствующая о больших перспективах биогеохимического метода поисков руд, его высокой чувствительности и глубинности.

Эти материалы содержатся в трудах А. П. Виноградова, Д. П. Малюги, И. И. Гинзбурга, Л. И. Грабовской, Е. Д. Астрахан, А. А. Саукова, Б. Ф. Мицкевича, М. Н. Яковлевой, А. Л. Ковалевского и многих других исследователей.

Основные положения о биогеохимической миграции химических элементов освещены в работах В. И. Вернадского (1960), А. П. Виноградова (1932, 1935, 1949) и были широко подхвачены зарубежными учеными. Однако биогеохимический метод за границей в практике поисков впервые был применен в 1939 г. шведскими учеными С. Палмквистом и Н. Брундиным (Palmqvist, Brundin, 1939) для обнаружения рудопроявлений свинца, олова и вольфрама. Эффективность этого метода при поисках меди и цинка в условиях Норвегии была доказана Дж. Н. Фогтом (Yogt, 1939), а в Финляндии — К. Ранкамой (1954) и В. Мармо (1954) при установлении рудопроявлений никеля, меди и молибдена.

Успешно использовался биогеохимический метод в практике поисков в Северной Америке, особенно в Канаде и США. С помощью этого метода здесь были открыты месторождения сульфидных руд, редких земель, селена и урана. Наиболее крупные и широко известные исследования в вопросах применения биогеохимического метода для поисков руд на североамериканском континенте провели Д. В. Карбух (1954), С. Тиссен (1954), Т. С. Ловеринг и др. (1954), Г. В. Уоррен и др. (1954), Х. Д. Кэннон, Ф. Клейнхемпл (1956), В. О. Робинзон и др. (Robinson *et al.*, 1947), Х. Е. Хоукес, Х. В. Лэкин (Hawkes, Lakin, 1949), В. Х. Уайт (White, 1950), О. М. Кларк (Clarke, 1953), Р. И. Андерсон, Е. Б. Куртц (Anderson, Kurtz, 1955), Х. Т. Шаеклетт (Shacklette, 1958, 1960), Х. Л. Кэннон (Cannon, 1960), А. П. Майерс, Ю. Х. Гамильтон (Meys, Hamilton, 1961), М. Коксоу, Л. В. Ле-Рой (Koksoy, LeRoy, 1962), Г. В. Уоррен (Warren, 1962) и др.

В конце 50-х и начале 60-х годов в Западной Европе возобновились биогеохимические исследования, в частности поиски лимонитовых руд в Финляндии (Salmi, 1955; Marmo, 1958), урановых месторождений в северной части Швеции (Armands, Landergren, 1960), исследования на участке распространения медно-оловянной минерализации в Юго-Западной Англии (Millman, 1957), поиски свинца, олова, алюминия и железа в Югославии (Zivannovic, 1960), изучение особенностей накопления селена в почвах и растениях Ирландии (Fleming, 1962), биогеохимическую индикацию цветных металлов в Германской Демократической Республике (Rosler, 1959; Pfeiffer, 1962), биогеохимические поиски никеля, кобальта, хрома на серпентинитовых массивах Нижней Силезии в Польше (Walenczak, 1962), биогеохимические исследования в Судетах (Lindner, Sarosick, 1963) и в других регионах, а также методические разработки по геоботанической и биогеохимической индикации рудной минерализации (Meher-Nomji, 1963).

В этот же период проводятся аналогичные исследования в Японии, в частности для поисков марганца (N. Yamagata, T. Yamagata, 1957),

кобальта (N. Yamagata, 1958), никеля, кобальта и хрома (Yamagata, Murakami, 1960).

Многолетние биогеохимические работы как в нашей стране, так и за рубежом со времени их применения в практике поисков и до 1963 г. были обобщены Д. П. Малюгой (1963) в обстоятельной сводке «Биогеохимический метод поисков рудных месторождений (Принцип и практика поисков)».

Можно без преувеличения сказать, что выход монографии Д. П. Малюги (1963) послужил большим толчком к широкому размаху как в нашей стране, так и за рубежом биогеохимических исследований и применению биогеохимического метода в практике поисков рудных месторождений.

Почти одновременно вышла в свет монография Л. И. Грабовской и Е. Д. Астрахан (1963), посвященная биогеохимическим и геоботаническим исследованиям при поисках редкометальных месторождений. В ней отражены теоретические основы, методика и предварительные результаты выполненных исследований, которые дали авторам основание утверждать, что биогеохимия может с успехом применяться при поисках редких элементов.

В 1964 г. опубликована монография В. В. Поликарпочкина и Р. Т. Поликарпочкиной (1964), где впервые были даны обоснование и развернутая классификация биогеохимических методов поисков, описаны особенности биогеохимических ореолов рассеяния в растениях, приведена характеристика геоботанических индикаторов ореолов рассеяния, освещены особенности биогенных ореолов рассеяния в почвах, в торфе, в живых высших организмах, а также показана роль микроорганизмов при образовании ореолов рассеяния на месторождениях полезных ископаемых.

Большое внимание в этой работе уделено методике биогеохимических поисков, при этом использован богатый фактический материал, полученный авторами в результате собственных многолетних биогеохимических исследований в условиях Сибири, начатых ими в 1956 г. в Восточном Забайкалье. В монографии приведены данные по разрешающей способности биогеохимических поисков и области (природным условиям) их применения. Выход этой монографии значительно способствовал тому, что за последние 10 лет в нашей стране резко возрос интерес к биогеохимическим исследованиям.

В 1964 г. появился ряд публикаций, посвященных разработке и применению биогеохимического метода в различных районах страны—в Средней Азии (Талипов, 1964а, б; Баситова и др., 1964), Казахстане (Флерова, Флеров, 1964), на Урале (Поскотин, 1964; Скарлыгина, Березкина, 1964), на Кавказе (Стариков и др., 1964; Кабишвили, 1964). Методические аспекты биогеохимического метода отражены в статьях М. Н. Яковлевой (1964) и В. Л. Кожары (1964), а также в монографии крупнейшего специалиста по геохимическим поискам руд В. М. Крейтера (1964), в которой он положительно оценивал биогеохимический метод.

Большое значение на дальнейшее развитие и совершенствование геохимических методов поиска, в том числе и биогеохимического, имела работа Х. Е. Хокса и Дж. С. Уэбба (1964), где обобщены материалы зарубежных и частично советских ученых, касающиеся биогеохимического метода, и дана характеристика состояния биогеохимических поисков за рубежом. Кроме того, приведены некоторые теоретические положения о расшифровке биогеохимических аномалий по материалам биогеохимических исследований на рудных месторождениях США, Канады, Финляндии, Франции, Нигерии, Уганды и др.

В 1965 г. была опубликована единая Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений (1965), в которой биогеохимический метод наряду с другими геохимическими методами впервые был официально утвержден как равноправный для поисков руд. Это имело весьма важное положительное значение в теории геохимических поисков

рудных месторождений, и можно считать, что с этого времени биогеохимический (зольный) метод получил официальное право на жизнь.

В. И. Красников (1965) в своей монографии «Основы рациональной методики поисков рудных месторождений», касается характеристики положительных сторон биогеохимического метода. Он указывает, что данный метод имеет преимущества перед металлометрией при поисках погребенных или резко ослабленных ореолов рассеяния, а также при отсутствии нормального почвенного покрова или его интенсивном выщелачивании атмосферными осадками.

В 1965 г. была опубликована обобщающая, насыщенная фактическим материалом статья В. В. Поликарпочкина и др. (1965), посвященная изучению ореолов рассеяния в растениях на рудных месторождениях Восточного Забайкалья. В ней описаны особенности накопления свинца, цинка, серебра, мышьяка, сурьмы, олова, молибдена, вольфрама, марганца и других элементов в растениях и почвах как над зоной оруденения, так и за ее пределами (на флангах, а также на участках, удаленных от месторождений), т. е. на заведомо безрудных «эталонных» площадях с целью оценки биогеохимических аномалий и отличия их от «ложных» (не связанных с месторождениями) аномалий. Некоторые методические положения об особенностях накопления растениями химических элементов опубликованы в 1965 г. в статьях Х. Ариповой, П. Л. Приходько (1965), А. Л. Ковалевского (1965), Э. К. Буренкова, К. И. Кузиной (1965), Г. Ф. Боровик-Романовой (1965) и др.

В 1966 г. в Иркутске проходило V Всесоюзное совещание по применению микроэлементов в сельском хозяйстве и медицине. Материалы, представленные на совещание, свидетельствовали о том, что биогеохимические исследования при поисках рудных месторождений получили в нашей стране широкий размах, в частности в Сибири, Средней Азии, Казахстане, на Урале, на Украине, в Молдавии, в Азербайджане.

В 1966 г. вышла в свет монография Л. В. Разина и И. С. Рожкова (1966), посвященная биогеохимии и геохимии золота в коре выветривания в биосфере золоторудных месторождений курнахского типа в Якутии, где на большом фактическом материале показано, что золото в условиях Сибири дает четкие биогеохимические ореолы рассеяния в почвах (гумусовый горизонт), в растениях и живых организмах. Это обстоятельство позволило авторам положительно оценить биогеохимический метод для поисков месторождений золота данного генетического типа на территории Сибири.

В этом же году вышла из печати книга «Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов», в которой есть раздел, посвященный биогеохимическим поискам и картированию, написанный И. И. Гинзбургом (1966). И. И. Гинзбург особо подчеркивал необходимость проведения биогеохимической съемки в комплексе с другими видами геохимических исследований в рудных районах нашей страны. Планомерное и систематическое биогеохимическое картирование при мелко- и среднемасштабных съемках, по мнению И. И. Гинзбурга, поможет выявлению рудных полей, где можно будет ставить поисковые работы по обнаружению уже непосредственно рудопроявлений и месторождений.

В своей монографии «Геохимия» А. А. Сауков (1966) уделил значительное внимание биогеохимическим процессам в миграции химических элементов. Он указал, что по мере совершенствования биогеохимический метод может оказаться одним из важнейших при поисках месторождений полезных ископаемых.

В 1966 г. опубликованы также статьи, посвященные различным вопросам прикладной биогеохимии, в частности, особенностям содержания золота в почвах и растениях (Арипова, Талипов, 1966; Хотамов и др., 1966а), находке металлической ртути в сосне (Знамировский, 1966), опыту

использования отношения содержания редких элементов в растениях в практике биогеохимических поисков (Шиманский, Загоскин, 1966) и др.

В докладе А. А. Саукова, А. И. Перельмана, Ю. В. Шаркова, Е. Н. Борисенко (1966), сделанном ими на II Всесоюзной конференции по геохимическим методам поисков и разведки полезных ископаемых (1963 г.), было подчеркнуто, что еще слабо разработана теория биогеохимических поисков, и эти исследования в большинстве случаев проводятся в отрыве от биологии. Решение теоретических проблем биологической науки на площадях рудных месторождений, по мнению этих ученых, ботаниками, микробиологами, зоологами и другими специалистами приведет к получению основного фактического материала для дальнейшего развития теории биогеохимических поисков.

В 1966 г. опубликованы методические работы по теории и практике биогеохимических поисков, в частности, В. Б. Ильина (1966) о биогеохимии молибдена Западной Сибири, А. Л. Ковалевского (1966) о биогеохимии вольфрама в растениях, Б. Ф. Мицкевича и др. (1966) и Б. Ф. Мицкевича и В. Н. Шелкопляса (1966) о ландшафтно-геохимических исследованиях с целью оценки условий применения геохимических методов поисков в северо-западной и центральной части Украинского щита. Ряд работ посвящен методике озоления проб растений (Жбанова, Жбанов, 1966а; Солодянкин и др., 1966).

А. И. Перельман (1966) в монографии «Геохимия ландшафта» показал значение геохимических ландшафтов при использовании биогеохимического метода и отметил при этом, что метод еще слабо внедряется в практику, хотя его применимость уже доказана для поисков никелевых, кобальтовых и полиметаллических руд. А. И. Перельман привел примеры открытия биогеохимическим методом рудопроявлений меди и россыпей касситерита.

В 1967 г. был опубликован ряд работ А. Л. Ковалевского (1967а), посвященных методике определения глубинности биогеохимического метода, закономерностям поглощения естественных радиоактивных элементов растениями (1967б), особенностям биогеохимической индикации фтора почвами и растениями (1967в), методике озоления биогеохимических проб (Ковалевский, Ковалевская, 1967). В этом же году вышла в свет статья Б. Н. Ракицкого и др. (1967) о биогеохимических поисках слюдоносных пегматитов в Сибири.

В работе, посвященной геохимическим поискам, Н. И. Сафронов (1967) дал общую положительную оценку перспектив биогеохимического метода и указал на необходимость проведения биогеохимических съемок в производственных условиях.

Л. Н. Овчинников, С. В. Григорян, А. А. Гармаш (1967) на примере бора показали, что биогеохимический метод может с успехом применяться для интерпретации литогеохимических аномалий. Известно, что литогеохимические аномалии бора могут быть связаны с зонами турмалинизации, т. е. непромышленным типом оруденения и с перспективными зонами датолитовой и боратовой минерализации. Поскольку минеральная форма нахождения бора в современной коре выветривания и в почвах предопределяет степень его усвоения растениями, то на участках датолитовой и боратовой минерализации возникают высококонтрастные биогенные аномалии бора. И наоборот, над эпицентрами зон турмалиновой минерализации биогеохимические аномалии низкоконтрастные, мало отличаются от фоновых концентраций в растениях, т. е. практически отсутствуют. Между тем именно на зонах с непромышленным турмалиновым типом оруденения формируются четко выраженные контрастные «ложные» литогеохимические аномалии.

Результаты по биогеохимическим исследованиям на Южном Урале были напечатаны в работах Н. Н. Никоновой (1967), И. Г. Побединцевой (1967), В. Я. Воробьева, В. В. Гудошникова (1967). Опубликованы также

статьи В. Н. Знамировского (1967) о биогеохимических поисках ртути в Сибири, Г. Б. Григоряна (1967) об особенностях содержания молибдена и меди в растениях на безрудных и рудных участках бассейна р. Вохчи, В. В. Ковалевского и В. В. Ермакова (1967) о биогеохимических провинциях Тувы, Ф. Г. Шамцяна (1967) о применении биогеохимического метода поисков меди в Армении.

К. И. Лукашев и В. К. Лукашев (1967) в монографии «Геохимические поиски элементов в зоне гипергенеза» при характеристике биогеохимических методов поисков подчеркнули, что в теории собственно биогеохимического метода слабо разработан вопрос о химических элементах-индикаторах для каждого генетического типа месторождений с определенными минерало-геохимическими особенностями.

Заслуживает внимания работа И. А. Авессаломовой, Л. Н. Алексинской (1967). Эти авторы установили, что район бериллиевого месторождения в условиях горно-таежных ландшафтов выделяется повышенными содержаниями в растениях бериллия, лития, ниобия и других элементов, превышающих фон в 5—10 раз и более. Помимо этого, оказалось, что ореол повышенных содержаний бериллия пространственно совпадает с распространением сосны с голубой окраской.

В 1968 г. опубликована книга «Геохимические поиски эндогенных месторождений редких элементов (на примере тантала)», составленная коллективом авторов. В книге имеются разделы, написанные В. В. Беренгиловой и Л. И. Грабовской (1968) и Л. И. Грабовской (1968), посвященные биогеохимическим ореолам рассеяния и методике биогеохимических поисков редких элементов — лития, рубидия, тантала, ниобия, олова, бериллия и др. в зонах горных мерзлотно-таежных, лесостепных и степных ландшафтов. Названные исследователи рекомендуют применять биогеохимический метод в таких ландшафтно-геохимических условиях, где почвенное опробование не дает положительных результатов. По их мнению, наиболее эффективные результаты биогеохимический метод может дать при поисках месторождений тантала и бериллия в условиях лесной заболоченной зоны Сибири, лесостепной зоны Сибири и зоны сухих степей Казахстана и Средней Азии.

В крупной коллективной монографии «Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых» Н. И. Сафронов (1968) дает методическую характеристику биогеохимических ореолов рассеяния и их использования в практике поисков, а О. А. Глико (1968) приводит описание ландшафтных условий применения поисковых методов, в том числе и биогеохимического.

Работы В. И. Ездакова и Л. А. Ездаковой (1968) посвящены применению биогеохимического метода при поисках бериллия, Р. М. Талипова и др. (1968) — возможности использования мышьяка как элемент-индикатора при биогеохимических поисках золоторудных месторождений в Средней Азии, А. Л. Ковалевского и Г. Д. Чимитдоржиевой (1968) — подвижным формам химических элементов в растениях и их значении при биогеохимическом опробовании растений, И. С. Постнова (1968) — ландшафтно-геохимическим исследованиям в Норильском районе.

Ряд статей опубликован в Бюллетене научно-технической информации Министерства геологии СССР (1968), в которых приведены результаты биогеохимических поисков бора, бериллия, циркония, ниобия, лития и других элементов (Авессаломова, Грабовская, 1968; Кузина, 1968а, б; Саэт, 1968; Игумнов, Саэт, 1968; Несветайлова, 1968).

Биогеохимическим поискам и вопросам биогеохимической индикации был посвящен ряд докладов и сообщений на III Сибирской конференции: «Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока», состоявшейся в июне 1969 г. в Омске. Из них следует отметить доклады В. В. Поликарпочкина (1969а), А. Л. Ковалевского (1969а, б, в), Е. П. Захарова (1969а, б, в, г, д), Е. П. Захарова,

Г. П. Захаровой (1969а), Е. М. Никифоровой (1969), П. А. Удодова, Н. М. Шварцевой (1969), Н. В. Алексеевой-Поповой (1969), В. П. Боровицкого (1969) и др.

В 1969 г. в Бурятском филиале СО АН СССР вышел сборник «Биогеохимия растений», где отражены результаты теоретической разработки биогеохимического метода поисков на всей территории нашей страны. Из общетеоретических работ следует указать на исследования А. Л. Ковалевского (1969г, д) об основных закономерностях формирования химического состава растений и о биогеохимических параметрах растений, а также О. К. Добролюбского (1969) о биологическом действии микроэлементов в связи с их положением в периодической системе. Статьи Б. Ф. Мицкевича и М. М. Комского (1969) этого сборника освещают вопросы биогеохимических исследований в пределах Украинского Полесья; Л. А. Ездаковой (1969), Е. Ф. Засориной и С. М. Баситовой (1969), С. С. Сабонева, Э. Б. Тюрюкановой (1969), С. М. Баситовой и др. (1969) — вопросы биогеохимических исследований Средней Азии (Таджикистан, Зеравшанская долина, Памир); А. В. Гедымина (1969), Л. Я. Леванидова и др. (1969), В. Б. Ильина (1969), В. Б. Черняхова (1969) — Сибири и Урала. Результаты опытно-методических биогеохимических работ отражены в статьях Д. П. Малюги и А. Д. Айвазяна (1969а), Д. П. Малюги, Н. Н. Маховой, Р. Г. Никитиной (1969), А. П. Большакова и др. (1969), К. И. Кузиной (1969), О. К. Добролюбского и Н. П. Гончаровой (1969), Т. Т. Тайсаева (1969), М. А. Мальгина (1969) и др.

Сборник «Микроэлементы в растениях» под редакцией А. Л. Ковалевского (1969) содержит статьи, касающиеся методики биогеохимических исследований и особенностей накопления химических элементов в растениях, исходя из повышенной минерализации почвообразующих пород. Работа А. Л. Ковалевского (1969е) посвящена биогеохимии молибдена в растениях; Д. П. Малюга и А. Л. Айвазян (1969б) дали описание особенностей содержания микроэлементов в различных видах растений при разной степени полиметаллической минерализации (Алтай); А. Д. Айвазян (1969) привел содержание меди в различных видах растений черневой тайги (Восточно-Казахстанская область); А. В. Николаева (1969) отметила особенности концентрации тория и редких земель растениями в разные периоды вегетации в зависимости от характера минерализации; Ф. М. Подкорытов (1969) охарактеризовал биологическое распределение микроэлементов растениями в условиях лесотундры, в подзоне горных тундр (Таймырский национальный округ).

В 1969 г. под редакцией А. Л. Ковалевского и А. И. Перельмана опубликован сборник «Биогеохимические поиски рудных месторождений», который по существу подводит итоги многолетних исследований многих авторов с целью разработки теоретических основ и практических приемов биогеохимического метода поисков рудных месторождений на территории нашей страны. При этом следует отметить, что большинство материалов в сборнике опубликовано работниками геологических управлений, непосредственно в производственных условиях опробовавшими биогеохимический метод и показавшими его перспективность.

В 1969 г. появились публикации, посвященные применению биогеохимического метода в различных районах нашей страны, в частности в Сибири (Малюга, Айвазян, 1969в; Ковалевский, 1969и), Западном Узбекистане (Талипов, 1969), Дагестане (Назаров, 1969) и т. д.

На наш взгляд, большой вклад в развитие поисковой биогеохимии сделал С. М. Ткалич (1970). Значение его монографии «Фитогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых» заключается в том, что наряду с глубокими теоретическими обобщениями по биогеохимической индикации им систематизирован методический аспект применения биогеохимического метода в практике поисков. По сравнению с предыдущими работами по практическим основам рационального применения метода

в этой монографии отражены геохимические и биологические связи между растениями и эдафическими условиями жизненной среды, дана классификация фитогеохимических (биогеохимических) аномалий, освещен вопрос об отрицательных и так называемых ложных биогеохимических аномалий, даны практические приемы фитогеохимических исследований, методика расшифровки (интерпретации) биогеохимических аномалий и т. д. В монографии подведен опыт применения фитогеохимического метода поисков минеральных месторождений, которые не фиксируются на поверхности ореолами рассеяния, и на ряде примеров показано, как данный метод используется для выявления фитогеохимических аномалий, являющихся индикаторами того или иного генетического типа месторождений.

Из крупных работ по биогеохимической и геоботанической индикации следует отметить и монографию Н. Г. Несветайловой (1970). Хотя в ней в основном изложены принципы выявления и изучения ботанических индикаторов, работа имеет большое значение для теории биогеохимического метода, особенно при изучении обилия (численности) растений-индикаторов в зависимости от концентрации химических элементов в коренных породах и образованных на них почвах в пределах участка минерализации.

В 1970 г. на проходившем в Ленинграде VI Всесоюзном совещании по микроэлементам в сельском хозяйстве и в медицине был представлен ряд докладов и сообщений по биогеохимическим исследованиям в связи с биогеохимической индикацией руд: доклад Э. Ф. Жбанова и А. Л. Ковалевского (1970) — биогеохимическим поискам молибденовых месторождений в Забайкалье, сообщение А. С. Пак, Э. Ф. Жбанова и А. Л. Ковалевского (1970) — биогеохимическим поискам флюорита, доклад Р. М. Тапилова, Р. Г. Юсупова, Ш. Хаматова (1970) — биогеохимическим и гидрогеохимическим поискам золоторудных месторождений в Узбекистане и т. д. Были также рассмотрены вопросы методики геоботанических и биогеохимических поисков руд. В частности, А. Л. Ковалевский (1970) доложил об опыте разработки и перспективах развития биогеохимического метода, Е. П. Захаров и Г. П. Захарова (1970) сообщили о геохимической экологии и тератологии растений, распространенных на кобальтовых и кобальтово-медных месторождениях Тувы, А. А. Мясников и О. А. Осипова (1970) отметили особенности применения биогеохимического метода поисков руд в Западном Прибайкалье, М. Д. Скарлыгина-Уфимцева и др. (1970) осветили закономерности распределения никеля, кобальта и меди в растениях на одном из рудоносных массивов Кольского полуострова, Р. Т. Юсупов и др. (1970) показали значение грибов-микромитозов, лишайников и мхов для поисков рудных месторождений.

В 1970 г. опубликованы работы по результатам биогеохимических исследований в разных районах нашей страны: А. Д. Айвазяном (1970) описан опыт геоботанических и биогеохимических признаков при поисках рудных полезных ископаемых на Юго-Западном Алтае, А. А. Батраевой и А. А. Мясниковым (1970) приведены материалы по биогеохимическим исследованиям при поисках меди, свинца и цинка в условиях Северо-Западного Прибайкалья, Д. П. Малюгой и А. Д. Айвазяном (1970) охарактеризованы биогеохимические исследования на Рудном Алтае. Г. В. Войткевич, В. А. Алексеенко (1970) систематизировали материалы по опыту применения биогеохимических методов при поисках рудных химических элементов в Джунгарском Алатау, В. В. Ковальский, Н. С. Петрунина (1970) описали опыт картирования борной биогеохимической провинции Северо-Западного Казахстана. Некоторые особенности биогеохимии растений, распространенных на гипербазитовом массиве Южного Урала, даны в статье М. Д. Скарлыгиной-Уфимцевой и др. (1970). А. Г. Дворников, Л. Б. Овсяников (1970) посвятили свои исследования биогеохимическим ореолам рассеяния халькофильных элементов в Нагольном кряже (Донбасс), а Б. Ф. Мицкевич и Л. С. Галецкий (1970)

оценили перспективы применения геохимических методов поисков цветных и редких металлов в целом на Украине.

Вышедшая из печати в 1971 г. монография «Ореолы рассеяния месторождений Восточной Сибири» содержит работы, посвященные биогеохимическим ореолам и их использованию в практике поисков руд. Прежде всего следует отметить статью В. В. Поликарпочкина (1971), где автор подытожил опыт применения биогеохимических методов в Сибири и высказал ряд методических и теоретических положений, касающихся этих методов. Целесообразность постановки биогеохимических методов поисков, по мнению В. В. Поликарпочкина (1971), определяется конкретными особенностями формирования различных видов ореолов рассеяния — литогеохимических, гидрогеохимических и биогеохимических для той или иной территории. В статье показано, что многолетняя мерзлота не является препятствием для формирования биогеохимических ореолов рассеяния, хотя проникновение корней растений на глубину ограничивается слоем мерзлоты. Поступлению ионов металлов к корням растений в этом случае способствует диффузионный ток веществ через толщи мерзлых пород. В. В. Поликарпочкин (1971) показал, что биогеохимические поиски в условиях Сибири могут проводиться в нижних частях склонов и у их подножия, на курумниках и каменных осыпях, на болотах и заболоченных площадях. Кроме того, биогеохимическая индикация руд может быть выявлена посредством опробования растительной подстилки и растений в зимнее время, а также применения комбинированного глубинного гидро-биогеохимического метода.

В указанном сборнике опубликована также статья С. М. Ткалича (1971) об особенностях зольного питания растений, распространенных на засоленных почвах, и статья В. А. Загоскина и А. А. Шиманского (1971) об экзогенных литогеохимических и биогеохимических ореолах рассеяния на редкометальных пегматитовых месторождениях.

В сборнике «Теоретические основы фитоиндикации» содержатся статьи по результатам биогеохимической индикации. Следует отметить статьи П. Л. Горчаковского и Н. Н. Никоновой (1971) и Н. Н. Никоновой (1971) о закономерностях накопления редких элементов некоторыми высшими растениями с целью использования этих данных для поисков рудных месторождений на Урале, Л. С. Демидовой (1971) о фитоценологических и биогеохимических признаках как индикаторах медноколчеданных руд в Башкирской АССР, М. Д. Скарлыгиной-Уфимцевой и Г. А. Березкиной (1971) о значении биогеохимических ореолов рассеяния при поисках сульфидных месторождений на Южном Урале, К. И. Кузиной (1971) о возможности использования растений при поисках месторождений бора.

Теоретические вопросы биогеохимической индикации рассмотрены В. В. Ковальским и Н. С. Петруниной (1971).

Публикации, появившиеся в 1971 г. по биогеохимическим поискам руд, свидетельствуют о том, что метод нашел применение в таких ландшафтных условиях, где затруднена литогеохимическая съемка. В качестве примера можно привести работу Л. И. Грабовской и Г. А. Кузьминой (1971) о применении биогеохимического метода при поисках редкометальных (бериллиевых) месторождений в условиях развития сплошной многолетней мерзлоты, статью С. Ш. Саркисяна (1971) о результатах поисков бериллиевого оруденения в условиях закрытого, залесенного и заболоченного района, исследования М. Д. Скарлыгиной-Уфимцевой и др. (1971) о методике биогеохимических поисков никелево-кобальтового оруденения на Южном Урале и др.

В 1971 г. вышла монография Н. И. Сафронова (1971) «Основы геохимических методов поисков рудных месторождений», в которой дана характеристика биогеохимических методов и показана их положительная роль в комплексе геохимических поисков руд.

В конце 60-х и начале 70-х годов, т. е. в последние 5 лет, биогеохимический метод и в целом биогеохимические исследования получили широкое развитие за рубежом (Bose, 1964; Roddar, 1965; Pulon e. a., 1965; Brooks, Lyon, 1966).

В 1966 г. появилась статья Г. В. Уоррена и др. (Warren e. a., 1966) о результатах почвенного и биогеохимического опробования в Канаде, в районах распространения свинцово-цинковой, медной и золоторудной минерализаций. Оказалось, что опробование растений является эффективным методом, особенно в таких условиях, где почвенное опробование не приносит успеха.

Также в 1966 г. опубликованы материалы по биогеохимическим поискам в Бразилии, в районе медного месторождения Карамба штата Байя (Lewis, 1966). Установлено, что содержание меди в золе растений достигает 0,0024%, причем контур биогеохимического ореола, в первом приближении, соответствует распределению меди в почвах. Оказалось, что медь лучше всего накапливается в корнях растений, хуже — в листьях и в минимальном количестве — в древесине.

В опубликованной в 1967 г. работе Ю. Лоунама (Lounama, 1967) о концентрации редких элементов в деревьях и кустарниках, распространенных на различных горных породах в Финляндии, установлено, что содержание химических элементов неодинаково в разных органах растений. Например, в корнях хвойных деревьев содержание хрома в 2—3 раза больше, чем в хвое и ветвях, а в листьях и ветвях березы исключительно интенсивно накапливаются марганец, кобальт и цинк, причем в несколько раз больше, чем в других листопадных деревьях.

В 1967 г. в Канаде вышла сводка-отчет по биогеохимическим поискам, проведенным Геологической службой Канады, в течение 1963—1966 гг. (Fortescue, Hornbrook, 1967).

Геоботанические и биогеохимические исследования, выполненные в одном из рудных районов северной части Австралии (Cole e. a., 1968), позволили авторам сделать вывод о пригодности биогеохимических методов для поисков свинцово-цинковых руд в условиях залесенной саванны.

Весьма интересные заключения об эффективности биогеохимического метода поисков руд сделал Р. Р. Брукс (Brooks, 1968a), проводивший биогеохимические поиски в Новой Зеландии. Этим автором установлено, что в указанном районе биогеохимические методы поисков имеют определенные преимущества перед почвенным опробованием. Так, в частности, опробование деревьев и кустарников в 3 раза быстрее почвенного опробования, причем пробы растительного материала имеют незначительный вес (30 г вместо 400 г почв), а глубинность биогеохимического метода находится в пределах 6 м.

В 1969 г. опубликованы результаты биогеохимических поисков рудных месторождений, в частности молибдена, выполненных в Канаде, на западе центральной части Британской Колумбии (Hornbrook, 1969a, б, в). Помимо результатов поисков, приводятся основные условия, при которых биогеохимический метод может быть эффективно использован. Отмечается, что биогеохимическое опробование должно проводиться в комплексе с опробованием почв. При этом массовому биогеохимическому опробованию, по мнению автора, должны предшествовать предварительные исследования с целью установления растений-индикаторов и определения их органов, наиболее пригодных для аналитических работ. Также в Британской Колумбии выполнены комплексные геохимические поиски в сочетании с почвенной геохимией и биогеохимией (Barnkso e. a., 1969).

Положительные результаты при использовании биогеохимического метода были получены в Новой Зеландии. В частности при поисках урана (Whitehead e. a., 1969) применялся комплекс геохимических методов: γ -радиометрия, γ -спектроскопия, α - и β -активности, а также литогеохи-

мический (почвенный) и биогеохимический методы. Оказалось, что наиболее эффективные результаты при поисках урана дали литогеохимический и биогеохимический методы. Также в Новой Зеландии хорошую сходимость показали биогеохимические поиски меди, молибдена и цинка по растениям и почвам (Lyon, Brooks, 1969), в частности, содержание молибдена в ветвях и листьях хорошо коррелировалось с концентрациями его в почве.

В 1970 г. опубликованы результаты использования растительности для обнаружения месторождений меди, цинка, молибдена, золота, серебра, никеля, кобальта и других элементов в условиях Канады (Fortescue, 1970). При этом отмечена невысокая стоимость использования биогеохимического метода и небольшие затраты времени на их проведение.

Г. В. Уоррен и Р. Е. Делово (Warren, Delavault, 1970) при подведении результатов опыта применения биогеохимических поисков в Канаде отметили большие заслуги В. И. Вернадского и его последователей А. П. Виноградова и Д. П. Малюги в создании биогеохимии как науки и подчеркнули большое значение биогеохимических исследований прежде всего для поисков полезных ископаемых.

Также в Канаде выполнены биогеохимические исследования с целью определения оптимальных методов нахождения рудопроявления тяжелых металлов — свинца, меди, цинка, марганца, серебра, никеля и кобальта (Hornbrook, 1970).

В 1970 г. М. Г. Тимперлей и др. (Timperley e. a., 1970a) опубликовали результаты биогеохимического метода поисков меди, никеля, свинца, цинка, молибдена и урана в Новой Зеландии. По их мнению, наиболее важным показателем обнаружения зон минерализаций является отношение содержания элементов в растениях к почве, так как растения имеют определенный предел поглощения того или иного элемента, а в почвах пределы концентраций металлов значительно больше.

Этими же исследователями (Timperley e. a., 1970b) проведены поиски меди и никеля в пределах комплекса Ривака (Новая Зеландия), сложного основными породами. Статистический анализ данных биогеохимических исследований показал, что содержание элементов в растениях хорошо коррелируется с их концентрациями в почвах. Это позволило положительно оценить биогеохимический метод поисков металлов, в частности никеля и меди, в пределах основных пород названного комплекса.

В 1971 г. опубликованы результаты применения биогеохимических методов поисков руд в районе распространения вулканических и осадочных образований в северо-западной части Канады (Hornbrook, 1971).

Краткий обзор истории биогеохимического метода показывает, что если для территории Сибири, Средней Азии, Урала и Европейской части нашей страны этот метод имеет длительную историю разработки и применения в практике поисков, то на огромном пространстве Советского Дальнего Востока биогеохимические поиски практически не применялись. Имеются лишь отрывочные сведения о попытках использования метода для обнаружения рудных тел.

Насколько нам известно, впервые на Дальнем Востоке опытно-методические биогеохимические работы выполнил С. М. Ткалич (1938). Этот исследователь в 1935—1937 гг. проводил работы на Ушапском арсенопиритовом месторождении в Южном Приморье. Территория месторождения была покрыта поисковыми линиями через 25—250 м, точки отбора располагались через 25—100 м. При опробовании были отобраны листья растений, принадлежащих наиболее распространенным видам (береза ребристая, вейник Лангсдорфа, пихта белокорая). С. М. Ткалич (1938) определил содержание железа (элемент-спутник), и по его содержанию месторождение было довольно точно околонтурено. Поэтому С. М. Ткалич (1938) подчеркнул, что по содержанию железа в золе растений можно судить не только о наличии железосодержащих, но и сульфидных руд.

1956—1957 гг. экспериментальные биогеохимические и геоботанические исследования с целью установления эффективности применения биогеохимического метода поисков в лесостепной зоне Дальнего Востока были начаты биогеохимической партией Центральной поисково-ревизионной экспедиции Геологоразведочного треста № 1 под руководством Л. И. Грабовской. Этими работами было показано, что редкометалльные рудопроявления сопровождаются хорошо выраженными биогеохимическими и литогеохимическими ореолами рассеяния.

Работы биогеохимической партии в указанном районе были продолжены в 1958—1959 гг. (Е. Д. Астрахан, Л. И. Грабовская и др., 1960 г.), в результате чего было установлено, что редкометалльную минерализацию хорошо фиксируют не только биогеохимические аномалии, но и геоботанические индикаторы, т. е. морфологические изменения отдельных видов растений и в целом всего растительного покрова в зависимости от содержания редких элементов в почвах и почвообразующих породах.

В 1959 г. Р. С. Климова и др. (1960 г.) выполнили биогеохимические и геоботанические исследования на редкометалльных рудопроявлениях лесостепной зоны Дальнего Востока. Этими работами были установлены некоторые растения, содержащие повышенные количества редких элементов, в частности, олова и вольфрама. Например, наличие олова было установлено в золе дуба монгольского, березы даурской, леспедецы двуцветной, лещины разнолистной, спиреи средней, земляники восточной, мяты даурской, чемерицы уссурийской и др.

В 1963 г. Л. И. Грабовская и Е. Д. Астрахан (1963) опубликовали результаты своих биогеохимических и геоботанических исследований при поисках редкометалльных месторождений Сибири, Казахстана и Дальнего Востока. Ими установлено, что в лесостепной зоне Дальнего Востока редкие элементы в количестве тысячных и сотых долей процента концентрируют ветви и листья дуба монгольского, леспедеца двуцветная, полынь маньчжурская, папоротник орляк и др. По данным этих исследователей, в таежной зоне Дальнего Востока наилучшим концентратом большинства редких элементов является папоротник орляк, в золе которого было обнаружено до 0,005% бериллия, 0,05% циркония и до 0,01% ниобия; бериллий, кроме того, в количестве тысячных долей процента был обнаружен в ветках и листьях лещины разнолистной, в ветках и хвое пихты сибирской и в травах: кипрее узколистом, вейнике наземном и присе мечевидном (Грабовская, Астрахан, 1963).

В 1964 г. автором были начаты биогеохимические исследования на рудных месторождениях и рудопроявлениях с целью оценки возможности применения биогеохимического метода на территории Дальнего Востока (Ивашов, 1965, 1967, 1968а, б, в г, 1971а, б, в; 1972а, б, в; 1973а, б, в; 1974, 1975; Ивашов, и др. 1966, 1967, 1968а, б, 1969а, б, в, г, 1970а, б, 1971; 1975).

В последние годы опытные биогеохимические поиски начали выполняться сотрудниками Геохимической партии Дальневосточного ТГУ. Было установлено, что биогеохимический метод дает возможность фиксировать зону оруденения, перекрытую торфяной залежью. При этом большое значение в биогеохимической индикации имели второстепенные химические элементы-индикаторы основных руд, в частности благородных металлов (материалы В. А. Махина, 1968—1970 гг.).

По мнению В. А. Махина (1969), биогеохимический метод поисков на Дальнем Востоке может найти широкое применение в краевых частях мезокайнозойских впадин, где мощность аллохтонных рыхлых покровных отложений не превышает 25—30 м.

Глава II

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ, МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ И ЛАНДШАФТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОИСКОВ НА ДАЛЬНОМ ВОСТОКЕ

Дальний Восток — своеобразная в природном отношении территория, характерной особенностью географического положения которой прежде всего является близость к Тихому океану, поэтому муссонный климат накладывает отпечаток на ход всех процессов в географической среде. С другой стороны, эта территория подвергается влиянию смежных областей Центральной Азии и Сибири, чем собственно и объясняется специфический характер ландшафта и состав флоры и фауны Дальнего Востока.

Говоря о природных условиях Дальнего Востока, необходимо иметь в виду, что эта территория в геологическом отношении сравнительно молодая, ее структуры созданы мезозойским и кайнозойским орогенезом, нарушившим краевые части древних платформ — Сибирской и Китайской. Поэтому рельеф земной поверхности здесь хорошо отражает геолого-тектоническую структуру и в достаточной степени осложняет географическую зональность.

ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

В геологическом строении территории Дальнего Востока, в частности в пределах лесной области, принимают участие разнообразные породы — осадочные, метаморфические, изверженные, относящиеся к самому различному возрасту — от архейского до кайнозойского. В тектоническом отношении восточная часть рассматриваемой территории лежит в пределах Тихоокеанского подвижного пояса, где преобладающими являются молодые мезозойские и кайнозойские структуры, а западная часть — в области развития древних структур*.

На северо-западе расположена юго-восточная часть Сибирской платформы с двухъярусным строением: нижний ярус сложен глубокометаморфизованными породами — гнейсами, кристаллическими сланцами, амфиболитами и т. д., верхний ярус (осадочный чехол) — неметаморфизованными и недислоцированными породами верхнепротерозойского и кембрийского возраста. В верхнем течении р. Алдана находится Алданский щит — часть Сибирской платформы, в пределах которой архейский кристаллический фундамент не перекрыт осадочным чехлом.

Вдоль восточной окраины Сибирской платформы расположен Юдомо-Майский (Преддзугджурский) прогиб, заполненный верхнепротерозойскими и кембрийскими отложениями, мощность которых резко повышена

* Геолого-тектоническая характеристика рассматриваемой территории дается в основном по материалам В. А. Ярмолюка (1969).

по сравнению с Сибирской платформой, хотя литологический состав их аналогичен. Юдомо-Майский прогиб к северо-северо-востоку переходит в более погруженный Верхоянский прогиб, где помимо пород верхнего протерозоя и кембрия в разрезе имеются карбонатные и терригенные отложения ордовика, силура, девона, карбона и перми. К востоку от Верхоянского прогиба находится Охотский срединный массив, сложенный кристаллическими сланцами и гнейсами архея, перекрытыми осадочными породами верхнего протерозоя и палеозоя, а также эффузивами верхнего мезозоя.

С юго-юго-восточной части Сибирская платформа и Юдомо-Майский прогиб ограничиваются складчатой системой Становика и Джугджура, в пределах которой наибольшее развитие получили кристаллические сланцы и гнейсы. Указанная складчатая система контактирует с Сибирской платформой и Юдомо-Майским прогибом зоной разломов, в которой широко распространены юрско-меловые средние и кислые эффузивы, а также крупный Джугджурский анортозитовый массив, образованный в раннем докембрии.

На юге рассматриваемой территории расположены Хингано-Буреинский и Ханкайский срединные массивы, которые, по мнению А. М. Смирнова (1958), Л. И. Красного (1960), Л. И. Красного и др. (1960), являются северными выступами Китайской платформы, возникшей, как и Сибирская платформа, в протерозое. Эти срединные массивы образованы кристаллическими сланцами и гнейсами нижнего протерозоя и частично верхнепротерозойскими и кембрийскими терригенно-карбонатными отложениями, зажатыми в складки среди нижнепротерозойских образований.

Складчатые сооружения, расположенные между Сибирской платформой на севере и Хингано-Буреинским массивом на юге и протянувшиеся в широтном направлении, получили название Монголо-Охотской геосинклинали. Эта тектоническая структура, выполненная палеозойскими (кембрий — пермь) терригенно-кремнисто-карбонатными отложениями, в верхнем течении р. Селемджи расчленяется на две ветви — Охотскую и Хингано-Приморскую. Первая простирается на северо-восток, в сторону Шантарских островов и Аянской бухты, охватывая Сибирскую платформу. Вторая ветвь ориентирована в сторону Южного Приморья, огибая с востока Хингано-Буреинский и Ханкайский массивы.

Для Монголо-Охотской геосинклинали характерно наличие крупных региональных разломов и относительно слабое проявление магматизма. В мезозойское время на складчатых сооружениях этой геосинклинали формировались наложенные прогибы, такие, как Верхне-Амурский, Зейско-Удский, Зее-Буреинский, Верхне-Буреинский и Тыл-Торомский. В основании прогибов залегают морские песчано-сланцевые образования в основном юрского возраста, подстилающиеся в некоторых прогибах верхнетриасовыми отложениями. Морская юра вверх по разрезу сменяется континентальными отложениями нижнего мела, с которыми в ряде случаев связана промышленная угленосность, например, в Верхне-Буреинском прогибе. Стратиграфический разрез прогибов завершается эффузивами или песчано-галечниковыми отложениями верхнего мела и палеогена, залегающими практически горизонтально.

К востоку от Монголо-Охотской геосинклинали области расположена мезозойская Сихотэ-Алинская складчатая область, где преимущественно развиты песчано-сланцевые, реже кремнистые и карбонатные породы от перми до мела включительно. Отложения указанного возраста слагают горные системы Южного Приморья, Сихотэ-Алиния и Нижнего Приморья. Нижняя часть разреза, представленная морскими толщами в основном карбонового возраста, распространена в Главном Сихотэ-Алинском синклинории, а верхняя часть образована преимущественно угленосными отложениями палеогена и развита в межгорных впадинах. В Юж-

ном Приморье, кроме того, есть нижнемеловые угленосные отложения, наибольшая мощность разреза которых отмечается в Сучанском угленосном бассейне.

Все структуры Сихотэ-Алинской складчатой области имеют четко выраженное северо-восточное направление и осложнены многочисленными разломами и прорваны нижнемеловыми, верхнемеловыми и палеогеновыми гранитоидами, с которыми связаны промышленные месторождения олова, золота, редких и цветных металлов. Самая восточная окраина Сихотэ-Алинской геосинклинальной области, тяготеющая к Японскому морю и Татарскому проливу, может быть уже отнесена к окраинной зоне кайнозойской складчатости. В пределах ее широко распространены мезокайнозойские, в основном третичные эффузивы, представленные кварцевыми порфирами, дацитами, андезито-дацитами, андезито-базальтами, базальтами и реже — липаритами. Эти эффузивы в ряде мест прорваны телами гранитоидов гранодиоритового и кварц-диоритового состава, что свидетельствует о проявлении верхнетретичных тектонических движений, которые в наибольшей степени отразились на формировании складчатых структур о. Сахалин.

Таким образом, территория Дальнего Востока в пределах лесной зоны в геологическом отношении представляет собой сложное полигенетическое образование — от докембрийских платформ (Сибирская и Китайская), до области развития кайнозойской складчатости (о. Сахалин). При этом нарастание континента шло с запада на восток, так же как и смена возрастов складчатости от палеозойской и мезозойской до кайнозойской. К концу мезозоя западная часть территории фактически была уже континентом. Геосинклинальное развитие тектонических процессов имело место в пределах Восточного Сихотэ-Алия, Сахалина и Курильской гряды. Помимо этого, в мезозое происходило заложение и формирование ряда межгорных депрессий, которые служат основанием для нынешних дальневосточных равнин. На границе мезозоя и палеогена были образованы горы Сихотэ-Алия, а в неогене — Курильская гряда, где и в настоящее время происходят горообразовательные и вулканические процессы.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛОГЕНИИ

Геолого-тектоническое развитие территории Дальнего Востока и процессы магматизма, сопровождавшие формирование крупных геологических структур, обусловили возникновение здесь разнообразного комплекса рудных полезных ископаемых, находящихся в составе Тихоокеанского рудного пояса, выделенного С. С. Смирновым в 1940 г.

Тихоокеанский рудный пояс — одна из крупнейших тектонических структур нашей планеты, содержащая разнообразные рудные месторождения полезных ископаемых. На территорию СССР приходится северо-западная часть пояса, охватывающая Восточное Забайкалье, южную часть Дальнего Востока, Северо-Восток СССР, Камчатку, Курильскую гряду и о. Сахалин (Ицксон и др., 1960).

Наибольший металлогенический интерес в советском секторе Тихоокеанского рудного пояса представляет материковая часть Дальнего Востока, где сосредоточены основные рудные районы цветных, редких и рассеянных химических элементов. В целом металлогения материковой части Дальнего Востока контролируется геоструктурными элементами. Так, по данным Е. А. Радкевич (1960), металлогенические черты различных типов структур отличны. Области древней консолидации характеризуются развитием месторождений, связанных с базитами и гипербазитами различных возрастов, — хромита, талька, асбеста, магнезита, медно-никелевого оруденения, а также метаморфогенных месторождений железа

и графита; с интрузивами гранитоидов связаны проявления золота, меди, молибдена, свинца, цинка, вольфрама. Например, к протерозойским кристаллическим сланцам Хингано-Буреинского массива приурочено крупное месторождение графита (в районе с. Союзное), а в протерозойских анортозитах находятся залежи титано-магнетитовых руд. В пределах Уссури-Ханкайского массива локализованы Дмитриевское месторождение тальково-магнезитового камня и ряд других рудопроявлений этого сырья (Коренбаум, Щека, 1962), а также никеленосные серпентинитовые массивы, связанные с базитами и гипербазитами. С верхнепротерозойскими отложениями ассоциируют месторождения железных, марганцевых и магнезитовых руд Малого Хингана, а также Гаринское и Уссурийское железорудные месторождения. Первое находится в пределах Хингано-Буреинского, а второе — Ханкайского (Уссури-Ханкайского) массивов.

Для областей мезозойской и кайнозойской складчатости Дальнего Востока, в частности Сихотэ-Алиня, характерно широкое развитие месторождений олова, а местами свинца, цинка и золота (Радкевич, 1960). Например, с мезозойским магматизмом связаны месторождения олова, вольфрама, золота, ртути и других металлов. Наиболее рудоносными являются верхнемеловые гранитоиды, к зонам развития которых приурочены месторождения цветных металлов в составе крупных рудных районов. Так, вдоль Сихотэ-Алиня известен Приморский, или Сихотэ-Алинский, рудный пояс, в пределах которого расположены оловянные, оловянно-полиметаллические и полиметаллические месторождения. С мезозойским магматизмом связана основная промышленная минерализация олова в Приамурье (Ярмолюк, 1960, 1969). Так, в системе Буреинского хребта известны два оловорудных района — Хингано-Буреинский и Комсомольский (Радкевич и др., 1967) с рядом крупных месторождений.

Говоря о металлогении золота, следует указать, что через всю территорию Приамурья с запада на восток на тысячи километров протянулся золотоносный пояс, совпадающий с Монголо-Охотской складчатой областью (Ярмолюк, 1969). В пределах пояса выявляются отдельные золотоносные районы с рудопроявлениями золота, имеющими домеловый возраст. В низовье Амура этот пояс пересекается с Приморским (раннекайнозойского возраста) золотоносным поясом северо-восточного простирания, к которому приурочены также отдельные рудопроявления золота.

Пегматитовые поля Дальнего Востока, связанные с гранитами (Махнин, 1960), исключительно приурочиваются к древним складчатым сооружениям.

Е. А. Радкевич (1960), Е. А. Радкевич и др. (1968) подчеркивают, что как в пределах древней (протерозойской и палеозойской), так и более молодой (мезозойской и кайнозойской) областей складчатости каждый возрастной комплекс и каждая структурно-фациальная зона имеют свои отличительные металлогенические черты. Так, например, в Ханкайском рудном районе выделяются следующие основные металлогенические единицы (Иванов, Томашунас, 1960): Гродековская область, Ханкайская область, зона Западного Сихотэ-Алинского структурного шва, причем, каждая имеет свои черты минералогении. В частности, в составе Ханкайской области выделяются три зоны с определенной минеральной специализацией. Вознесенская зона характеризуется разнообразным оруденением, ведущими элементами которого являются олово, фтор, цинк и др. Дмитриевская зона отличается развитием интрузивных тел основного и ультраосновного состава, с которыми связаны метасоматические залежи тальково-магнезитовых пород, хризотил-асбеста и, возможно, остаточные кобальт-никелевые месторождения коры выветривания. Синегорская зона в отличие от двух первых расположена вдоль Синегорского разлома, сопровождаемого породами верхнемелового интрузивного комплекса со специфической рудной минерализацией: магнетитовой и шеелитовой скарпо-

вого типа, молибденитовой с золотом, редкометальной — гидротремальной и контактово-метасоматической.

Специализация характерна и для зоны Западного Сихотэ-Алинского структурного шва, включающей Арсеньевскую и Кабаргинскую группы рудопроявлений. Первая локализована в зоне интрузивного контакта палеозойских (?) гранитов с известняками и включает проявления олова, магнетитовых скарнов и наложенной сульфидной свинцово-цинковой минерализацией и скарнов с полиметаллическим оруденением. Во вторую группу рудопроявлений входит ряд участков свинцово-цинкового оруденения в скарнах, образованных на контакте мраморизованных известняков верхнепалеозойского (?) возраста с мезозойскими гранитами (Никифорова, 1965).

Следует отметить, что металлогеническая специализация рудных районов и зон в их пределах характерна для всего сектора Тихоокеанского пояса на территории Дальнего Востока. Этим собственно и объясняется многообразие генетических типов оруденений цветных, редких и рассеянных элементов в пределах рассматриваемого региона. Поэтому разработка биогеохимического метода поисков рудных месторождений в составе Тихоокеанского рудного пояса представляет собой довольно сложную задачу, поскольку помимо ландшафтных условий, влияющих на процессы миграции и накопления химических элементов в зоне гипергенеза, необходимо учитывать генетический тип и особенности минерального состава оруденений.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Кратко остановимся на характеристике основных растительных черт лесной области в пределах материковой части Дальнего Востока, поскольку растительный покров имеет непосредственное отношение к биогеохимическому методу поисков.

Биогеохимические исследования были выполнены в различных природных зонах лесной области Дальнего Востока. Следует отметить, что размещение лесорастительных зон в пределах рассматриваемого региона зависит от климатических особенностей, обусловленных близостью океана. Поэтому границы ботанико-географических зон весьма изменчивы. Так, например, на побережье океана вдоль горных хребтов, в частности Сихотэ-Алиня, граница растительных зон изгибается и приобретает не широтное, а меридиональное направление. Кроме того, в горных районах широтная зональность осложняется высотной поясностью. Так, например, по данным Б. П. Колесникова (1969), в Южном Приморье на западных склонах Сихотэ-Алиня от подножия до наивысших точек главного водораздела представлены все типы растительности, имеющиеся на Дальнем Востоке. У подножия хребта на Ханкайской равнине развита лесостепная растительность, гипсометрически выше, в предгорьях, преобладают широколиственные, в основном дубовые, леса, затем кедрово- и елово-широколиственные и пихтово-еловые. Еще выше развито лишь субальпийское каменисто-березовое криволесье, кедровый стланик и заросли кустарников, и, наконец, на самых вершинах встречаются участки горных тундр и фрагменты горных каменных пустынь.

В ряде случаев распространение определенного типа растительности связано с так называемым барьерным эффектом возвышенностей, вследствие чего геоботанические границы совпадают с границами проникновения на материк воздушных масс. Например, по данным Б. П. Колесникова (1969), северная граница наиболее теплолюбивых на Дальнем Востоке чернопихтово-широколиственных лесов и многих южных видов растений совпадает с границей устойчивого проникновения в глубь Южного

Сихотэ-Алиня теплых и влажных тропических воздушных потоков. Степная и остепненная растительность в предгорьях Сихотэ-Алиня приурочена к долинам горных рек, ориентированных вдоль путей движения весенних суховеев из центральных частей Азиатского материка.

На распределение растительного покрова оказывает влияние и многолетняя мерзлота, область распространения которой неблагоприятна для произрастания многих видов растений, типичных для зоны широколиственных и хвойно-широколиственных лесов. Например, северная граница произрастания кедра корейского, дуба монгольского и других растений, весьма характерных для зоны смешанных лесов, практически совпадает с южной границей распространения сплошной и многолетнемерзлотной толщей мощностью до 15 м (Колесников, 1969).

В общей сложности геолого-геоморфологические и физико-географические особенности в материковой части Дальнего Востока обусловили пестроту растительного покрова, которая заключается в резкой смене типов растительных ассоциаций и в нарушении классической зональности.

На этой территории Б. П. Колесников (1969) выделяет зоны: хвойных лесов, смешанных хвойно-широколиственных лесов и лесостепную зону.

Зона хвойных (таежных) лесов занимает северную часть лесной области описываемого региона. Основными здесь являются лиственничные и еловые леса, и в горах выше границы высокоствольного леса развиты криволесья из каменной березы, стелющиеся леса из кедрового стланика и горно-тундровая растительность. В составе зоны таежных лесов выделяются три подзоны — северной, средней и южной тайги.

Для северотаежной подзоны редкостойных светлохвойных лесов, расположенной в самой северной части региона, характерно абсолютное господство лиственничных лесов, среди которых преобладают лишайниковые и кустарничково-сфагновые лиственничники. В горах значительные площади заняты кедровым стлаником, горными тундрами и каменными осыпями, лишенными растительного покрова.

Среднетаежная подзона светло- и темнохвойных лесов занимает побережье Охотского моря, приустьевую часть Амура, а также участки бассейнов Амгуни, Уды, Маи, Зеи, Селемджи и Буреи. Хотя в составе этой подзоны лиственничные леса преобладают, однако темнохвойные леса с господством ели аянской имеют довольно широкое распространение. Среди еловых лесов этой подзоны на горных склонах и в долинах развиты зеленомошные ельники, а в горах встречаются ельники с кедровым стлаником. Пихта белокорая в древостое ограничена, в то время как смешанные елово-лиственничные древостой встречаются часто. Для нижних ярусов подзоны характерно наличие высокогорных и горно-тундровых растений.

Подзона южнотаежных лесов занимает значительную часть Буреинского хребта и верхний горный пояс Сихотэ-Алиня. Лесная растительность в восточной (океанской) и западной (континентальной) частях здесь различна. В восточной части преобладают еловые леса с пихтой. При этом на пологих склонах и в долинах рек весьма типичны папоротниковые ельники, а на крутых горных склонах — ельники-зеленомошники. Коренные лиственничники редки и встречаются только на заболоченных участках долин рек и на высоких каменистых горных склонах. В западной части темнохвойные леса редки, господствующими являются лиственничные, среди которых отмечаются багульниковые и кочкарные осоковые, а также ерниковые и кустарничково-сфагновые лиственничники.

Зона хвойно-широколиственных лесов в материковой части юга Дальнего Востока занимает значительную территорию, прилегающую к долине Амура на участках Кумара — Благовещенск и от устья р. Архары до пос. Софийска, а также весь бассейн р. Усури и восточное побережье Японского моря (Колесников, 1969). Помимо хвойных древесных пород в лесных формациях этой зоны принимают участие разнообразные лист-

венные породы — дуб монгольский, орех маньчжурский, ильмы, клены, липы и др. По сравнению с другими зонами для лесов хвойно-широколиственной зоны характерны некоторые особенности. Так, древостой отличается многоярусностью и многовидовым составом. Нижний ярус состоит из многочисленных папоротников и разнотравья. В подлеске весьма типичны виды из семейства аралиевых — элеутерококк, аралия, акантопанакс, а из лиан — виноград, актинидия, лимонник и др. Из древесных пород здесь наиболее распространены кедр корейский, который входит в состав древесных насаждений всех лесных формаций этой зоны. На каменистых склонах южной экспозиции кедровники ассоциируют вместе с дубом монгольским, а на склонах северной экспозиции кедровники произрастают с лианами и березой желтой.

Среди представителей широколиственных пород зоны наиболее типичен дуб монгольский. Дубняки чаще всего растут на крутых каменистых склонах южной экспозиции с маломощными сухими почвами в условиях резкого колебания влажности и температур в течение вегетационного периода. По видовому составу подлеска выделяются дубняки с лещиной разнолистной, распространенные по пологим склонам сопок, дубняки с леспедецей двуцветной, произрастающие по крутым каменистым склонам, дубняки с рододендронам амурским, развитые по скалистым вершинам гор, дубняки с липой и кленами на северных склонах сопок.

В составе зоны хвойно-широколиственных лесов выделяются северная, средняя и южная подзоны. Северная подзона занимает наибольшую площадь. Для нее характерно преобладание кедрово-широколиственных лесов с участием в древостое ели и пихты; типичны и елово-широколиственные леса. Производными лесами подзоны являются дубняки, осинники и белоберезники как чистые по видовому составу, так и смешанные.

Средняя подзона занимает территорию к югу от северной. Основные формации здесь — кедрово-широколиственных лесов и дубняков.

Для южной подзоны характерны кедровники, чернопихтово-широколиственные и широколиственные, в основном дубовые, леса.

В горных районах лесные массивы зоны хвойно-широколиственных лесов имеют большое почвозащитное значение, регулируя поверхностный сток ливневых дождей.

Лесостепная зона на Дальнем Востоке выделяется Б. П. Колесниковым (1961, 1969). По сравнению с описанными выше зонами она занимает наибольшую территорию и находится в пределах Приханкайской и Зее-Буреинской равнин. Первичный растительный покров на этих равнинах претерпел интенсивные изменения под влиянием хозяйственной деятельности человека, и в настоящее время естественная растительность названных равнин представлена лесными, луговыми и болотными ассоциациями.

На останцовых сопках в пределах равнин развиты низкорослые древесно-кустарниковые заросли, состоящие из дуба монгольского, березы даурской и кустарников — лещины разнолистной и леспедецы двуцветной.

По мнению Б. П. Колесникова (1969), лесостепь дальневосточных равнин родственна лесостепи северной части Северо-Востока Китая, Даурии и Восточной Монголии. По ряду признаков, обусловленных муссонностью климата, она отличается от типичной лесостепи Европейской части СССР и Западной Сибири. Ю. А. Ливеровский (1946) считает, что лесостепной ландшафт Дальнего Востока имеет много общего с североамериканскими прериями и называет его влажной лесостепью, или восточноазиатской прерией.

Следует отметить, что опытно-методические биогеохимические исследования были выполнены в различных фитоценозах в пределах названных зон и подзон. Поэтому растительный покров участков биогеохимических работ ниже будет освещен более подробно при описании особенностей биогеохимии растений, распространенных на рудопроявлениях разного генетического типа.

МЕТОДИКА БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика биогеохимических исследований была выбрана такой, чтобы представилась возможность оценки применения биогеохимического метода на основании опытно-методических работ, поэтому последние выполнялись на известных рудных месторождениях и рудопроявлениях и их флангах. В свою очередь, выбор объектов исследований с целью изучения особенностей миграции и накопления химических элементов, особенно редких и рассеянных, в растениях и почвах был сделан таким образом, чтобы можно было охарактеризовать различие миграции химических элементов в зоне гипергенеза, исходя из генетического типа минерализации эндогенного оруденения и ландшафтных условий.

Методика биогеохимических исследований предусматривала полевые, лабораторные и камеральные работы.

МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования заключались в отборе растительных (биогеохимических) проб и образцов почв по генетическим горизонтам, чтобы полнее изучить содержание в них химических элементов. Опробование сопровождалось подробным описанием ландшафтных условий местности в целом, а также описанием растительности и почв.

Непосредственно полевые исследования начинались с разбивки профилей, заложенных вкрест простирания рудных тел или зоны оруденения. Количество профилей на объекте колебалось от 1—2 до 5, в зависимости от условий местности и характера оруденения, а расстояние между профилями — от 25 до 40 м, с точками отбора проб растений и почв через 20 м. В каждом конкретном случае эти расстояния менялись и в ту и другую сторону. Однако в большинстве случаев принимались за основу разбивки профилей вышеуказанные параметры, что, согласно Л. И. Грабовской и Е. Д. Астракан (1963), примерно соответствует масштабу 1 : 2000 поисковой сети. Длина профилей и, следовательно, количество точек наблюдения на них зависела от мощности зоны оруденения или характера ландшафтных условий, где проводилось биогеохимическое опробование.

После выбора параметров сетки опробования, профили закрепляли на местности. Для этого примерно в центре площади, намеченной для работ, параллельно простиранию основных рудоносных структур, была заложена опорная линия. Линию провешивали или обозначали зарубками на деревьях. От опорной линии через отрезки, равные принятому расстоянию шага опробования, намечали профили, проходящие под прямым

углом к опорной линии и с помощью мерной ленты или рулетки их разбивали на равные отрезки, принятые расстоянию между точками отбора. Точки отбора закрепляли кольешками или зарубками на деревьях. Концы профилей, как правило, выходили за пределы зон оруденения так, чтобы половина точек наблюдения приходилась на безрудную зону. Начало профилей отмечали кольями с нанесением на них номера профиля и даты опробования. С помощью надежных ориентиров и кольев сетку опробования закрепляли, чтобы можно было повторно отобрать или проверить выявленные аномалии разведочными работами. В точках на профилях проводилось биогеохимическое опробование. Пункт такого опробования представлял собой квадрат площадью 25 м², где выполнялись следующие работы: а) описание растительности и ландшафтная привязка пункта опробования; б) отбор растений для гербария; в) отбор растительных проб для установления зольного состава их; г) опробование почвы по генетическим горизонтам с описанием почвенного разреза.

При описании растительного покрова указывался тип растительности (древесная, кустарниковая, травянистая, болотная, луговая, степная и т. д.), видовой состав, размещение видов на поверхности, плотность травостоя и древостоя (густой, редкий, средний), распространенность отдельных видов, фазы развития (вегетация, цветение, плодоношение, конец вегетации) и их характеристика, определение возраста древостоя, морфологическая изменчивость, выражающаяся в изменении окраски и формы цветов, плотности и окраски листьев, характера опушения растений, формы растений и т. д., а также фиксировались все патологические формы растений. Описание растительности проводилось в пункте опробования, вдоль профиля опробования, а также в стороны от профиля, насколько позволяло зрение. При геоботаническом описании растительности производилась раскопка и изучение морфологии корневых систем.

Биогеохимическому опробованию в точках наблюдения были подвергнуты почти все наиболее распространенные растения: древесные, кустарниковые, травянистые и мхи. Такой подход к биогеохимическому опробованию был обусловлен характером исследований, представляющих собой опытно-методические работы, в частности необходимо установить особенности накопления химических элементов в различных типах растительности. Из древесных растений и кустарников биогеохимические пробы отбирали из их органов — хвои (листьев), веток, древесины, коры. В ряде случаев опробованию подвергались и корни, преимущественно кустарников. Травянистые растения в пробу входили целиком, но иногда включали опад, а также сухостой. Для определения влияния времени года на усвоение и концентрацию химических элементов некоторые пункты (объекты) опробовали в различное время года — весной, летом, осенью, а также до муссонного дождя и после него. Отобранные биогеохимические пробы озолялись до черной золы в полевых условиях по разработанному нами (Ивашов, Бардюк, 1968а) способу, о котором будет сказано ниже.

Кроме биогеохимического опробования в точках наблюдения закладывались почвенные ямы на всю глубину почвенного слоя. Производилось описание почв: указывалась мощность каждого почвенного горизонта, его влажность, цвет, структура, механический состав (плотное, рыхлое, сыпучее), встречаемость корней, характер перехода к следующему горизонту, новообразования и включения и т. д. Помимо этого, из каждого генетического горизонта отбирались образцы почв с целью выявления распределения химических элементов по всему разрезу почвенного слоя. Вес почвенной пробы был порядка 400 г. Кроме образцов, из генетических горизонтов почв отбирались шлиховые пробы для изучения особенностей распределения по разрезу тяжелых минералов.

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Все полевые сборы — биогеохимические растительные пробы и образцы почв обрабатывались для подготовки их к спектральному и другим анализам.

Растительные пробы, как уже указывалось, подготавливались к спектральному анализу путем их озоления в два этапа. Первый этап заключался в озолении проб до черной золы и проводился в полевых условиях по разработанному нами способу.

Способ заключается в том, что растительные пробы сжигались в коробках медицинских стерилизаторов. Нами были использованы стерилизаторы, представляющие собой прямоугольную металлическую коробку со съемной крышкой (рис. 2). Конструкция этого стерилизатора дает возможность убрать из него приспособление для крепления шприца. Размеры пустой коробки составляют $120 \times 70 \times 40$ мм, а крышки — $122 \times 72 \times 14$ мм, что позволяет загружать растительные пробы без дополнительного измельчения. Наполненные растительными пробами коробки ставили на противень из листового железа толщиной 1 мм и под ним разжигали костер. Размеры противня могут быть различными. Но наиболее оптимальными считаются такие, когда на противне можно сжигать до 100 проб. Прямоугольная конструкция коробок позволяет максимально использовать полезную площадь противня, располагая их в ряд, а незначительная толщина стенок (0,75 мм) обеспечивает быстрый нагрев и ускоряет горение проб. Крышками же можно регулировать доступ кислорода к сжигаемым пробам. Этот способ сжигания исключает необходимость предварительной подсушки проб, поскольку при обычном горении костра сырые пробы успевают стгорать до черной золы за 1,5—2 ч. По возможности пробы перед сгоранием можно подсушивать в естественных условиях. При этом следует заметить, что, как показано А. Л. Ковалевским (1963а), содержание химических элементов в получающейся золе не зависит от влажности проб. После сгорания проб стерилизаторы убирают с противня, охлаждают в естественных условиях, а затем черную золу ссыпают в бумажные пакеты из прочной бумаги (крафт), которые сопровождаются необходимой документацией.

Второй этап заключается в том, что черную золу в муфельных печах доводили до белой золы при температуре не выше 450° , чтобы сохранить некоторые легколетучие элементы — бериллий, литий и др.

Образцы почв в полевых условиях подвергали растиранию в фарфоровой ступке после предварительного выбора из них остатков корешков, особенно из гумусового горизонта. Затем полученные пробы просеивали через сито 1 мм и отбирали две навески — одну для общего анализа почв, другую — для спектрального анализа.

После обработки растительных проб, т. е. их озоления, белую золу подвергали полному полуколичественному и приближенно-количественному спектральному анализам. Количественному и приближенно-количественному спектральному анализам подвергали и одну из навесок проб почв. Количественный спектральный анализ выполнялся для основных химических элементов оруденения, а приближенно-количественный — на все встреченные в почвах химические элементы, особенно редкие и рассеянные. Чувствительность приближенно-

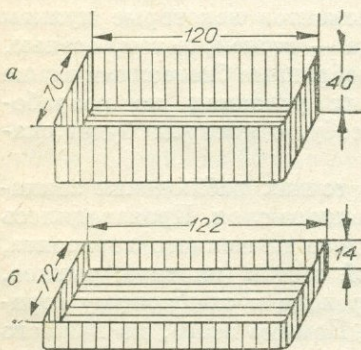


Рис. 2. Внешний вид коробки (а) и крышки (б) медицинского стерилизатора, применяемого при озолении растительных проб; размеры даны в мм.

Чувствительность спектрального анализа для определения цветных, редких и рассеянных элементов

Элемент	В почвах	В растениях	Элемент	В почвах	В растениях
Mn	0,001	0,001	Sb	0,01	0,001
Ni	<0,001	0,0001	Be	0,0001	<0,0001
Co	<0,001	<0,001	Ga	0,001	<0,001
V	0,001	<0,001	Y	0,001	0,001
Ti	0,001	<0,001	Yb	0,0001	—
Cr	0,003	0,001	Ba	0,001	<0,001
Zr	0,003	0,001	Sr	0,01	0,01
W	0,003	<0,003	Li	0,01	0,01
Mo	<0,001	<0,0001	Sc	0,001	<0,003
Cu	<0,001	0,001	Bi	0,001	<0,001
Zn	0,006	0,008	As	0,001	0,001
Pb	<0,001	<0,001	Nb	0,001	0,001
Sn	0,001	<0,001	Rb	0,001	—
Ag	0,001	0,0001	Cs	0,001	—

количественного анализа определения химических элементов в почвах и растениях при использовании спектрографов ИСП-30 и ДФС-13 приведена в табл. 1.

В другой навеске из образцов почв определяли механический состав, валовой химический состав и химические свойства. Механический состав устанавливали методом пипетки по Н. А. Качинскому (1958) и методом отмучивания с отбором следующих фракций (мм): 1—0,25; 0,25—0,05; 0,05—0,01; 0,01—0,005; 0,005—0,001; <0,001, в расчет также входили фракции «физического песка» (> 0,01 мм) и «физической глины» (< 0,01 мм). Валовой химический состав почв определяли обычными методами мокрой химии. Устанавливали содержание компонентов (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, CaO, MgO, P₂O₅, Na₂O, K₂O, SO₃, H₂O_{глир}, п. п. п.), а также молекулярное отношение SiO₂:R₂O₃.

Для характеристики химических свойств определялись следующие компоненты: гигроскопическая вода, pH (водной и солевой вытяжки), гумус (по Тюрину), поглощенные катионы Ca²⁺, Mg²⁺, H⁺ (по Гедройцу) и их сумма; степень ненасыщенности, а также содержание подвижных окислов SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ (в вытяжке Тамма).

Шлихи, отмытые из генетических горизонтов почвенных разрезов, подвергали полному минералогическому изучению с подробным описанием морфологических особенностей минералов, которое начиналось с отделения из них легкой фракции с помощью тяжелой жидкости — бромформа. Затем собственно тяжелую фракцию подвергали магнитной и электромагнитной сепарации, и таким образом шлик разделялся на три фракции: магнитную, электромагнитную и немагнитную. Полученные фракции изучали под бинокляром и в иммерсионных жидкостях под микроскопом и определяли константы и диагностические признаки содержащихся тяжелых минералов. Рассчитывали также процентное и весовое содержание каждого тяжелого минерала в шлихе, на основании чего выделяли ведущие и повсеместно встречающиеся минералы (минералогические ассоциации) для каждого генетического горизонта почвенных разрезов.

Глинистые частицы (< 0,001 мм) из образцов почвенных генетических горизонтов для установления их минерального состава подвергали дифференциально-термическому и рентгеноструктурному анализам.

МЕТОДИКА КАМЕРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Камеральная обработка материалов биогеохимических исследований заключалась в систематизации полевых описаний объекта изучения и интерпретации результатов лабораторных исследований. Результаты спект-

ральных анализов по определению химических элементов в почвах и растениях обрабатывали методами вариационной статистики, описанными А. П. Солововым (1959) и И. П. Шараповым (1965).

Рассчитывали частоту встречаемости химических элементов в почвах и растениях с помощью вариационных кривых, определяли местный геохимический фон, соответствующий положительному экстремуму кривой, а также аномальные и фоновые содержания элементов в растениях и почвах по методике Л. И. Грабовской и Е. Д. Астрахан (1963).

Помимо указанных параметров также определяли коэффициенты биологического поглощения (Перельман, 1966), контрастность литогеохимических и биогеохимических аномалий и их смещение на склонах сопок относительно эпицентров рудных тел.

Выявляли растения, накапливающие определенные химические элементы, а также устанавливали зависимость содержания редких и рассеянных химических элементов в системе почва — растение. В ряде случаев статистическую обработку производили на электронно-вычислительной машине «Мир».

Результаты обработки опробования растений и почв давали возможность оценить биогеохимические и литогеохимические ореолы рассеяния, сопровождающие зоны минерализации.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ДАЛЬНОГО ВОСТОКА

Олово — один из основных химических элементов, чрезвычайно важных для народного хозяйства нашей страны. Этот металл имеет самое разнообразное применение в технике. Большая часть олова расходуется на изготовление белой жести, без которой практически невозможно существование пищевой промышленности. Миллиарды консервных банок, изготавливаемых у нас в настоящее время, дают четкое представление о его потребности на нужды этой промышленности. Значительным потребителем олова является автомобильная промышленность, использующая его в виде сплавов — баббитов, бронзы, латуни и т. д. В среднем на каждый автомобиль расходуется 5—7 кг олова, отсюда можно судить о количестве этого металла, которое идет на потребности автомобильной промышленности (Остроменцкий и др., 1966). Высокой чистоты олово применяется в новой, быстро растущей отрасли техники — производстве полупроводников. Кроме того, в сплаве с цирконием олово используется в атомной энергетике. Отсюда становится понятным то внимание, которое геологи и геохимики обращают на этот химический элемент, совершенствуя методику его поисков.

Как известно, в нашей стране практически все промышленные месторождения олова сосредоточены на востоке, в частности на Дальнем Востоке, где получили развитие основные оловорудные формации (Радкевич, 1968), поэтому разработка и применение наиболее эффективных методов поисков этого элемента здесь имеет чрезвычайно большое народнохозяйственное значение. Однако геохимия олова в зоне гипергенеза изучена весьма слабо, особенно по сравнению с геохимией этого элемента в гидротермальном процессе. Между тем знание геохимических особенностей миграции олова в гипергенезе в широком смысле этого понятия, т. е. в современной коре выветривания, в почвах, растениях и водах, очень важно для теории и практики геохимических методов поисков, особенно в условиях Дальнего Востока. В связи с этим и были выполнены биогеохимические исследования на оловорудных месторождениях разного генетического типа в различных природных зонах Дальнего Востока с целью изучения особенностей миграции и накопления олова и сопутствующих элементов в почвах и растениях.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОЛОВОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ МАЛОГО ХИНГАНА

Общая характеристика месторождения и сформированных на нем почв

Месторождение расположено в низких восточных отрогах хр. Малый Хинган. Абсолютные высоты местности здесь не превышают 500—550 м, а относительные превышения над уровнем реки, протекающей на участке, составляют 100—150 м.

Рудные тела находятся на правом склоне долины реки, имеющем выпуклую форму. Крутизна склона в верхней части составляет 3—7°, а в нижней увеличивается до 30—32°. Склон расчленен мелкими долинками ручьев и сухих логов, по которым происходит снос обломочного материала в период снеготаяния и летне-осенних ливневых муссонных дождей.

Мощность элювиально-делювиальных отложений в районе месторождения не превышает 1,0—2,0 м.

По климатическому районированию Б. П. Алисова (1956) описываемая территория относится к Амуро-Уссурийскому району Тихоокеанской лесной области и характеризуется умеренно теплым и влажным летом и умеренно суровой малоснежной зимой. Среднее годовое количество осадков 700 мм, причем основная часть их (70—80%) выпадает в летне-осеннее время в виде ливневых муссонных дождей, суточная интенсивность которых иногда достигает 100—150 мм. Средняя глубина промерзания почвогрунтов 1,9 м, максимальная — 2,9 м. Снежный покров незначительный, мощность его в среднем составляет 38 см, а в горах достигает 50 см.

Материнскими породами, на которых сформирована современная кора выветривания и почвы, являются лавобрекчии фельзит-порфиров, кварцевые порфиры, лавобрекчии порфиритов и другие эффузивно-осадочные породы, среди которых залегают рудные тела — оловосодержащие метасоматиты (Федчин, 1964). В строении рудных тел принимают участие топазо-кварцевые, турмалино-кварцевые, серицит-кварцевые, кварц-биотитовые и хлоритовые породы. Основную часть рудных тел составляют топазо-кварцевые метасоматиты с касситеритом и подчиненным значением сульфидов (пирит, сфалерит, арсенопирит, галенит, халькопирит), а также турмалином, биотитом, серицитом, мусковитом, хлоритом, флюоритом, эпидотом и кальцитом.

Месторождение расположено в пределах северной подзоны зоны смешанных хвойно-широколиственных лесов (Колесников, 1961, 1969).

Согласно карте Ю. А. Ливеровского и Л. П. Рубцовой (1962), участок месторождения входит в Средне-Амурскую провинцию зоны бурых горно-лесных и бурых лесных почв. Непосредственно на месторождении развиты бурые горно-лесные почвы.

Вследствие того, что участок биогеохимических исследований сложен плотными кислыми эффузивными породами, формирование современной коры выветривания и почвенного покрова относительно затруднено. Кроме того, крутой склон сопки способствует интенсивному сносу обломочного материала, образующегося в процессе выветривания коренных вулканогенных пород, вниз по склону. Эти факторы привели к тому, что почвенный покров на участке совмещен с толщей современной коры выветривания. В целом почвенный профиль бурых горно-лесных почв характеризуется небольшой мощностью, почвы щебневатые, дифференциация их на генетические горизонты выражена слабо. Высокая щебнистость почв, возрастающая от верхних горизонтов к нижним, обусловила большую порозность почвенной массы и образование пустот, пор и трещин.

Это способствует перемещению мелкозема и его продуктов в виде суспензий из верхней части почвенного профиля и нижележащие генетические горизонты В и ВС, что в целом характерно для бурых горно-лесных почв, сформированных на кислых вулканогенных породах.

Для примера приводим описание почвенного разреза 20. Почва развита на делювии лавобрекчий, туфогенных пород и метасоматитов.

- А₀ 0—2 см Лесная подстилка темно-серого цвета, в верхней части опад.
 А₁ 2—10 см Гумусовый темно-бурый бесструктурный средний суглинок с корнями растений, дресвой и мелким щебнем (5—10%) слабывветрелых орговикованных туфов. Переход резкий по цвету.
 В₁ 10—25 см Буровато-коричневый рыхлый бесструктурный легкий суглинок с дресвой (15%) и плоскими обломками щебня (20—30%) туфогенных пород.
 В₂ 25—35 см Коричневато-бурый бесструктурный тяжелый суглинок, слегка уплотнен, со щебнем и крупными обломками вулканогенных пород.
 ВС 35—55 см Буровато-коричневый с серым оттенком бесструктурный тяжелый суглинок с крупными глыбами (70—80%) вулканогенных пород. Мелкозем с дресвой заполняет пространство между глыбами пород.

По механическому составу (табл. 2) бурые горно-лесные почвы сложены в основном тяжелыми пылеватыми суглинками. Средние и легкие суглинки играют в почвах подчиненную роль. В распределении глинистых частиц, т. е. фракции <0,001 мм, в генетических горизонтах почвенных профилей наблюдается определенная закономерность. Так, в почвенных профилях на водораздельной части сопки (например, разрез 27) и в наиболее выположенной нижней части склона (в частности, разрез 1) накопление глинистых частиц происходит в горизонте В₂, т. е. в нижней части иллювиального горизонта. Этой же закономерности подчиняется и фракция «физической глины» (<0,01 мм). Отсюда можно сделать вывод о том, что на водораздельной части и наиболее выположенном склоне сопки

Таблица 2

Механический состав бурых горно-лесных почв, сформированных на участке оловуродного месторождения, %

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	Фракция, мм						Сумма частиц	
			1,0—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	<0,01	>0,01
1	В ₁	6—10	5,00	6,82	59,01	9,97	9,35	2,85	22,17	70,83
	В ₂	18—25	14,58	30,81	21,09	9,65	14,66	6,78	31,09	66,28
	ВС	35—40	10,11	21,03	22,13	10,09	23,69	10,19	43,97	53,27
3	В ₁	5—10	2,26	16,59	49,84	9,73	13,80	3,60	27,13	68,69
	В ₂	15—18	2,94	24,56	40,89	12,34	14,60	0,31	27,25	68,39
10	А ₀ А ₁	0—3	21,55	24,14	35,68	8,37	3,80	0,59	12,76	81,37
	В ₁	8—12	4,03	17,36	45,47	11,34	13,80	3,23	28,37	66,86
	В ₂	25—30	3,42	14,30	42,32	10,82	19,37	6,18	36,37	60,04
	ВС	40—45	4,10	19,35	40,25	10,79	16,67	5,22	32,68	63,70
20	А ₀ А ₁	0—10	19,38	23,37	34,84	8,8	6,72	1,13	16,65	77,59
	В ₁	10—25	9,89	11,56	50,23	8,88	11,43	1,95	22,26	71,68
	В ₂	25—35	4,76	15,73	39,47	12,36	18,52	4,65	35,53	59,96
	ВС	35—55	10,46	15,51	39,51	9,23	18,08	4,22	31,53	65,48
27	А ₀ А ₁	0—10	35,55	5,13	33,85	6,55	12,04	2,00	20,59	74,53
	В ₁	10—22	5,44	8,81	41,28	12,50	21,89	6,75	41,14	56,53
	В ₂	22—35	4,44	11,99	42,23	11,42	22,21	3,34	36,97	58,66
	ВС	35—55	6,64	4,42	36,22	11,94	26,06	11,11	49,11	47,28

Механические анализы выполнены в Хабаровском КНИИ ДВНЦ АН СССР аналитиком Т. Ф. Касперской методом отмучивания.

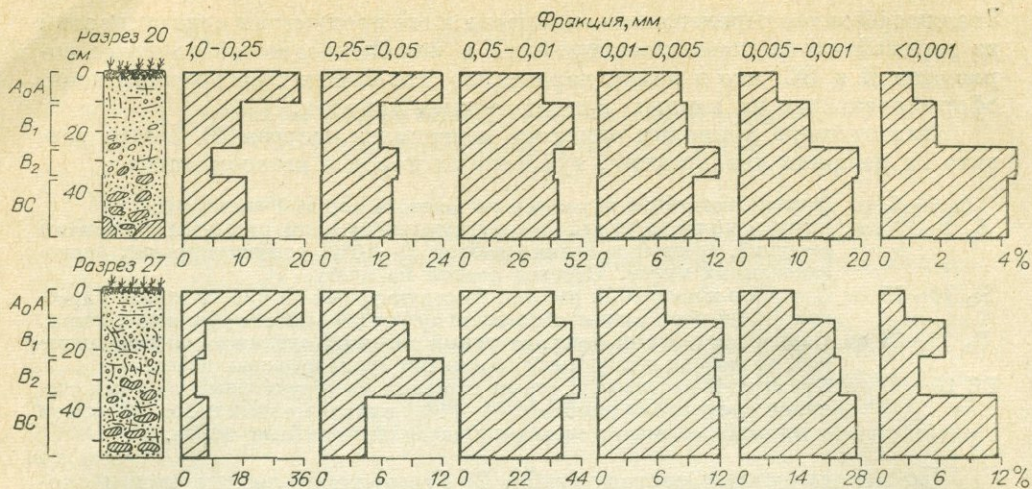


Рис. 3. Механический состав мелкозема бурых горно-лесных почв, сформированных на участке оловорудного месторождения.

накопление пылеватых и глинистых частиц происходит в нижних горизонтах почвенных разрезов благодаря преобладающей вертикальной миграции минерального вещества. В то же время на склоне сопки, где на вертикальное перемещение минерального вещества накладывается внутрипочвенная боковая миграция, накопление пылеватых и глинистых частиц происходит в средней части почвенных разрезов, т. е. в горизонте B_1 . Что касается содержания глинистых частиц в верхем гумусовом горизонте A_0A_1 , то почти во всех изученных почвенных разрезах содержание их значительно меньше, чем в нижележащих генетических горизонтах. На рис. 3 приведены диаграммы механического состава описываемых почв.

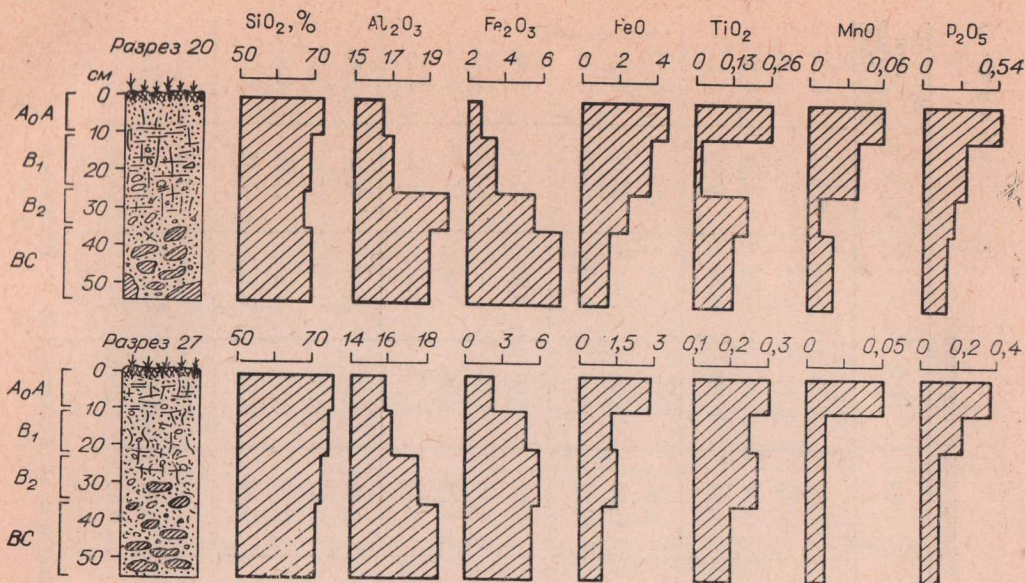
Валовой химический состав бурых горно-лесных почв по генетическим горизонтам на прокаленное вещество приведен в табл. 3. Обращает на себя внимание распределение кремнезема в генетических горизонтах почв. Так, в почвенных разрезах, тяготеющих к водораздельной части сопки, повышенное содержание кремнезема отмечено в верхнем гумусовом горизонте A_0A_1 , к нижележащим горизонтам оно постепенно уменьшается. Например, в разрезе 27 кремнезема в горизонте A_0A_1 75,45%, а в горизонте BC количество его снижается до 72,79%. В почвенных разрезах, расположенных на склоне сопки (например, разрез 10), максимальное содержание кремнезема обнаружено в средней части, в горизонте B_1 , а в нижней, наиболее выположенной части склона сопки накопление кремнезема отмечено в горизонте BC, т. е. в самой нижней части почвенного разреза. Таким образом, наблюдается закономерное накопление этого компонента вдоль склона сопки — в верхнем гумусовом горизонте A_0A_1 на водоразделе, в иллювиальном горизонте B_1 на склоне и в самом нижнем переходном горизонте BC в наиболее выположенной нижней части склона.

Полуторные окислы алюминия и железа распределяются в почвах достаточно определенно. Во всех изученных почвенных разрезах наблюдается постепенное увеличение содержания этих компонентов от верхнего гумусового горизонта A_0A_1 к нижнему горизонту BC. Однако особенно четко эта общая закономерность отмечается в почвенных разрезах, заложенных на водораздельной части сопки. Например, в разрезе 27 содержание полуторных окислов алюминия и железа в верхнем гумусовом горизонте равно соответственно 15,84 и 2,00%, а в горизонте BC количе-

Валовой химический состав мелкозема бурых горно-лесных почв (% на прокаленное вещество)

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	CaO	MgO	SO ₃	П. п. п.	Молекулярное отношение SiO ₂ :R ₂ O ₃
1	A ₀ A ₁	0—6	66,75	12,68	0,72	8,35	1,34	0,14	0,94	5,92	1,52	1,63	66,22	8,95
	B ₁	6—10	74,11	16,12	1,51	4,15	0,36	—	0,53	2,02	0,47	0,73	39,69	7,28
	B ₂	18—25	74,06	16,47	5,23	1,46	0,38	0,01	0,14	0,94	0,80	0,51	9,48	6,37
	BC	35—40	73,74	16,48	5,64	1,18	0,11	0,01	0,15	1,14	0,99	0,55	6,06	6,31
3	A ₀ A ₁	0—3	67,17	15,21	0,64	7,14	—	0,19	0,68	4,96	0,75	3,27	68,47	7,27
	B ₁	5—10	75,97	16,42	4,09	2,06	—	—	0,22	0,85	0,34	—	26,02	6,77
	B ₂	15—18	72,05	17,45	6,45	2,02	0,04	0,01	—	1,16	0,59	0,22	13,96	5,71
10	A ₀ A ₁	0—3	70,26	16,44	1,78	4,56	—	0,1	0,62	3,92	1,90	0,42	35,04	6,88
	B ₁	8—12	72,39	17,16	6,47	1,36	0,16	0,02	0,13	1,14	1,17	—	12,55	5,71
	B ₂	25—30	71,78	17,38	6,64	1,62	0,19	0,01	0,16	1,04	1,06	0,11	11,00	5,67
	BC	40—45	69,81	18,41	7,04	1,77	0,43	0,01	0,11	1,13	1,07	0,21	11,15	5,27
20	A ₀ A ₁	0—10	72,28	16,67	2,46	4,46	0,26	0,06	0,54	2,08	1,57	0,57	36,80	6,86
	B ₁	10—25	69,89	16,99	3,26	3,93	Сл.	0,04	0,29	0,35	0,88	0,26	33,93	6,10
	B ₂	25—35	69,04	20,60	5,56	2,49	0,17	0,01	0,20	0,99	0,94	Сл.	12,98	4,89
	BC	35—55	70,13	19,40	7,06	1,32	0,13	0,02	0,17	0,72	0,78	0,27	7,48	5,0
27	A ₀ A ₁	0—10	75,45	15,84	2,0	2,76	0,29	0,05	0,38	1,80	0,86	0,48	30,35	7,32
	B ₁	10—22	75,42	16,01	5,02	1,24	0,25	0,01	0,22	0,14	0,43	Сл.	12,29	6,63
	B ₂	22—35	73,16	17,51	5,84	1,46	0,27	0,01	0,10	0,89	0,75	Сл.	11,29	5,81
	BC	35—55	72,79	18,28	5,64	1,15	0,20	0,01	0,10	1,14	0,62	0,07	9,70	5,50

Анализы выполнены в Хабаровском КНИИ ДВНЦ АН СССР аналитиками З. В. Иллевой, Л. С. Воковенко, В. Ц. Лопадчак и К. Т. Игнатьевой.



ство этих компонентов значительно выше и достигает соответственно 18,28 и 5,64%.

Закись железа во всех изученных разрезах в максимальном количестве накапливается в верхнем гумусовом горизонте A_0A_1 , что, по-видимому, связано с органическим веществом в этом горизонте, содержащимся в нем в повышенном количестве. В нижележащих генетических горизонтах содержание закиси железа постепенно уменьшается.

Распределение двуокиси титана в почвенных разрезах аналогично кремнезему, т. е. в максимальных величинах этот компонент накапливается в горизонте A_0A_1 , а в минимальных установлен в горизонте BC.

Закись марганца обнаруживает тенденцию накапливаться в верхнем гумусовом горизонте A_0A_1 и содержится в минимальном количестве в горизонте BC, хотя в целом этого компонента в почвах незначительно. Так, например, в разрезе 10 закиси марганца в горизонте A_0A_1 содержится 0,1%, а в горизонте BC — 0,01%, т. е. в 10 раз меньше.

Остальные химические компоненты бурых горно-лесных почв, в частности окисные соединения фосфора, кальция, магния и серы, т. е. элементы-органогены, во всех изученных почвенных разрезах обнаруживают тенденцию в максимальном количестве накапливаться в верхнем гумусовом горизонте A_0A_1 и постепенно снижаться в нижележащих горизонтах. Следует отметить, что такое поведение элементов-органогенов и титана отмечено В. А. Зимовцем (1967) в аналогичных почвах Приамурья, сформированных на породах как кислого, так и среднего состава.

Максимальные потери при прокаливании (до 68,47%) отмечены в верхнем гумусовом горизонте в связи с повышенным содержанием в нем органического вещества, но постепенно они снижаются до 6,06% в нижележащих горизонтах, в частности в горизонте BC.

Молекулярное отношение кремнезема к сумме полуторных окислов почво всех генетических горизонтах описываемых почв больше 5 и колеблется от 8,95 до 4,89 единицы, при этом указанные величины постепенно уменьшаются от верхнего горизонта A_0A_1 к горизонту BC. Эти соотношения, с одной стороны, свидетельствуют об относительном накоплении кремнезема в верхнем горизонте A_0A_1 и постепенном уменьшении его в нижележащих горизонтах; с другой — они указывают на вынос полуторных окислов алюминия и железа из верхнего горизонта и накопление их в

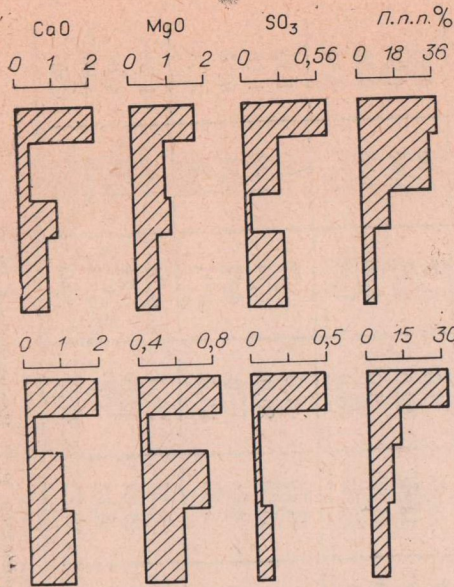


Рис. 4. Валовой химический состав мелкозема бурых горно-лесных почв (содержание компонентов в проценте на прокаленное вещество почвы).

нижележащих горизонтах, в частности в горизонте ВС. На рис. 4 изображены диаграммы валового химического состава мелкозема изученных почв.

Химические свойства бурых горно-лесных почв приведены в табл. 4.

Гигроскопическая вода во всех изученных почвенных разрезах присутствует в максимальном количестве в верхнем гумусовом горизонте A_0A_1 и постепенно содержание ее снижается в нижележащих горизонтах. Минимальное количество этого компонента почв отмечено в горизонте ВС.

Например, в разрезе 20 гигроскопической воды в горизонте A_0A_1 5,49%, а в горизонте ВС — только 2,31%.

Почвенная среда во всех изученных разрезах кислая и значение pH колеблется от 6,45 до 4,4 (водная вытяжка) и от 5,8 до 3,4 (солевая вытяжка). Наиболее кислая почвенная среда отмечена в горизонте B_1 , а наименее кислая, близкая к нейтральной, характерна для верхнего горизонта A_0A_1 (разрез 10). Нижние генетические горизонты (B_2 и особенно ВС) по кислотности среды занимают промежуточное значение. Следует отметить, что в почвенных разрезах, расположенных на водораздельной части сопки, почвенная среда всех генетических горизонтов более кислая, чем в профилях, заложенных в нижней части склона, хотя при этом наибольшая кислотность горизонта B_1 сохраняется.

Распределение содержания гумуса во всех почвенных разрезах подчинено общей закономерности: максимальное количество его находится в верхнем горизонте A_0A_1 , постепенно снижается в нижележащих горизонтах, и минимальные величины характерны для горизонта ВС.

Наибольшая сумма поглощенных катионов — кальция, магния и водорода во всех изученных почвенных профилях отмечена в верхнем гумусовом горизонте A_0A_1 . В нижележащих горизонтах количество этих компонентов снижается до минимальных значений в горизонте ВС.

Каждый из указанных катионов в почвенных разрезах ведет себя достаточно определенно. Так, для кальция и магния характерно постепенное уменьшение содержания от верхнего горизонта A_0A_1 к нижнему горизонту ВС. При этом содержание кальция и магния в верхнем горизонте резко повышено и достигает соответственно 46,57 и 12,99 мг·экв (разрез 10), в то время как в горизонте ВС содержание этих компонентов редко превышает 2—3 мг·экв.

В противоположность кальцию и магнию поглощенный водород почти во всех разрезах в минимальном количестве содержится в верхнем горизонте A_0A_1 , в максимальном — в горизонте B_1 . Например, в разрезе 20 поглощенный водород в горизонте A_0A_1 составляет лишь 0,46 мг·экв, в то время как в горизонте B_1 достигает 8,21 мг·экв. Нижележащие горизонты B_2 и ВС характеризуются промежуточными значениями этого компонента.

В целом для описываемых почв типична высокая насыщенность поглощающего комплекса, особенно в верхнем горизонте A_0A_1 , где степень насыщенности почти во всех профилях составляет более 90%. Минималь-

Химические свойства мелкозема бурых горно-лесных почв

№ разре- за	Горизонт	Глубина, см	Гигроскопиче- ская вода, %	рН		Гумус по Тюрину, %	Поглощенные катионы мг-экв/100 г почвы (по Гедройцу)				Степень насыщен- ности, %	Подвижные окислы по Тамму, %		
				водной вытяжки	солевой вытяжки		Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	сумма		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
1	A ₀ A ₁	0—6	8,22	5,60	4,85	62,22*	38,14	7,28	3,90	48,51	8,0	0,71	0,47	0,45
	B ₁	6—10	6,12	4,45	3,55	13,76	19,15	3,68	17,10	39,94	43,0	0,66	0,81	0,73
	B ₂	18—25	2,73	5,20	4,20	6,01	8,3	3,56	1,52	13,37	11,0	0,39	1,80	1,06
	BC	35—40	2,25	5,30	4,25	2,45	7,1	1,89	0,80	9,79	8,0	0,38	1,69	0,996
3	A ₀ A ₁	0—3	7,92	5,55	4,55	68,47*	23,41	6,23	6,80	36,44	19,0	0,23	0,46	0,39
	B ₁	5—10	4,39	4,40	3,40	5,44	5,30	2,41	15,93	23,64	67,0	0,93	1,00	0,68
	B ₂	15—18	3,89	4,60	3,80	10,72	3,61	6,01	8,16	17,78	46,0	0,44	2,95	0,27
10	A ₀ A ₁	0—3	6,34	6,45	5,80	35,04*	46,57	12,99	0,27	59,83	1,0	0,77	0,92	0,69
	B ₁	8—12	3,43	5,05	3,90	9,90	8,62	2,15	3,10	13,87	22,0	0,73	1,92	1,00
	B ₂	25—30	3,35	4,90	3,90	8,55	3,34	2,38	5,80	11,52	5,0	1,06	2,58	0,39
	BC	40—45	3,54	4,90	3,95	6,97	2,86	2,86	6,70	12,42	54,0	1,12	2,16	0,48
20	A ₀ A ₁	0—10	5,79	6,40	5,45	36,80*	41,22	12,02	0,46	53,70	1,0	0,79	1,80	1,25
	B ₁	10—25	5,49	5,00	4,20	10,53	21,39	3,40	8,21	33,00	25,0	0,71	1,68	1,15
	B ₂	25—35	4,03	4,95	4,15	6,73	0,95	0,95	6,40	8,31	77,0	1,17	1,55	0,70
	BC	35—55	2,31	5,05	4,20	2,44	1,42	2,36	2,10	5,88	36,0	0,91	1,30	0,33
27	A ₀ A ₁	0—10	4,67	4,60	3,80	30,35*	17,01	3,16	8,10	28,27	29,0	0,76	1,05	1,26
	B ₁	10—22	3,34	4,55	3,65	9,99	9,82	1,40	8,20	19,42	42,0	0,74	1,70	1,16
	B ₂	22—35	3,63	4,80	3,95	9,47	6,2	0,48	6,80	13,48	5,0	0,92	2,68	0,96
	BC	35—55	3,31	4,80	3,95	5,10	3,81	1,91	5,00	10,72	47,0	1,40	2,37	0,96

* Потеря при прокаливании.

Анализы выполнены в Хабаровском КНИИ ДВНЦ АН СССР аналитиками Р. Е. Сафроновой, Т. Ф. Касперской, Р. И. Ковешниковой, Ж. П. Сытник.

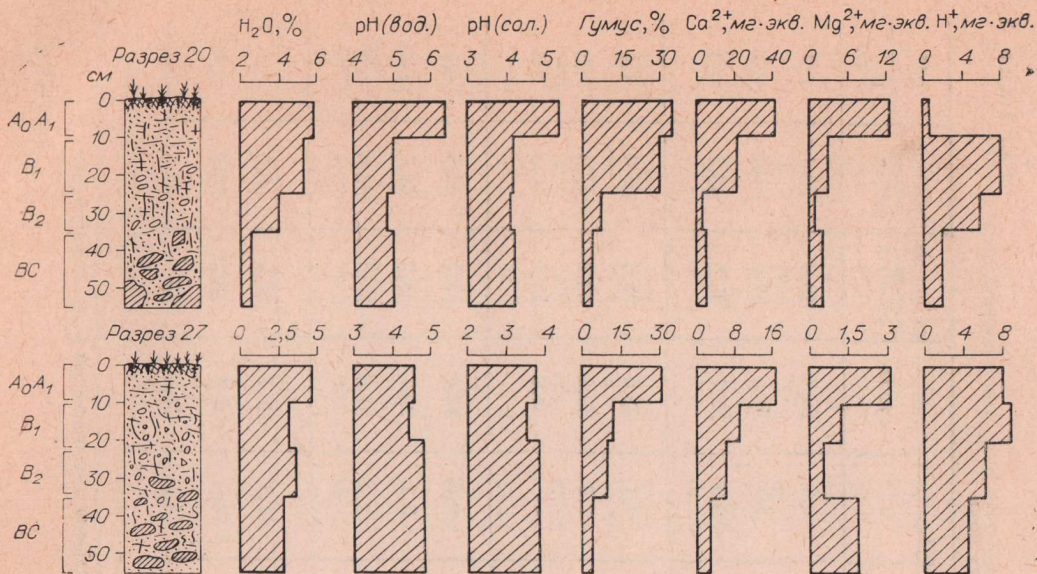
Групповой и фракционный состав гумуса бурых горно-лесных почв

№ разреза	Глубина, см	C _{исх.} %	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты					Сумма выделенных фракций	Нерастворимый остаток	C _{г.к.} ^{**} C _{ф.к.}
			I	II	III	сумма	Ia	I	II	III	сумма			
13	0—8	42,2*	11,8	0,7	8,7	21,2	2,1	14,3	6,1	6,2	28,7	49,9	50,1	0,7
	8—18	8,0	13,8	1,3	3,7	18,8	10,0	18,8	4,9	3,8	37,5	56,3	43,7	0,5
	18—40	1,9	11,6	4,3	2,9	18,8	17,4	17,4	—	2,9	37,7	56,5	43,5	0,5
5	0—15	41,7*	16,1	6,4	10,0	32,5	2,3	16,1	—	4,1	22,5	55,0	45,0	1,4
	15—40	4,6	10,8	—	2,1	12,9	17,4	15,2	4,4	2,2	39,2	52,1	47,9	0,3
	40—45	1,6	8,3	—	5,5	13,8	22,2	13,7	3,0	—	38,9	53,7	46,3	0,3
4	0—8	20,6*	11,9	3,4	6,2	21,5	5,7	20,6	0,4	5,3	32,0	53,5	46,5	0,7
	8—24	6,4	12,5	—	3,1	15,6	10,9	12,5	3,2	3,1	29,7	45,3	54,7	0,5
	24—38	1,4	14,7	5,9	2,9	23,5	14,0	6,6	8,0	2,9	31,5	55,0	45,0	0,7
8	0—5	39,0*	14,7	3,9	2,8	21,3	3,3	12,6	3,5	11,3	30,7	52,0	48,0	0,7
	5—15	17,7	18,6	—	5,0	23,6	5,6	13,2	7,1	3,8	29,7	53,3	46,7	0,8
	30—45	1,1	20,9	—	3,2	24,1	12,0	10,6	4,7	4,5	31,8	55,9	44,1	0,7

* Потеря при прокаливании.

** C_{г.к.}, C_{ф.к.} — углерод соответственно гуминовых кислот и фульвокислот.

Анализы выполнены в Хабаровском КНИИ ДВНЦ АН СССР Р. И. Ковешниковой по методике Н. В. Тюрина в модификации В. В. Пономаревой.



ная насыщенность почв поглощающим комплексом отмечена в горизонте В₂ (разрез 20) и равна 23%. Соответственно ненасыщенность почвенного поглощающего комплекса почти во всех профилях наибольшая в горизонте В₂, т. е. достигает 77,0%.

Содержание подвижных окислов кремнезема, алюминия и железа в генетических горизонтах почв непостоянно и варьирует довольно в широких пределах. Подвижные окислы кремнезема в почвенных разрезах в нижней части склона обнаруживают тенденцию к накоплению в верхнем гумусовом горизонте А₀А₁, а в разрезах на водораздельной части сопки они накапливаются в нижележащих горизонтах — В₂ и особенно ВС. Подвижные окислы железа в большинстве почвенных разрезов накапливаются в горизонте В₂ и ВС при минимальном содержании их в верхнем гумусовом горизонте А₀А₁. Подвижные окислы алюминия в почвенных разрезах, заложенных на водораздельной части сопки, в повышенном количестве отмечены в горизонте А₀А₁, в то время как в нижней части склона сопки выносятся этот компонент и накапливается в горизонтах В₁ и В₂. Химические свойства мелкозема описываемых почв изображены на рис. 5.

Групповой состав гумуса бурых горно-лесных почв (табл. 5) указывает на преобладание фульвокислот, что видно из отношения углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот, и только в почвенном разрезе 5 в верхнем горизонте содержание гуминовых кислот больше количества фульвокислот.

Во фракционном составе гумуса преобладают гуминовые кислоты, связанные с полуторными окислами, т. е. первая фракция. Высокое содержание второй фракции гуминовых кислот в верхнем горизонте почвенных профилей обусловлено повышенным количеством поглощенного кальция. Фульвокислоты в составе гумуса представлены главным образом первой фракцией, связанной с полуторными окислами.

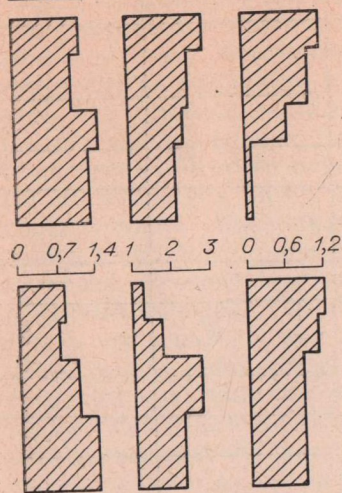
Общей особенностью группового состава гумуса изученных почв является высокое содержание нерастворимого остатка (43,5—54,7%).

Минералогический состав бурых горно-лесных почв

Минералогический состав почв на месторождении изучен по шлихам, отмытым из горизонта ВС. Шлиховые пробы отбирались из опорных почвенных разрезов в верхней, средней и нижней частях склона сопки. Такая

SiO₂под, % Fe₂O₃под, % Al₂O₃под, %
 0 0,5 1,0 0 0,9 1,8 0,3 0,6 1,2

Рис. 5. Химические свойства мелкозема бурых горно-лесных почв.



чивые вторичные механические ореолы рассеяния в почвах и в современной коре выветривания. Максимальное содержание касситерита отмечено в горизонте ВС почвенных разрезов, заложенных в нижней части склона сошки (разрезы 6, 1), где оно составляет до 35% от немагнитной тяжелой фракции.

Аналогично касситериту ведут себя и другие устойчивые тяжелые минералы (циркон, топаз, ильменит, апатит, турмалин, анатаз и др.), повсеместно содержащиеся в почвах.

Неустойчивые минералы как легкие, так и тяжелые, в почвах не обнаружены, хотя в коренных материнских породах они присутствуют в достаточном количестве. К таким минералам относятся сульфиды (арсенипит, сфалерит, галенит, халькопирит), а также флюорит, кальцит, серицит. Сульфид железа (пирит) сильно выветрен и по существу превращен в псевдоморфозы лимонита по кристаллам пирита в результате интенсивных окислительных процессов.

Следовательно, сульфиды и другие неустойчивые минералы в охарактеризованных выше ландшафтно-климатических условиях полностью разрушаются (выветриваются) под влиянием механического раздробления и последующего растворения. Эти два фактора разрушения неустойчивых минералов в данном ландшафте являются основными и действуют одновременно, однако возможно, что по времени механическое раздробление, особенно в условиях крутого склона и крупноглыбового делювия, предшествует растворению, поскольку известно, что чем больше поверхность растворяющегося вещества, тем сильнее растворение. В данном случае, чем мельче неустойчивые сульфидные, карбонатные и другие минералы, тем интенсивнее их растворение. Продукты разрушения сульфидных и других неустойчивых минералов, в частности ионы металлов, попадают в почвенные горизонты, переходят там в сорбированное состояние или находятся в почвенном растворе, создавая солевые ореолы рассеяния.

Минеральный состав шлихов, взятых из горизонта ВС почв месторождения, изучен по магнитной, электромагнитной и немагнитной тяжелой фракциям и легкой фракции. В результате были установлены следующие тяжелые минералы: магнетит, магнитные гидроокислы железа, лимонит, ильменит, эпидот, клиноцоизит, амфиболы, турмалин, лейкоксен, гранат, гидробиотит, касситерит, топаз, апатит, циркон, анатаз, рутил, пирит; из легких минералов — полевой шпат, кварц, мусковит.

Для легких и тяжелых минералов почв характерна общая черта — весьма слабая окатанность. В описанных ландшафтных условиях — это вполне естественно, так как минералы прошли весьма короткий путь при транспортировке вдоль склона сопки. Другой важной особенностью современной коры выветривания, включая почвы, является значительная выветрелость входящих в нее неустойчивых минералов. Выше указывалось, что сульфидные минералы в почвах не обнаружены, т. е. они разрушились еще на первой стадии формирования коры выветривания на месторождении. Другие неустойчивые минералы почв в этих условиях также подвергались интенсивному выветриванию, например земляная рваность эпидота, каолинизированный полевой шпат, выветрелый пирит, превратившийся по существу в псевдоморфозы лимонита, выветрелый магнетит, превратившийся в магнитные гидрокислы железа, гидратированные минералы слюд — биотит и мусковит. Все это свидетельствует о том, что в почвах, как и в целом в современной коре выветривания на оловорудном месторождении Дальнего Востока, протекают интенсивные процессы выветривания неустойчивых минералов и вынос содержащихся в них химических элементов. В частности, на изученном нами оловорудном месторождении установлено, что от пункта выхода рудных тел на склоне сопки и до дна ручья, где механический ореол рассеяния в почвах основных минералов отсекается, т. е. на расстоянии порядка 400 м, полностью исчезают из механического ореола рассеяния в почвах сульфидные минералы. Это говорит о том, что процессы выветривания неустойчивых минералов, обусловленные в основном муссонным климатом, протекают на Дальнем Востоке значительно интенсивнее аналогичных процессов в других горно-таежных областях СССР. Например, в Восточной Сибири такой неустойчивый сульфидный минерал, как киноварь, в горно-таежных условиях разносится в механическом ореоле рассеяния в почвах до 1,5 км (Ивашов, 1961).

Глинистые частицы (фракция $< 0,001$ мм) бурых горно-лесных почв, выделенные из генетических горизонтов, подвергались дифференциальному термическому и рентгеноструктурному анализам. На основании дифференциальных кривых нагревания и дифраграмм в почвах установлены гидрослюда, монтмориллонит и частично каолинит. Преобладающие гидрослюда и монтмориллонит, по-видимому, являются наиболее характерными глинистыми минералами почв, сформированных на рудовмещающих породах — кислых эффузивных и их аналогов в условиях муссонного климата Дальнего Востока. Незначительная примесь каолинита свидетельствует о дальнейшем, более глубоком распаде первичных минералов, в частности слюд и полевых шпатов. Это указывает на то, что в данных природных условиях протекают интенсивные процессы выветривания, приводящие к полному разрушению неустойчивых в зоне гипергенеза минералов (типа сульфидов) и значительному изменению даже относительно устойчивых, вплоть до возникновения каолинита.

Геохимия бурых горно-лесных почв

Изучение геохимии бурых горно-лесных почв на оловорудном месторождении было выполнено по образцам из генетических горизонтов почвенных разрезов. По двум профилям длиной 700 м, заложенным вдоль склона сопки, всего было отобрано 56 почвенных разрезов, заложенных через 20 м. Из них отобрано 190 образцов. Это количество распространялось следующим образом: горизонт A_0A_1 — 54 образца, горизонт В — 79, горизонт ВС — 57. Все образцы почв подверглись полному спектральному анализу, в результате чего обнаружены следующие микроэлементы: марганец, медь, ванадий, барий, галлий, бериллий, свинец, никель, хром, олово, цинк, сурьма, кобальт, итрий, скандий, молибден, сереб-

Встречаемость малых элементов в бурых горно-лесных почвах

Элемент	Общая встречаемость		В горизонте A_0A_1		В горизонте В		В горизонте ВС	
	Количество проб	% встречаемости	Количество проб	% встречаемости	Количество проб	% встречаемости	Количество проб	% встречаемости
Sn	89	47	12	22	44	56	33	57
Cu	187	97	53	99	77	99	57	100
Zn	86	45	6	11	43	55	37	65
Pb	131	69	19	35	59	74	53	93
Ga	172	90	37	70	79	100	56	99
Mn	190	100	54	100	79	100	57	100
Ni	125	65	17	31	60	75	48	84
Co	60	31	7	13	27	34	26	45
Cr	114	60	11	20	57	72	46	81
Y	176	92	44	81	79	100	53	93
Ba	175	91	45	82	76	96	54	94
Be	106	83	29	52	76	96	53	93
Sb	74	39	4	8	36	45	34	58
Sc	40	21	—	—	21	26	19	33
Y	55	29	3	5	26	32	26	45
Mo	7	3	—	—	3	3	4	2
Ag	4	2	—	—	2	2	2	3

Примечание. Спектральные анализы выполнены в Хабаровском КНИИ ДВНЦ АН СССР А. П. Кузьминой.

ро — всего 17 микроэлементов. Частота встречаемости обнаруженных химических элементов как в целом в почвах, так и отдельно в генетических горизонтах, приведена в табл. 7. Судя по результатам встречаемости, малые элементы имеются во всех отдельных генетических горизонтах, кроме скандия, молибдена и серебра, отсутствующих в горизонте A_0A_1 . Такие элементы, как марганец, медь, ванадий, барий, галлий, имеют встречаемость свыше 90%. Из них наиболее характерен марганец, который составляет 100% во всех генетических горизонтах почв. В горизонте В 100%-ную встречаемость имеют также галлий и ванадий. К чрезвычайно редко встречающимся элементам (не более 2—3%) следует отнести молибден и серебро (рис. 6).

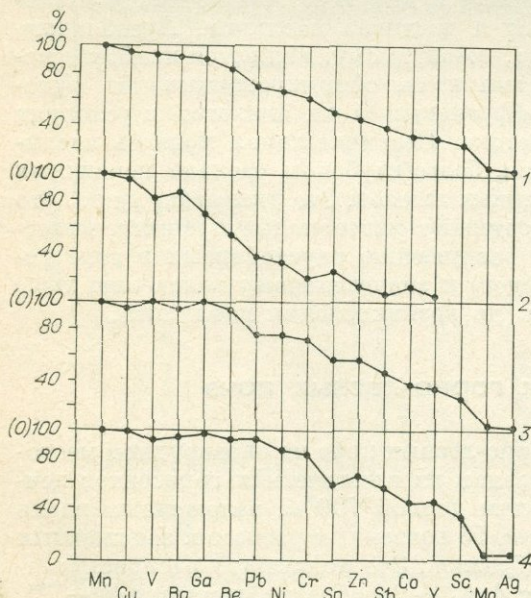


Рис. 6. Встречаемость малых химических элементов в почвах.

1 — в целом в почвах; 2 — в горизонте A_0A_1 ; 3 — в горизонте В; 4 — в горизонте ВС.

Все спектральные анализы были обработаны вариационно-статистическим методом. На основании результатов статистической обработки были построены вариационные кривые содержания указанных микроэлементов. Построение таких вариационных кривых необходимо с целью установления местного геохимического и аномального содержания микроэлементов в генетических горизонтах почв, поскольку, согласно исследованиям А. П. Соловова

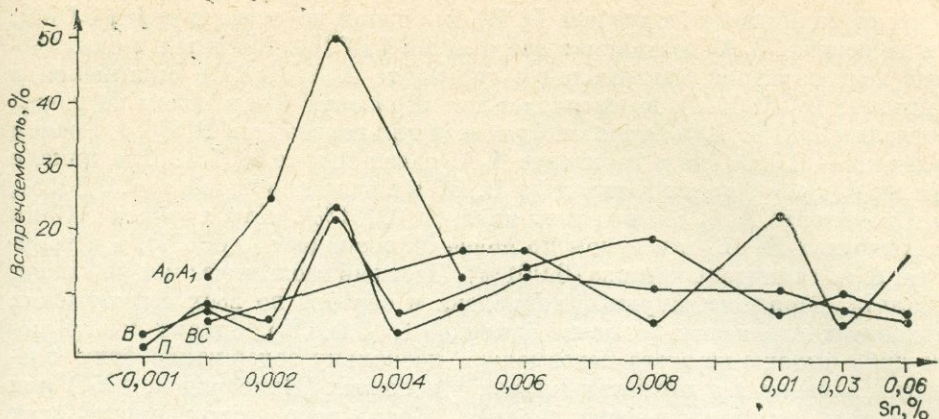


Рис. 7. Вариационные кривые распределения олова в почвенных генетических горизонтах (A_0A_1 ; B; BC) и в целом в почвах (п) на оловорудном месторождении (профиль I).

(1959), экстремум кривой соответствует значению местного геохимического фона как в целом по почвам, так и по генетическим горизонтам. На рис. 7 приведены вариационные кривые содержания олова.

Рассмотрим особенности величин местного геохимического фона микроэлементов по генетическим горизонтам почв, а также их наибольшие содержания (табл. 8).

Следует отметить, что местный геохимический фон в отдельно взятых генетических горизонтах почв не совпадает. Так, например, для олова в горизонте A_0A_1 , B и в целом в почве он совпадает и равен 0,003%, в то время как в горизонте BC — значительно выше и составляет 0,01%. Для свинца местный геохимический фон в горизонте B и в целом в почве совпадает и составляет 0,002%, в горизонте BC он выше и равен 0,003%, а в горизонте A_0A_1 имеет минимальное значение, равное 0,001%.

Таблица 8

Местный геохимический фон и аномальные (максимальные) содержания малых элементов в бурых горно-лесных почвах, %

Элемент	Общий геохимический фон	В горизонте A_0A_1		В горизонте B		В горизонте BC		Кларк в почвах по А. П. Виноградову, 1957	Степень накопления (фон: кларк)
		местный геохимический фон	аномальное содержание	местный геохимический фон	аномальное содержание	местный геохимический фон	аномальное содержание		
Sn	0,003	0,003	0,005	0,003	0,030	0,010	0,060	0,001	3
Cu	<0,001	<0,001	0,001	<0,01	0,005	<0,001	0,020	0,002	<1
Zn	0,010	<0,010	0,010	<0,010	0,020	<0,010	0,030	0,005	2
Pb	0,002	0,001	0,003	0,002	0,006	0,003	0,005	0,001	2
Ga	0,003	0,001	0,004	0,003	0,010	0,003	0,010	0,003	1
Mn	0,080	0,300	0,600	0,080	0,500	0,060	0,300	0,085	<1
Ni	0,001	<0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,004	<1
Co	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	0,0008	<1
Cr	0,003	0,001	0,003	0,003	0,006	0,003	0,005	0,02	<1
V	0,010	0,003	0,050	0,010	0,040	0,010	0,030	0,01	1
Ba	0,010	0,010	0,050	0,030	0,060	0,030	0,060	0,05	<1
Be	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,002	0,0006	<1
Sb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	—	<1
Sc	0,001	—	—	<0,001	0,001	<0,001	0,001	0,0007	1,4
Y	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,003	0,005	<1
Mo	<0,001	—	—	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0002	<1
Ag	<0,001	—	—	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,00005	<1

надия он совпадает в горизонте В, ВС и в целом по почве и равен 0,01%, а в горизонте A_0A_1 составляет всего лишь 0,002%. Местный геохимический фон марганца максимален в горизонте A_0A_1 (0,3%), минимален в горизонте ВС (0,06%), но совпадает для горизонта В и в целом по почве, составляя 0,08%. Для бария он одинаков для горизонтов В, ВС и в целом по почве — 0,03%, но в горизонте A_0A_1 равен только 0,01%. Для никеля этот же фон совпадает в горизонтах В, ВС и в целом по почве, т. е. 0,001%, но в горизонте A_0A_1 значительно ниже ($<0,001\%$). Для хрома и галлия в горизонтах В, ВС и в целом по почве он совпадает (0,003%), а в горизонте A_0A_1 значительно ниже (0,001%). Местный геохимический фон меди, кобальта, бериллия, сурьмы, молибдена и серебра во всех генетических горизонтах и в целом по почве одинаков ($<0,001\%$), однако делать какие-либо выводы из этого невозможно, поскольку содержание этих элементов находится в пределах кларка* в почвах (Виноградов, 1957) или в пределах чувствительности анализа. Кроме того, встречаемость этих элементов в почвах весьма низкая.

По величине местного геохимического фона все обнаруженные в почве микроэлементы можно разделить на три группы. К первой группе относятся элементы, содержание которых в целом в почвах выше или равно кларку. К таким элементам относятся олово, цинк, свинец, галлий, ванадий, скандий. Например, местный геохимический фон олова на месторождении выше кларка в 3 раза, цинка и свинца — в 2 раза и скандия — в 1,4 раза, а галлия и ванадия равен кларку.

Во вторую группу входят элементы, содержание которых ниже кларка — медь, марганец, никель, хром, барий, иттрий.

К третьей группе относятся элементы, содержание и степень концентрации которых находятся в пределах чувствительности спектрального анализа, поэтому полученные значения несопоставимы с величинами кларка. Это — кобальт, бериллий, сурьма, молибден, серебро.

Остановимся кратко на характеристике аномальных (максимальных) содержания химических элементов, местный геохимический фон которых в почвах значительно выше кларка. К этим элементам, как указывалось, относятся олово, цинк и свинец. Так, например, аномальное содержание олова в горизонте A_0A_1 по сравнению с местным геохимическим фоном больше в 1,6 раза, в горизонте В — в 10 раз, а в горизонте ВС — в 20 раз. Сравнивая эти максимальные содержания с кларком, легко проследить, что концентрация олова в горизонте A_0A_1 больше в 5 раз, в горизонте В — в 30 раз и в горизонте ВС — в 60 раз выше кларка. Следовательно, олово в почвах на месторождении в максимальных количествах накапливается в горизонте ВС.

Аномальное содержание цинка во всех генетических горизонтах почв значительно больше местного геохимического фона, а по сравнению с кларком аномальное содержание в горизонте A_0A_1 больше в 2 раза, в горизонте В — в 4 раза и в горизонте ВС — в 6 раз. Таким образом, цинк тоже склонен накапливаться в максимальных количествах в горизонте ВС.

Максимальное содержание свинца по сравнению с местным геохимическим фоном в горизонтах A_0A_1 и В больше в 3 раза, а в горизонте ВС — в 1,6 раза. Однако по сравнению с кларком аномальное содержание свинца в горизонте A_0A_1 больше в 3 раза, в горизонте В — в 6 раз и в горизонте ВС — в 5 раз. Отсюда видно, что в отличие от олова и цинка, свинец более склонен, хотя и незначительно, накапливаться в максимальных количествах в горизонте В.

Для других элементов на основании табл. 8 сделаны аналогичные выводы по степени накопления относительно кларка. Так, аномальное содержание меди по сравнению с кларком в горизонте В больше в 2,5 ра-

* Далее по тексту под понятием «кларк в почвах» будет подразумеваться значение кларка в почвах по А. П. Виноградову (1957).

за, в горизонте ВС — в 10 раз; галлия в горизонте A_0A_1 больше в 1,3 раза, в горизонтах В и ВС — в 3,3 раза; марганца в горизонте A_0A_1 больше в 2,3 раза; ванадия в горизонте A_0A_1 больше в 5 раз, в горизонте В — в 4 раза, в горизонте ВС — в 3 раза; бария в горизонтах В и ВС больше в 1,2 раза; скандия в горизонтах В и ВС больше в 1,3 раза и т. д.

По особенностям аномальной (максимальной) концентрации в генетических горизонтах почв, развитых на месторождении, микроэлементы можно разделить на следующие геохимические ассоциации: 1) микроэлементы, имеющие тенденцию накапливаться в горизонте ВС (олово, цинк, медь и свинец); 2) микроэлементы, накапливающиеся в аномальных количествах в горизонте В (свинец, галлий); 3) микроэлементы, накапливающиеся в горизонте A_0A_1 (марганец и частично ванадий); 4) микроэлементы, накапливающиеся в горизонтах В, ВС (барий и скандий).

По-видимому, приведенные сведения об особенностях концентрации микроэлементов в генетических горизонтах почв являются в какой-то мере специфическими для почвенного профиля данного оловорудного месторождения.

Кратко охарактеризуем особенности распределения микроэлементов в генетических горизонтах почв по всем изученным разрезам.

Олово — основной

рудный элемент в почвах на месторождении. Минимальное содержание его (до 0,005%) отмечено в горизонте A_0A_1 и максимальное (до 0,06%) — в горизонте ВС. В некоторых разрезах горизонта A_0A_1 олово вообще не обнаружено, в других разрезах содержание его (горизонты A_0A_1 и В) одинаково, но значительно меньше, чем в горизонте ВС. Общей закономерностью в распределении олова в генетических горизонтах является постепенное увеличение его встречаемости и содержания в процентах от горизонта A_0A_1 к горизонту ВС, особенно над рудными телами (рис. 8, а) на фоне, значительно превышающем величину кларка (0,001%).

Марганец распределяется в генетических горизонтах почв также неравномерно, но в подавляющем большинстве разрезов его повышенное содержание (до 0,6%) отмечено в горизонте A_0A_1 , минимальное

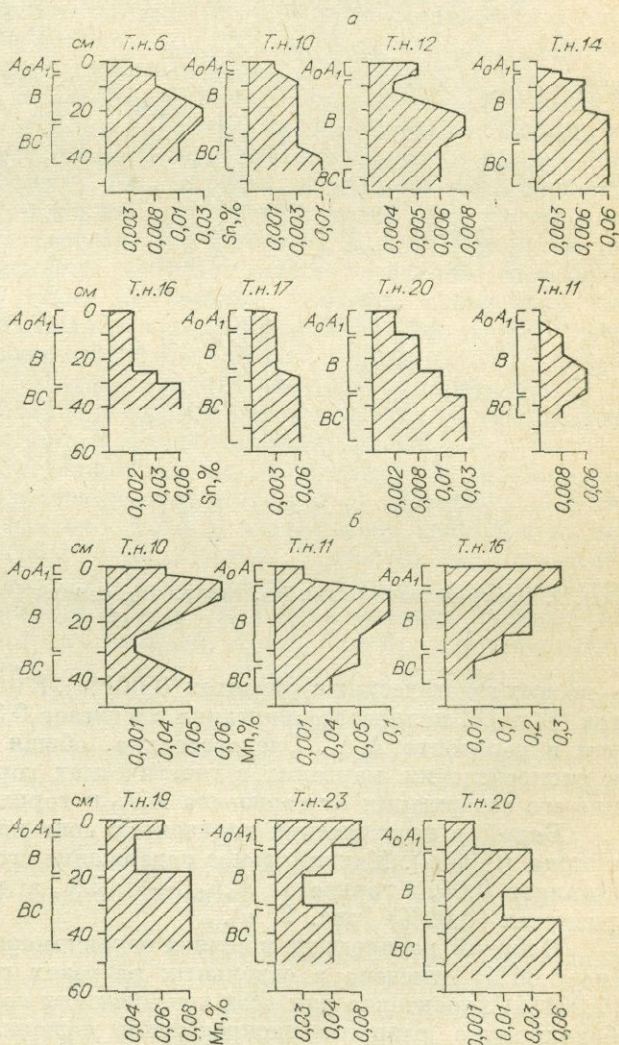


Рис. 8. Распределение олова (а) в почвенных горизонтах над рудными телами и марганца (б) (профиль 1).

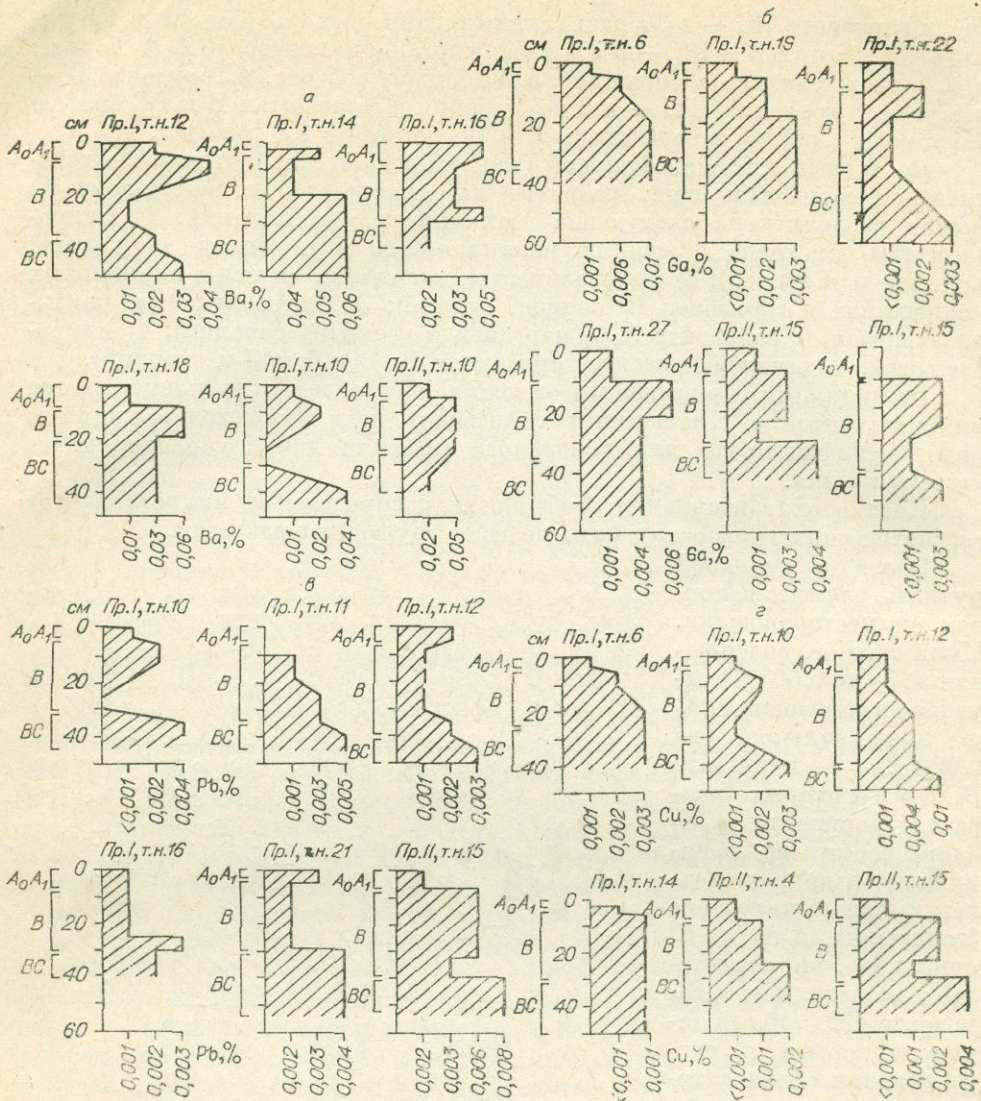


Рис. 9. Распределение бария (а), галлия (б), свинца (в) и меди (г) в почвенных горизонтах.

—во всех генетических горизонтах (0,001 %). В некоторых разрезах горизонтов В и ВС количество марганца достигает 0,3—0,5%, но все же ниже, чем в горизонте А₀А₁. Следовательно, общая характерная особенность в распределении марганца в генетических горизонтах почв — уменьшение его содержания от горизонта А₀А₁ к горизонту ВС (рис. 8, б).

Барий в генетических горизонтах почв находится почти в пределах кларка (0,05%). Максимальное содержание его в горизонтах В и ВС составляет 0,06, в горизонте А₀А₁ — 0,05%, а минимальное — во всех горизонтах (0,01%) (рис. 9, а).

Ванадий распределен в почвах неравномерно. Максимальное значение (до 0,04%) отмечено в отдельных разрезах горизонта В, минимальное (0,001%) характерно для всех генетических горизонтов. В подавляющем большинстве разрезов распределение содержания ванадия происходит на фоне кларка 0,01%, поскольку этот элемент не типичен для оруденения и сформированных на нем почв данного месторождения.

Галлий содержится в почвах в пределах кларка (0,003%). Он имеет тенденцию накапливаться в горизонте В до 0,005%. Наибольшее его содержание (только 0,004%) в горизонте A_0A_1 , т. е. для галлия не характерна концентрация в верхнем гумусовом горизонте A_0A_1 (рис. 9, б).

Свинец наряду с основным элементом — оловом весьма типичен для почв. Он склонен накапливаться в максимальном количестве в горизонтах В и ВС (0,006%), что в 6 раз выше кларка в почвах — 0,001%. Максимальное содержание этого элемента в горизонте A_0A_1 достигает только 0,003%, что также выше кларка. Минимальное количество свинца во всех генетических горизонтах почв меньше 0,001%. Таким образом, почти для всех изученных почвенных разрезов характерно постепенное увеличение содержания свинца от горизонта A_0A_1 к горизонтам В и ВС (рис. 9, в).

Медь также относится к основным элементам месторождения. Максимальное накопление ее отмечено в горизонте ВС (до 0,02%), что в 10 раз превышает кларк меди в почвах (0,02%). Минимальное содержание меди во всех генетических горизонтах почв меньше 0,001%. Характерно постепенное увеличение ее содержания от верхнего горизонта A_0A_1 к нижнему горизонту ВС (рис. 9, г).

Цинк в максимальных количествах (до 0,03%) накапливается в горизонте ВС, что в 6 раз выше кларка — 0,005%. В горизонтах A_0A_1 и В максимальное количество этого элемента достигает соответственно 0,01 и 0,02%, а минимальное — во всех генетических горизонтах (меньше 0,01%) что, однако, выше кларка. Цинк наряду с оловом, медью и свинцом является основным элементом оловорудного месторождения, а следовательно, и почв. Для этого элемента, как, впрочем, и для остальных основных микроэлементов почв, характерно постепенное увеличение содержания почти во всех почвенных разрезах от горизонта A_0A_1 к горизонту ВС.

Распределение содержания в генетических почвенных горизонтах других микроэлементов, таких как никель, кобальт, хром, бериллий, сурьма, скандий, иттрий, молибден и серебро, особого интереса не представляет, поскольку они являются лишь аксессуориями в рудах. В почвах на месторождении их содержание значительно ниже кларка.

Анализируя распределение микроэлементов в почвах на месторождении по генетическим горизонтам и сравнивая их содержание с местным геохимическим фоном, все обнаруженные микроэлементы можно объединить в следующие геохимические ассоциации: 1) основные элементы месторождения и, следовательно, почв — олово, медь, свинец, цинк, накапливающиеся в горизонте ВС в количествах, в десятки раз превышающих местный геохимический фон в почвах на месторождении и кларк в почвах; 2) элементы-примеси в рудах и рудовмещающих породах месторождения — галлий, никель, ванадий, хром, барий, накапливающиеся в горизонте В, но в пределах кларка в почвах; 3) марганец, накапливающийся в горизонте A_0A_1 , но также в пределах кларка в почвах; 4) все остальные элементы почв, такие как кобальт, бериллий, сурьма, иттрий, скандий, молибден, содержащиеся примерно в равных количествах во всех генетических горизонтах, но в величинах, значительно ниже кларка в почвах.

Рассмотрим некоторые причины концентрации выделенных групп химических элементов в генетических горизонтах почв.

Максимальные концентрации микроэлементов первой группы (геохимической ассоциации), т. е. олова, свинца, меди и цинка, в горизонте ВС почв обусловлены в основном механическими ореолами рассеяния минералов, содержащих эти элементы. Ландшафтные особенности местоположения месторождения, в частности, относительная «молодость» почвенного покрова и значительная крутизна склона, весьма благоприятно влияют на формирование механического ореола рассеяния рудных мине-

ралов. Эти особенности определили накопление рудных минералов в горизонте ВС, особенно касситерита, о чем свидетельствуют данные шлихового анализа. Кроме того, в накоплении в горизонте ВС цинка, свинца и меди некоторую роль сыграли и солевые ореолы рассеяния, особенно их безминеральная форма (Крицук, 1963), т. е. концентрация вследствие сорбции гидроокислами железа и марганца.

В горизонте ВС, как и в целом в почвах на месторождении, находятся те же химические элементы, что и в коренных породах и рудах, в которых они установлены Ф. Г. Федчиным (1964). Следовательно, наличие микроэлементов в почвах на месторождении предопределено минералогическим составом первичных руд и рудопроявляющих пород, тем более, что, согласно данным А. А. Кухаренко (1961) и Справочного руководства (1958), установленные и перечисленные выше минералы в почвах содержат аксессуарные химические элементы, характерные для изученных почв. При этом следует иметь в виду, что наибольшее содержание минералов, как уже указывалось, отмечается в горизонте ВС, и в этом же горизонте находятся максимальные концентрации химических элементов.

Накопление микроэлементов второй группы (геохимической ассоциации) — галлия, никеля, хрома, ванадия и бария в горизонте В обусловлено сорбционными свойствами глинистых частиц, которые по результатам механического анализа образцов из генетических горизонтов почв находятся в повышенном количестве в горизонте В. С глинистой фракцией А. П. Виноградов (1957), М. А. Глазовская (1957) и другие исследователи связывают обменно-сорбционные свойства почв. Благодаря большой внутренней поверхности этих частиц в горизонте В на них обменно сорбируются значительные количества ионов металлов из почвенных растворов. Следовательно, связь с глинистыми частицами и накопление указанных микроэлементов в горизонте В в почвах на оловорудном месторождении не противоречит ранее установленным положениям.

Накопление в горизонте A_0A_1 марганца, относящегося к третьей группе (геохимической ассоциации) микроэлементов, обусловлено способностью этого элемента создавать резко выраженные биогенные ореолы рассеяния в верхнем гумусовом горизонте почв, на что неоднократно указывали А. П. Виноградов (1957), Д. П. Малюга (1963), В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина (1964), А. В. Петербургский (1944) и другие исследователи.

С целью установления особенностей накопления микроэлементов в зависимости от механического состава спектральным анализом исследовались следующие фракции мелкозема генетических горизонтов почв: 0,25—0,05; 0,05—0,01; 0,01—0,005; 0,005—0,001; <0,001 мм. При этом установлено, что одна группа микроэлементов в повышенном количестве содержится в частицах песчано-алевритовой размерности, другая — в глинистых частицах. К первой относятся олово, медь, цинк, свинец, ко второй — галлий, никель, ванадий, хром, барий (рис. 10). Первая группа микроэлементов, как уже было отмечено, накапливается в горизонте ВС, а вторая — в горизонте В. В частности, олово в максимальных количествах (до 0,4%) накапливается во фракции 0,25—0,05 мм, во всех других фракциях меньшей размерности содержание олова минимальное, особенно во фракции <0,001 мм, — только до 0,001% (рис. 11). Однако галлий в максимальных количествах (до 0,007%) накапливается во фракции <0,001 мм, в других же фракциях, особенно 0,25—0,05 мм, содержание его минимально и достигает всего лишь 0,001%. Следовательно, элементы первой группы, в частности олово, мигрируют во вторичном механическом ореоле рассеяния по склону сопки и накапливаются в горизонте ВС преимущественно в виде обломков касситерита, соразмерных с песчано-алевритовыми частицами. Элементы второй группы, например галлий, образуют вторичный солевой ореол рассеяния, накапливаются в гори-

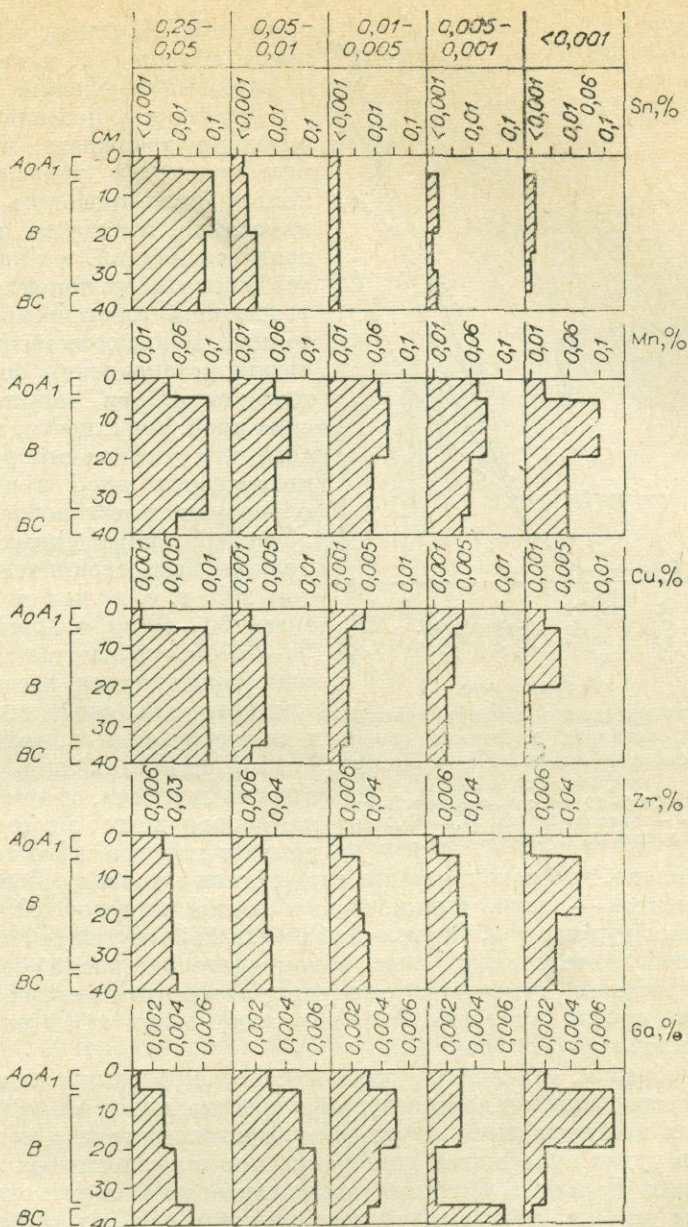


Рис. 10. Распределение олова, марганца, меди, циркония и галлия по фракциям (мм) мелкозема генетических горизонтов бурых горно-лесных почв на оловорудном месторождении (разрез К1 № 6 над рудным телом).

зонте В, сорбируясь глинистыми частицами. Эта особенность миграции и накопления микроэлементов в почвах на оловорудном месторождении дает ключ к пониманию общих закономерностей геохимического поведения микроэлементов в зоне гипергенеза Дальнего Востока.

Приведенные сведения по минералогии и геохимии в бурых горно-лесных почвах на оловорудном месторождении Дальнего Востока свидетельствуют о том, что подавляющая масса всех основных минералов, а следовательно, и микроэлементов концентрируется в горизонте ВС. В то же время аксессуарные минералы и соответствующие микроэлементы, такие как галлий, никель, ванадий, барий и др., концентрируются в го-

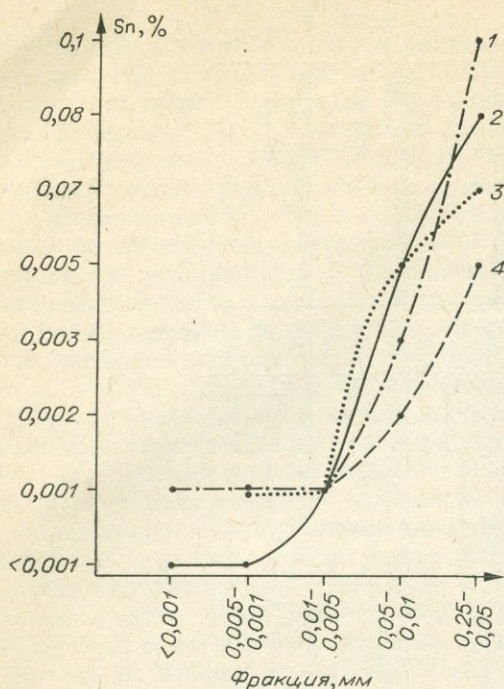


Рис. 11. Распределение олова в гранулометрических спектрах мелкозема генетических горизонтов (разрез К1 № 6, профиль I).
 1—горизонт В₁ (гл. 5,0—10,0 см); 2—горизонт В₂ (гл. 20,0—25,0 см); 3—горизонт ВС (гл. 35,0—40,0 см); 4—горизонт А₀А₁ (гл. 0,0—3,0 см).

Установлено, что максимальные содержания в почвах основных химических элементов — олова, цинка, меди и свинца приурочены к эпицентрам залегания рудных тел. Однако из-за большой крутизны склона, обуславливающей интенсивный снос обломочного материала современной коры выветривания, отмечается смещение литогеохимической аномалии во вторичном ореоле рассеяния вниз по склону сопки от 40 до 100 м при крутизне склона до 27° (рис. 12).

Таким образом, отмеченные особенности накопления олова в почвах на данном месторождении дают основание сделать вывод о том, что поиски оловорудных месторождений кварц-касситеритового типа с подчиненным значением в рудах сульфидной минерализации в аналогичных ландшафтных условиях Дальнего Востока можно проводить литогеохимическим методом при условии отбора металлометрических проб из горизонта ВС. Глубину отбора проб следует увязывать с местоположением почвенных разрезов на склоне сопки. При интерпретации литогеохимических поисков необходимо учитывать смещение литогеохимической аномалии во вторичном ореоле рассеяния олова вследствие крутизны склонов сопки. Этого можно достигнуть при правильном выборе поисковой сети металлометрического опробования.

Биогеохимия растений

Как указывалось выше, территория месторождения расположена в пределах северной подзоны зоны смешанных хвойно-широколиственных лесов (Колесников, 1961, 1969).

Характерной особенностью растительного покрова на площади месторождения является хорошо выраженная ярусность, а в распределении видов древесной растительности наблюдается четкая закономерность в за-

ризонте В. Марганец повсеместно имеет склонность накапливаться в верхнем гумусовом горизонте.

Эти данные позволяют предварительно утверждать, что поиски месторождений указанных элементов надо проводить дифференцированно, исходя из геохимических ассоциаций, и в частности по особенностям их накопления в определенном генетическом горизонте почв. Большое значение это имеет для установления оптимальной глубины отбора металлометрических проб. В частности, можно считать, что глубина отбора металлометрических проб при поисках оловорудных месторождений в аналогичных ландшафтных условиях должна быть ограничена горизонтом ВС, т. е. в нашем случае не менее 30—40 см, а практически до 50—60 см, где отмечается наибольшая концентрация касситерита, и следовательно, олова как, впрочем, и других элементов, типичных для рудной минерализации и соответственно для почв, сформированных на оловорудных месторождениях данного генетического типа.

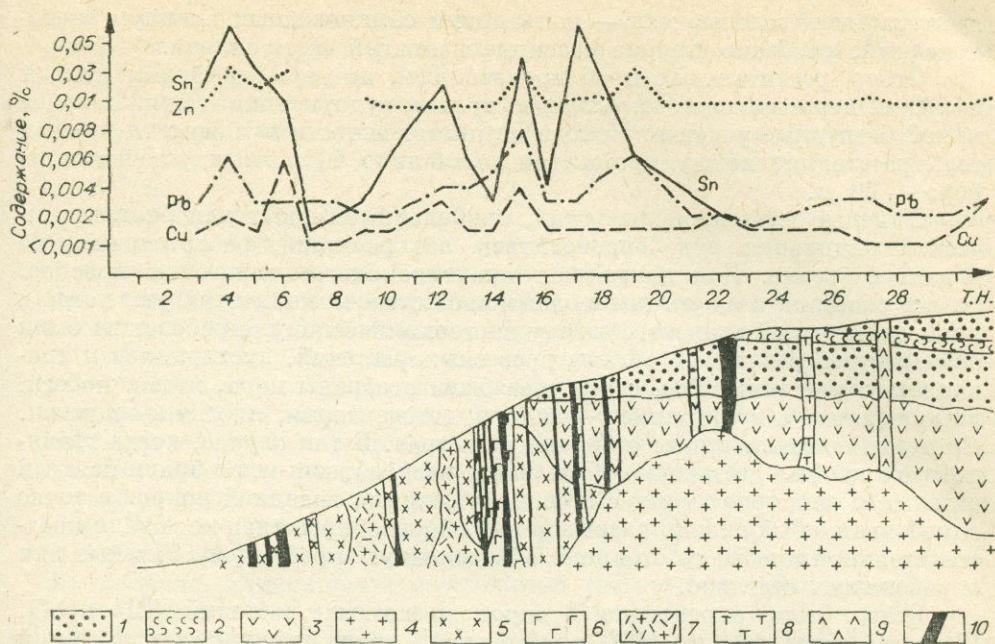


Рис. 12. Распределение олова, свинца, цинка и меди (профиль II, горизонт BC).

1 — лавобрекчи фельзит-порфиров и сферолитовые порфиры и туфы; 2 — пелитовые и кристалло-кластические туфы; 3 — лавобрекчи и туфы порфиритов; 4 — гранит-порфиры; 5 — кварцевые порфиры; 6 — диабазовые порфириты; 7 — фельзит-порфиры; 8 — кварцевые порфириты; 9 — плагиоклазовые порфириты; 10 — рудные тела.

висимости от экспозиции склонов. На южном склоне сопки лес типично кедрово-широколиственный, двухъярусный. В первом ярусе произрастают кедр корейский, береза ребристая, реже — пихта белокорая. Во втором ярусе — липа амурская, дуб монгольский, клен бородастый, бархат амурский. На склоне северной экспозиции, непосредственно на месторождении, видовой состав древесных пород несколько обеднен и изменен. В первом ярусе доминирует лиственница даурская, кедр корейский, береза ребристая. Пихта белокорая здесь почти исчезает и встречается в основном в подросте.

В целом подрост на этом склоне сопки довольно обилен и представлен березой ребристой, кленом бородастым, кедром корейским, тополем душистым.

Подлесок и кустарники непосредственно на месторождении представлены элеутерококком колючим, аралией маньчжурской, шиповником иглистым, малиной сахалинской, чубушником тонколиственным, рябинолистником рябинолистным. В нижней части склона обильна спирея средняя, реже — багульник болотный, брусника, а в верхней — появляется жимолость Максимовича, рододендрон мелколистный, барбарис амурский. Кроме перечисленных видов, по всему склону на месторождении встречаются отдельные экземпляры лещины маньчжурской, бузины Микеля и ивы Бредина. Подлесок местами густо переплетен лианами лимонника китайского и актинидии коломикты.

Травянистый покров на месторождении также обилен и разнообразен. Здесь встречены папоротник-страусопер германский, кочедыжник мягкий, вейники Турчанинова и Лангсдорфа; осоки — горная маньчжурская, ланцетная карликовая, уссурийская, мечевидная, а также кипрей узколистный, дерен канадский, дудник гладкий и др.

Пятнами по всему склону встречаются сосюра крупнолистная, а в верхней части склона — полынь побегоносная. В самом нижнем ярусе

произрастают зеленые мхи — политрихум обыкновенный и мниум острокопечный, особенно широко развитые в нижней части склона.

Отбор растительных проб производился по двум профилям длиной в 700 м, пересекающим вкрест простирания рудную зону и прилегающие к ней безрудные участки. Исходя из протяженности и мощности рудных тел, расстояние между профилями составляло 40 м, между точками отбора — 20 м.

С целью выявления растений, наиболее пригодных для биогеохимической индикации руд, опробовались все растения, распространенные в данной точке. Как показывает практика биогеохимических поисков, не все растения и их органы в одинаковой степени концентрируют тот или иной химический элемент, поэтому биогеохимическому опробованию были подвергнуты различные органы древесных растений, кустарников и травянистых растений. Так, с деревьев были отобраны кора, ветви, побеги, листья (хвоя), с кустарников — побеги, ветви, корни, листья и соцветия. Биогеохимические пробы отбирали и из трав. В том случае, когда травяной покров был достаточно обильным и разнообразным, то брали каждый отдельный вид трав вместе с корнями. Если же травяной покров в точке опробования был сильно разрежен или сборы одного вида не давали представительной пробы, то отбирали объединенную пробу трав. Зеленые мхи опробовались отдельно.

Всего было опробовано 8 видов древесных растений (211 проб), 17 видов кустарников (452 пробы) и 15 видов травянистых растений (232 пробы), т. е. всего 895 проб.

По данным спектрального анализа в золе растений были обнаружены следующие микроэлементы: олово, свинец, медь, цинк, молибден, серебро, ванадий, хром, никель, кобальт, марганец, бериллий и сурьма.

Все спектральные анализы золы растений были обработаны статистическим методом. При этом было установлено, что частота встречаемости микроэлементов в различных видах растений неодинакова. Наиболее часто встречающиеся микроэлементы в растениях — марганец, медь, цинк, свинец, никель. Марганец и медь находятся в каждом виде растений, частота встречаемости их составляет 100%. Такие микроэлементы, как ванадий, молибден, серебро и олово, также довольно распространенные элементы, но встречаются они в 20 из 40 опробованных видов растений. К редко встречающимся микроэлементам относятся бериллий, хром, кобальт и сурьма. Последние обнаружены в 12 видах растений, а сурьма отмечена лишь в рододендроне мелколистном.

Данные спектральных анализов показывают, что элементарный состав золы растений разных видов неодинаков. Зола хвойных пород по набору химических элементов оказывается беднее золы лиственных деревьев. Так, в золе березы ребристой обнаружены почти все вышеуказанные микроэлементы, кроме сурьмы, а в золе лиственницы даурской среди отмеченных микроэлементов отсутствуют бериллий, ванадий, хром, кобальт, молибден. При этом следует обратить внимание на то, что по набору химических элементов зола различных видов хвойных пород между собой довольно близка.

Из кустарников, в которых обнаружено большинство указанных микроэлементов, нужно отметить чубушник тонколистный и малину сахалинскую, в них отсутствует лишь кобальт и сурьма.

Из травянистых растений, содержащих большинство указанных микроэлементов, — это осоки (горная маньчжурская, ланцетная карликовая, уссурийская и мечевидная) и зеленые мхи (политрихум обыкновенный и мниум острокопечный).

Известно, что различные виды растений в зависимости от особенностей геохимического ландшафта и от избирательной способности вида поглощают разные количества химических элементов из почвы и подстилающих пород. Поэтому для обеспечения эффективности биогеохимиче-

ского метода поисков, определены местные фоновые содержания каждого микроэлемента в отдельно взятых видах растений на основании вариационных кривых (Соловов, 1959).

Величина местного геохимического фона для большинства опробованных растений приведена в табл. 9. Для сравнения дан местный геохимический фон в почвах, вычисленный, как указывалось выше, аналогичным способом.

Результаты табл. 9 показывают, что величины фоновых содержаний большинства микроэлементов в растениях в 2—10 раз меньше таковых в почвах. И лишь местный геохимический фон таких жизненно важных для растений так называемых биогенных элементов, как медь, цинк, марганец, превышает их фоновые содержания в почвах.

Обращает на себя внимание отсутствие кобальта в большинстве видов растений (см. табл. 9). Вероятно, кобальт накапливается не только в березе ребристой и рододендроне мелколистном, но и в других видах растений, однако в количествах ниже предела чувствительности анализа.

Установлено, что микроэлементы распределяются неравномерно не только в различных видах растений, но и в различных органах одного вида. Иногда разница в содержании химических элементов в разных органах бывает довольно значительной, что наглядно видно из табл. 10. Это явление, по-видимому, обусловлено тем, что распределение химических элементов по органам растений зависит в первую очередь от их физиологических функций. Химические элементы концентрируются в тех органах растений, в которых, вероятно, происходят активные биохимические процессы. Поскольку физиологические функции одних и тех же органов у разных растений одинаковы, практически можно предполагать сходную схему распределения каждого данного микроэлемента в различных видах растений, что, в какой-то степени, подтверждается полученными данными. Так, выявляется следующая закономерность: у кустарников большинство микроэлементов концентрируется в корнях, а у древесных пород — в коре. Однако имеются и некоторые отклонения. Например, олово — основной элемент на данном объекте — концентрируется в ветвях ели аянской, а в березе ребристой — в коре, в то время как в ее ветвях отсутствует или содержится в незначительном количестве. Молибден концентрируется в коре ели аянской и отсутствует в ветвях, а в березе ребристой он концентрируется в ветвях и побегах и отсутствует в коре. Аналогичные отклонения наблюдаются не только при сравнении лиственных и хвойных пород, но также и при сравнении разных видов лиственных пород деревьев, например березы ребристой и липы амурской (рис. 13).

В некоторых видах кустарников также наблюдаются отклонения от общей закономерности распределения микроэлементов. Так, на фоне преобладающего накопления микроэлементов в корнях некоторые виды — аралия маньчжурская и элеутерококк колючий, типичные дальневосточные растения, — накапливают медь, цинк и серебро в стеблях и побегах, в корнях содержание этих элементов значительно меньше.

Максимальное накопление микроэлементов отмечено в растениях, произрастающих над рудными телами. Например, содержание олова в корнях малины сахалинской в точке 6 (профиль 1) равно 0,06%, а в соседних точках за пределами рудных тел олово не обнаружено или содержание его колеблется в пределах фона.

Анализ имеющегося фактического материала показывает, что в большинстве видов изученных растений, произрастающих в пределах рудной зоны, содержание элементов — олова, свинца, меди, цинка и др. — в 3—10 раз и более выше, чем в тех же растениях, растущих вне рудной зоны (табл. 11).

В то же время даже и над рудными телами не все растения в одинаковой степени концентрируют микроэлементы. Например, в точке 19 (профиль I) были опробованы: рябинолистник рябинолистный, малина

Местный геохимический фон

Растение	Be	V	Cr	Mn
Лиственница даурская	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,30
Ель аянская	»	»	»	0,30
Кедр корейский	»	<0,001	»	0,05
Береза ребристая	0,0001	<0,001	0,001	0,30
Рябинолистник рябинолистный	Не обн.	<0,001	Не обн.	0,10
Чубушник тонколистный	<0,0001	<0,001	0,001	0,05
Бузина Микеля	Не обн.	<0,001	Не обн.	0,08
Ива Бредина	0,0003	Не обн.	»	0,03
Актинидия коломикта	Не обн.	»	0,001	0,05
Рододендрон мелколистный	»	»	Не обн.	0,05
Аралия маньчжурская	»	<0,001	0,001	0,10
Малина сахалинская	0,0001	<0,001	0,001	0,10
Элеутерококк колочий	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,08
Бархат амурский	»	»	»	0,005
Папоротник	»	»	»	0,05
Осоки	0,0001	0,001	0,003	0,10
Вейники	Не обн.	0,001	Не обн.	0,30
Почвы	<0,0010	0,010	0,003	0,08

Примечание. Спектральные анализы выполнены в спектральном кабинете Хабаров

сахалинская, аралия маньчжурская, актинидия коломикта, ива Бредина, чубушник тонколистный, береза ребристая и осока. Содержание олова в золе этих растений колеблется от 0,001% у актинидии коломикты до 0,3% у объединенной пробы осок. В таких видах растений, как ива Бредина, малина сахалинская, чубушник тонколистный и аралия маньчжурская, олово не обнаружено. Следовательно, относительное содержание этого элемента в золе осок в 300 раз и более выше, чем в остальных видах растений в данном пункте биогеохимического опробования.

Как уже указывалось, фоновые содержания большинства микроэлементов в растениях ниже, чем в почвах, но аномальные количества микроэлементов в растениях, как правило, значительно превышают аномальное количество тех же микроэлементов в почвах, исключая бериллий, ванадий, хром (табл. 12). Соответственно и контрастность биогеохимических аномалий выше, чем литогеохимических в почвах.

Ниже названы растения и их органы, содержание микроэлементов в которых достигает значительных величин по сравнению с другими видами, собранными в одном и том же пункте.

Олово — основной элемент изученного месторождения — обнаружен во многих растениях (табл. 13). В количестве 0,006—0,06% этот элемент концентрируют ветви ели аянской, кора березы ребристой, ветви и ствол ивы Бредина, корни аралии маньчжурской, малины сахалинской и рябинолистника рябинолистного. Наилучшими концентраторами олова являются полынь побегоносная, осоки — горная маньчжурская, ланцетная карликовая, уссурийская и мечевидная и зеленые мхи — политрихум обыкновенный и мниум остроконечный. Максимальные концентрации олова в золе этих растений достигают 0,1—0,3%, т. е. в 5 раз больше самого высокого содержания олова в почвах на месторождении.

Результаты спектральных анализов показывают, что растения на месторождении накапливают не только основной рудный элемент — олово, но и элементы, сопровождающие рудную минерализацию. Вследствие этого некоторые из них, такие как свинец, медь, цинк, по-видимому, можно использовать в качестве элементов-индикаторов оловорудных месторождений данного генетического типа в аналогичных ландшафтно-климатических условиях Дальнего Востока.

Свинец в количестве 0,006—0,01% концентрируют хвоя, ветви и кора лиственницы даурской, ветви ивы Бредина, корни аралии маньчжурской,

микроэлементов в растениях и почвах, %

Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Sn	Sb	Pb
Не обн.	0,0001	0,003	0,06	Не обн.	0,0001	<0,001	Не обн.	0,001
»	0,0001	0,001	0,03	0,0002	Не обн.	<0,001	»	0,001
»	0,0001	0,002	0,06	Не обн.	0,0001	<0,001	»	0,0001
0,001	0,0001	0,003	0,10	0,0001	0,0001	<0,001	»	0,001
Не обн.	0,0003	0,003	0,10	0,0001	0,0001	<0,001	»	0,001
»	0,0001	0,006	0,06	0,0001	0,0001	<0,001	»	0,001
»	0,0001	0,003	0,03	0,0001	0,0001	Не обн.	»	0,001
»	<0,0010	0,006	0,30	Не обн.	0,0001	<0,001	»	0,003
»	0,0001	0,006	0,03	0,0001	0,0001	<0,001	»	0,001
<0,001	0,0001	0,006	0,10	0,0001	0,0001	Не обн.	0,001	0,001
Не обн.	0,0003	0,010	0,03	0,0001	0,0001	<0,001	Не обн.	0,001
»	0,0001	0,003	0,03	0,0001	0,0001	<0,001	»	0,001
»	0,0001	0,001	0,02	Не обн.	Не обн.	<0,001	»	Не обн.
»	<0,0010	0,002	0,01	0,0001	0,0001	<0,001	»	0,001
»	0,0001	0,001	0,01	0,0001	Не обн.	<0,001	»	0,001
»	0,0001	0,002	0,03	0,0001	<0,0001	<0,001	»	0,001
»	0,0001	0,001	0,03	0,0001	Не обн.	0,001	»	0,001
<0,001	<0,0010	<0,001	0,01	<0,0010	<0,0010	0,003	<0,001	0,002

ского КНИИ ДВНЦ АН СССР А. И. Кузьминой.

малины сахалинской, осоки и зеленые мхи. До 0,02% свинец накапливают ветви и побеги березы ребристой и бузины Микеля.

Медь в количестве 0,008—0,03% накапливает кора лиственницы даурской, ветви березы ребристой, ветви и побеги бархата амурского, ветви аралии маньчжурской, чубушника тонколистного, бузины Микеля, актинидии коломикты, ивы Бредина, рододендрона мелколистного, корни рябинолистника рябинолистного, вейники, папоротники, полынь побегоносная. Однако наилучшим концентратором меди являются корни малины сахалинской — до 0,2%.

Цинк содержится от 0,1 до 0,6% в большинстве видов растений. Этот микроэлемент накапливается в коре кедра корейского и лиственницы даурской, в стволе и побегах аралии маньчжурской, в ветвях и побегах актинидии коломикты, бузины Микеля, ивы Бредина, бархата амурского, рододендрона мелколистного, в корнях малины сахалинской, чубушника тонколистного, рябинолистника рябинолистного, в вейниках, осоках, папоротниках и полыни побегоносной. Максимальное содержание цинка, достигающее 2—3%, установлено в ветвях и побегах березы ребристой.

Молибден в количестве 0,001—0,003% концентрируют ветви и побеги березы ребристой, бузины Микеля, актинидии коломикты, корни чубушника тонколистного, ствол и корни аралии маньчжурской, полынь побегоносная. Наибольшее содержание (до 0,01%) молибдена находится в малине сахалинской и спирее средней.

Никель (тысячные доли процента) содержится в стволе и побегах березы ребристой, в корнях аралии маньчжурской, малины сахалинской, чубушника тонколистного, рябинолистника рябинолистного, в корнях, ветвях и побегах бузины Микеля, в ветвях и побегах ивы Бредина, бархата амурского, рододендрона мелколистного и в осоках.

Марганец в количестве 0,1—0,6% присутствует во всех растениях на месторождении. Эти концентрации марганца колеблются в пределах фонового содержания в растениях, что несколько ниже кларка в растениях по А. П. Виноградову, но в 3—7 раз больше местного геохимического фона в почвах на месторождении.

Ванадия и хрома содержится в растениях в 3—10 раз меньше фонового содержания в почвах, и лишь максимальные концентрации их (например, ванадия в золе мхов) достигают фона в почвах — 0,01%.

Таблица 10

Максимальные концентрации микроэлементов в различных органах древесных растений и кустарников, %

Элемент	Ель аянская		Береза ребристая				Малина сахалинская			
	ветви	кора	ветви	побеги	кора	ветви, побеги	ветви	побеги	корни	ветви, побеги
Be	—	—	—	—	0,0001	—	—	—	0,0001	—
V	—	—	—	—	<0,001	—	—	—	<0,001	—
Cr	—	—	—	—	0,001	—	0,001	—	—	—
Mn	0,3	0,2	0,5	0,5	0,6	0,6	0,2	0,3	0,3	0,3
Co	—	—	0,001	—	0,001	0,001	—	—	—	—
Ni	—	0,0001	0,001	<0,0001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001
Cu	0,006	0,003	0,02	0,01	0,01	0,02	0,006	0,006	0,2	0,01
Zn	—	0,05	0,4	0,3	0,3	2—3	0,1	0,06	0,3	0,2
Mo	—	0,0002	—	—	—	0,001	0,0001	0,0001	0,01	—
Ag	—	—	0,0002	—	0,0001	0,0001	0,0003	—	0,0001	0,0001
Sn	0,006	—	—	—	0,006	<0,001	<0,001	—	0,06	0,001
Pb	0,001	0,001	—	—	0,006	0,02	—	—	0,06	0,003

Элемент	Аралия маньчжурская			Ива Бредина		Чубушник тонколиственный				Рябинолистник рябинолистный			
	ствол	побеги	корни	ствол	побеги	ветви	побеги	корни	ветви, побеги	ветви	побеги	корни	ветви, побеги
Be	—	—	—	0,0003	—	—	—	0,001	—	—	—	—	—
V	—	—	<0,001	—	—	—	—	0,001	—	—	—	—	<0,001
Cr	—	—	<0,001	—	—	—	—	0,001	—	—	—	—	—
Mn	0,3	0,1	0,3	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5
Co	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ni	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,0003	0,003	0,0003	0,001	0,0003	0,001	0,0003
Cu	0,02	0,02	0,02	0,006	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,002	0,03	0,006
Zn	0,1	0,1	0,06	0,5	0,3	0,06	0,06	0,2	0,08	0,2	0,1	0,6	0,1
Mo	0,001	0,0006	0,001	—	—	0,0003	—	0,003	0,0003	0,0003	0,0001	0,0003	0,0003
Ag	0,0001	0,0001	—	0,0001	0,0001	0,0003	—	0,001	—	0,0003	—	0,0003	0,0001
Sn	<0,001	—	0,006	0,03	—	—	—	0,003	—	—	—	0,06	0,001
Pb	0,003	0,003	0,006	0,006	0,003	0,003	0,003	0,005	0,003	0,001	—	0,01	0,002

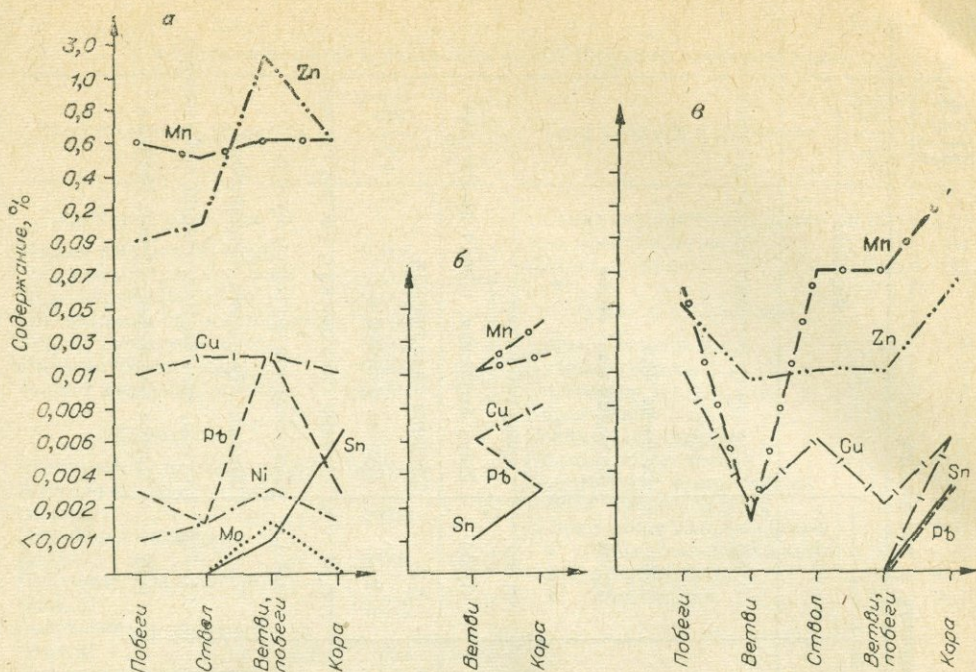


Рис. 13. Распределение химических элементов в органах древесных растений.
 а — береза ребристая; б — лиственница даурская, в — липа амурская.

Кобальт (тысячные доли процента) был обнаружен в ветвях и побегах березы ребристой и рододендрона мелколистного.

Серебро в пределах 0,0001—0,0003% содержится в большинстве видов растений. Особенно высокие концентрации серебра обнаружены в коре кедра корейского, в стеблях малины сахалинской, в ветвях чубушника тонколистного, рябинолистника рябинолистного, березы ребристой, бузины Микеля, в корнях актинидии коломикты и в осоках. Эти виды растений накапливают серебра больше, чем почвы, в 3 раза и более.

Бериллий в количестве 0,0001% обнаружен в корнях малины сахалинской и чубушника тонколистного, в коре березы ребристой, в осоках и зеленых мхах. В ветвях ивы Бредина накапливается до 0,0003% бериллия. В наибольшем количестве (до 0,001%) этот микроэлемент концентрируется в страусопере и кочедыжнике мягком, что более чем в 10 раз выше местного геохимического фона в почвах на месторождении.

Сурьма обнаружена только в ветвях рододендрона мелколистного (сотая доля процента), что в 10 раз превышает ее содержание в почвах на месторождении.

Из приведенных выше растений можно выделить несколько видов, являющихся концентраторами большинства элементов рудной зоны. Из древесных пород это — береза ребристая, ива Бредина, лиственница даурская, из кустарников — ма-

Таблица 11

Степень концентрации элементов в растениях, произрастающих над рудными телами месторождения

Элемент	Среднее содержание в золе растений, %	Содержание в золе растений над рудными телами, %	Степень концентрации
Be	<math><0,0001-0,0001</math>	0,001	>10
V	<math><0,001-0,001</math>	0,01	>10
Cr	0,001	0,003	3
Mn	0,03—0,30	0,7	2—20
Ni	0,0001—0,0003	0,006	20—60
Cu	0,001—0,006	0,2	30—200
Zn	0,01—0,10	2—3	20—300
Mo	0,0001	0,01	100
Ag	0,0001	0,001	10
Sn	<math><0,001-0,001</math>	0,1—0,3	100—300
Pb	0,001	0,02	20

Фоновые и аномальные содержания микроэлементов в почвах и растениях, %

Элемент	В почвах			В растениях			Растение
	кларк по А. П. Виного- радову (1957)	фоновое	аномальное	кларк по А. П. Виного- радову (1950)	фоновое	аномальное	
Be	0,0006	<0,0001	0,003	0,0002	<0,0001—0,001	0,001	Страусопер германский, кочедыжник мягкий
V	0,01	0,01	0,05	0,006	<0,001—0,001	0,01	Зеленые мхи
Cr	0,02	0,003	0,03	0,025	0,001	0,003	Большинство видов . .
Mn	0,085	0,08	0,06	0,75	0,03—0,3	0,7	» »
Co	0,001	<0,001	0,001	0,0015	Не обн.	0,001	Береза ребристая
Ni	0,004	<0,001	0,003	0,005	0,0001—0,0003	0,006	Лица амурская, общая проба трав
Cu	0,002	<0,001	0,01—0,02	0,02	0,001—0,006	0,2	Малина сахалинская
Zn	0,005	0,01	0,03	0,09	0,01—0,10	2—3	Береза ребристая
Mo	0,0002	<0,001	Не обн.	0,002	0,0001	0,01	Малина сахалинская, спирея средняя
Ag	0,00001	<0,001	»	0,0001	0,0001	0,001	Лиственница даурская, бузина Микеля, чубушник тонколистный
Sn	0,001	0,003	0,06	0,0005	<0,001—0,001	0,1—0,3	Осоки, зеленые мхи, полынь побегоносная
Pb	0,001	0,002	0,008	0,001	0,001	0,02	Береза ребристая, бузина Микеля

Содержание олова в растениях на оловорудном месторождении

Виды растений и их органы	Верхний предел, %	Степень накопления*	Виды растений и их органы	Верхний предел, %	Степень накопления*
<i>Древесные растения</i>			Малина сахалинская (корни)	0,060	120
Береза ребристая (кора)	0,006	12	Ива Бредина (ствол)	0,030	60
Ель аянская (ветви, хвоя)	0,006	12	Спирея средняя	0,010	20
Кедр корейский (кора)	0,002	4	<i>Травы и зеленые мхи</i>		
Лиственница даурская (кора)	0,003	6	Кипрей узколистый	0,003	6
Тополь душистый (ствол)	0,003	6	Дудник гладкий	0,002	4
Лица амурская (кора)	0,003	6	Страусопер германский	0,001	2
Бархат амурский (ствол)	0,001	2	Кочедыжник мягкий	0,001	2
<i>Кустарники</i>			Вейник Лангсдорфа	0,002	4
Шиповник иглистый (корни)	0,001	2	Полынь побегоносная	0,100	200
Жимолость Максимовича (корни)	0,003	6	Политрихум обыкновенный	0,100	200
Лимонник китайский (побеги)	0,001	2	Мниум остроконечный	0,100	200
Чубушник тонколистый (корни)	0,003	6	Осока горная маньчжурская	0,300	600
Элеутерококк колючий (корни)	0,001	2	» ланцетная карликовая	0,300	600
Актинидия коломикта (побеги)	0,001	2	» уссурийская	0,300	600
Аралия маньчжурская (корни)	0,006	12	» мечевидная	0,300	600
Рябинолистник рябинолистный (корни)	0,060	120			

* Приводится относительно кларка 0,0005% в растениях по А. П. Виноградову.

лина сахалинская, аралия маньчжурская, рододендрон мелколистный и бузина Микеля, из мхов универсальные концентраторы — мниум остроконечный, политрихум обыкновенный; осоки (горная, маньчжурская, ланцетная карликовая, уссурийская и мечевидная), страусопер германский и кочедыжник мягкий также накапливают большинство элементов.

Анализ данных об интенсивности биологического поглощения растениями-концентраторами (табл. 14) позволяет выявить интересную осо-

Таблица 14

Коэффициенты биологического поглощения элементов (КБП) на оловорудном месторождении

Элемент	Содержание, %						$\frac{КБП_{ан}}{КБП_{фон}}$
	в почвах	в золе растений	КБП _{ан}	в почвах	в золе растений	КБП _{фон}	
	<i>Над рудной зоной</i>			<i>За пределами рудной зоны</i>			
Be	0,003	0,001	0,3	<0,001	Не обн.	<1,0	≈1,0
V	0,050	0,010	0,2	0,0100	»	<1,0	≈1,0
Cr	0,030	0,003	0,1	0,0030	»	<1,0	≈1,0
Mn	0,600	0,700	1,1	0,0800	0,600	7,5	0,15
Co	0,001	0,001	1,0	<0,0010	0,001	>1,0	<1,0
Ni	0,003	0,006	2,0	<0,0010	0,003	>3,0	<0,7
Cu	0,01—0,02	0,200	10—20	<0,0010	0,010	>10,0	≈1,0
Zn	0,030	2,0—3,0	60—100	0,0100	Не обн.	<1,0	1,0—1,7
Mo	<0,001	0,001	>10,0	<0,0010	0,600	60,0	>10,0
Ag	<0,001	0,001	>1,0	<0,0010	<0,001	1,0	>1,0
Sn	0,060	0,300	5,0	0,0030	Не обн.	<1,0	>5,0
Pb	0,008	0,020	2,5	0,0020	0,001	0,5	5,0

бенность накопления элементов в растениях. Для растений, произрастающих за пределами рудной зоны, характерна высокая степень биологического поглощения цинка, меди, марганца и никеля (коэффициент биологического поглощения — КБП равен 3—60).

Для свинца, бериллия, хрома, молибдена, ванадия и олова степень биологического поглощения незначительная (1 или > 1).

Над рудными телами КБП большинства элементов, особенно олова и свинца, повышается, а марганца и никеля понижается, причем для марганца довольно резко.

По данным табл. 14 можно составить ряды биологического поглощения для рудной зоны $Zn > Cu > Mo > Sn > Pb > Ni > Mn > Ag > Co > Be > V > Cr$;

за пределами рудной зоны $Zn > Cu > Mn > Ni > Co > Ag > Pb > Be > V > Cr$.

Сравнивая эти ряды, можно заметить, что они довольно значительно отличаются. Это, очевидно, объясняется тем, что благодаря сложившемуся типу обмена веществ растения в обычных условиях, в нашем случае за пределами рудной зоны, извлекают из почв преимущественно нужные им, жизненно важные для них элементы. Над рудной же зоной они вынуждены поглощать элементы, находящиеся в почвах в избытке, например небιοгенный элемент — олово. Это обуславливает возникновение биогеохимических ореолов рассеяния в растениях и обосновывает возможность практического применения биогеохимического метода поисков.

Согласно табл. 14, отношение $KBP_{ан} / KBP_{фон}$ показывает, что в изученных условиях биогеохимические аномалии более контрастны, чем почвенно-геохимические для цинка, молибдена, серебра, олова и свинца, причем для молибдена, олова и свинца они значительно контрастнее (в 5—10 раз и более). Это говорит о существенно большей эффективности био-

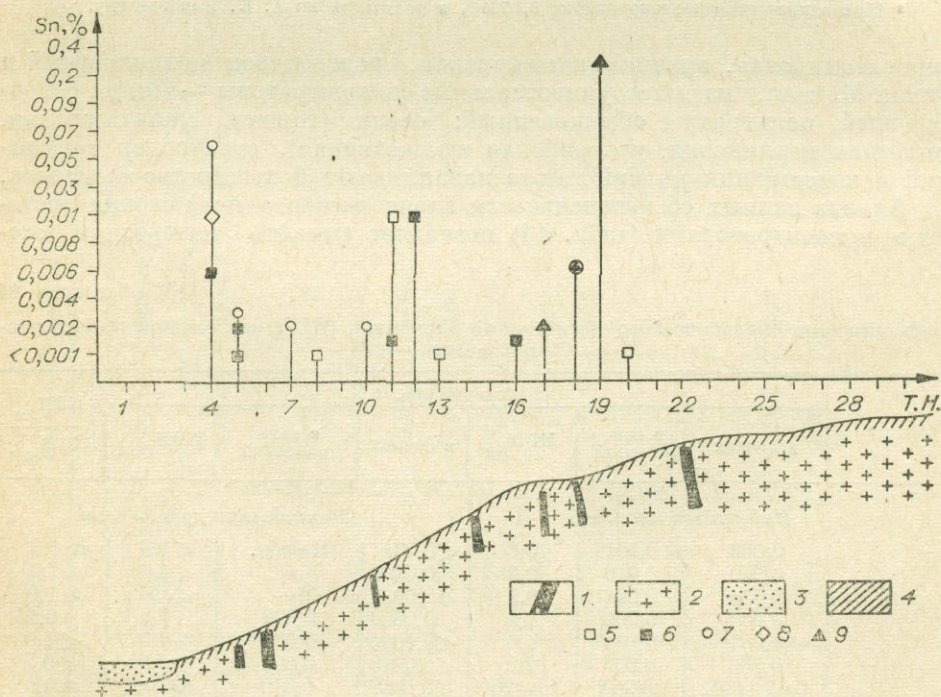


Рис. 14. Распределение максимальных концентраций олова в растениях (профиль II).
1 — рудные тела; 2 — рудомещающие породы; 3 — аллювий; 4 — делювий; 5 — опад; 6 — малина сахалинская; 7 — рябинолистник рябинолистный; 8 — спирея средняя; 9 — осока.

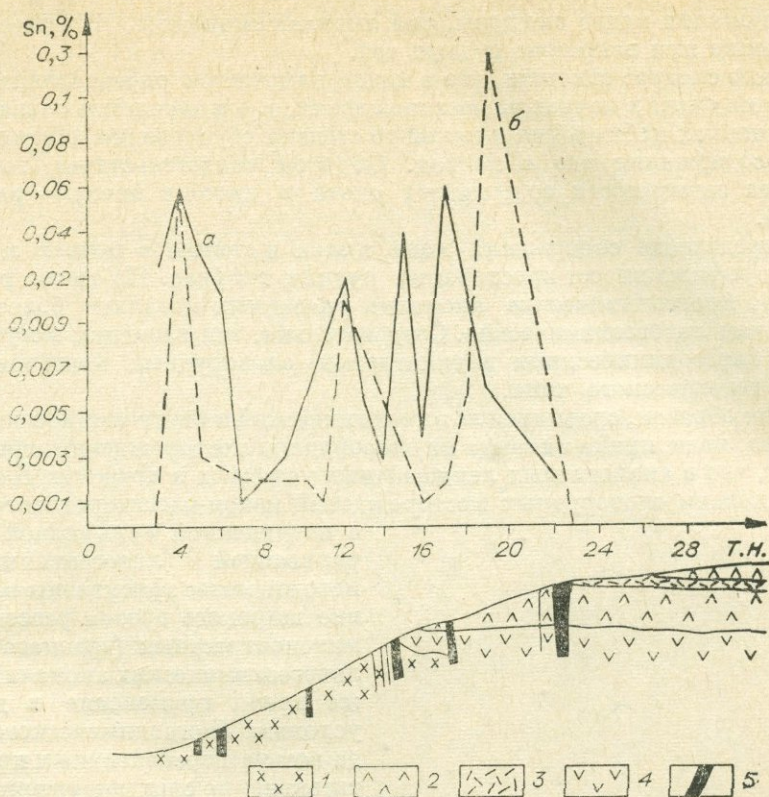


Рис. 15. Распределение олова в почвах (а) и растениях-концентра-
торах (б) (профиль I, а, б — обобщенные кривые).

1 — кварцевые порфиры; 2 — лавобрекчии фельзит-порфириров; 3 — пелитовые
и кристаллические туфы; 4 — лавобрекчии и туфы порфириров; 5 — рудные тела.

геохимического метода для поисков оруденения рассматриваемого типа в сравнении с металлометрическим.

Следует подчеркнуть, что степень накопления олова в золе растений-концентраторов, например, осок в 100 раз выше фонового содержания в почвах (0,003%) и в 300 раз выше по сравнению с фоном в обычных растениях, распространенных в пределах флангов месторождения. Что же касается степени накопления олова в растениях-концентракторах (осоки) на месторождении, то эта величина в 600 раз больше кларка (0,0005%) в растениях по А. П. Виноградову (1954). Весьма характерно, что содержание олова в золе растений-концентракторов, например в осоках, в 5 раз больше самого высокого (аномального) количества этого элемента в почвах в пределах рудных тел месторождения.

Повышенные содержания олова в растениях в основном соответствуют местам залегания рудных тел (рис. 14). Однако как и в литогеохимическом ореоле рассеяния олова, биогеохимическая аномалия в биогенном ореоле рассеяния также смещена вниз по склону сопки. Но смещение ее относительно эпицентров залегания рудных тел значительно меньше (почти в 2 раза), чем в литогеохимическом ореоле рассеяния, и колеблется от 20 до 60 м при той же крутизне склона.

Для большей наглядности на рис. 15 приведены совмещенные диаграммы аномальных содержаний олова в почвах и растениях-концентракторах по профилю I, из которых видно, что растения более четко отбивают места залегания оловорудных тел, чем почвы; иными словами, биогеохими-

ческие аномалии менее смещены, чем литогеохимические, что имеет важное значение при вскрытии рудных тел.

Однако следует отметить, что в целом намечается определенная связь содержания олова в почвах на месторождения, т. е. накопление олова в конкретных точках наблюдения в какой-то степени обусловлено общим повышением содержания его в почвах. Об этом свидетельствует точечная диаграмма зависимости содержания олова в системе почва — растение (рис. 16).

Распределение содержания меди, цинка и свинца в почвах и растениях по профилю вкрест простирания рудных тел (рис. 17) также говорит о том, что биогеохимические аномалии указанных металлов более контрастны, чем литогеохимические. Следовательно, эти элементы могут быть четкими биогеохимическими индикаторами оловорудных месторождений данного генетического типа.

Таким образом, сравнивая литогеохимический и биогеохимический ореолы олова, меди, цинка и свинца на оловорудном месторождении, приходим к выводу, что в аналогичных ландшафтных условиях в пределах Дальнего Востока поиски оловорудных месторождений кварц-касситеритового типа

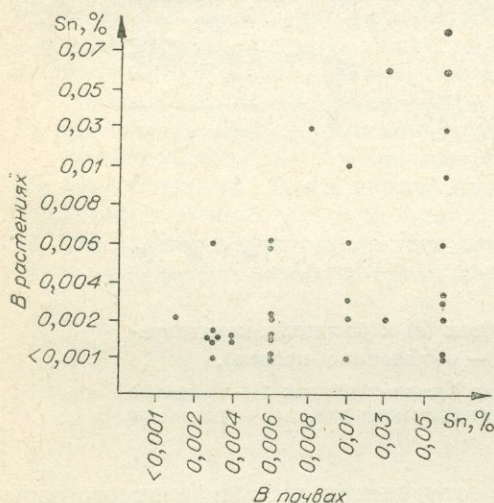


Рис. 16. Зависимость содержания олова в почвах и растениях.

с подчиненной сульфидной минерализацией литогеохимическим методом менее эффективны вследствие широкого ореола рассеяния и мало контрастных («размазанных») литогеохимических аномалий. В то же время применение в данных условиях биогеохимического метода весьма перспективно и предпочтительнее по следующим причинам: во-первых, наличие достаточного числа растений, накапливающих олово в повышенном количестве, значительно расширяет диапазон применения биогеохимического метода;

во-вторых, концентрация олова в растениях намного выше, чем в почвах. Например, степень накопления олова в почвах относительно местного геохимического фона или контрастность литогеохимической аномалии (отношение аномального содержания к фоновому) колеблется от 10 до 20 единиц, а контрастность биогеохимической аномалии в растениях — от 100 до 300 единиц, т. е. растения более чувствительны к фиксации олова. В частности, как указывалось выше, в растениях-концентраторах, например в золе осок, содержание олова равно 0,3%, а самое высокое содержание в почвах по участку исследований составляет только 0,06%, т. е. степень накопления олова в растениях в 5 раз больше, чем в почвах;

в-третьих, сдвиг биогеохимической аномалии в биогенном ореоле рассеяния олова относительно рудных тел значительно меньше, чем литогеохимической аномалии в почвах, т. е. биогеохимическая аномалия более четко отбивает места оловорудных тел, что имеет важное значение при проведении поисков олова в горно-таежных условиях Дальнего Востока.

Таким образом, опытно-методические исследования, выполненные на оловорудном месторождении, свидетельствуют о больших перспективных применениях биогеохимического метода для поисков оловянных руд данного генетического типа в аналогичных ландшафтных условиях Дальнего Востока.

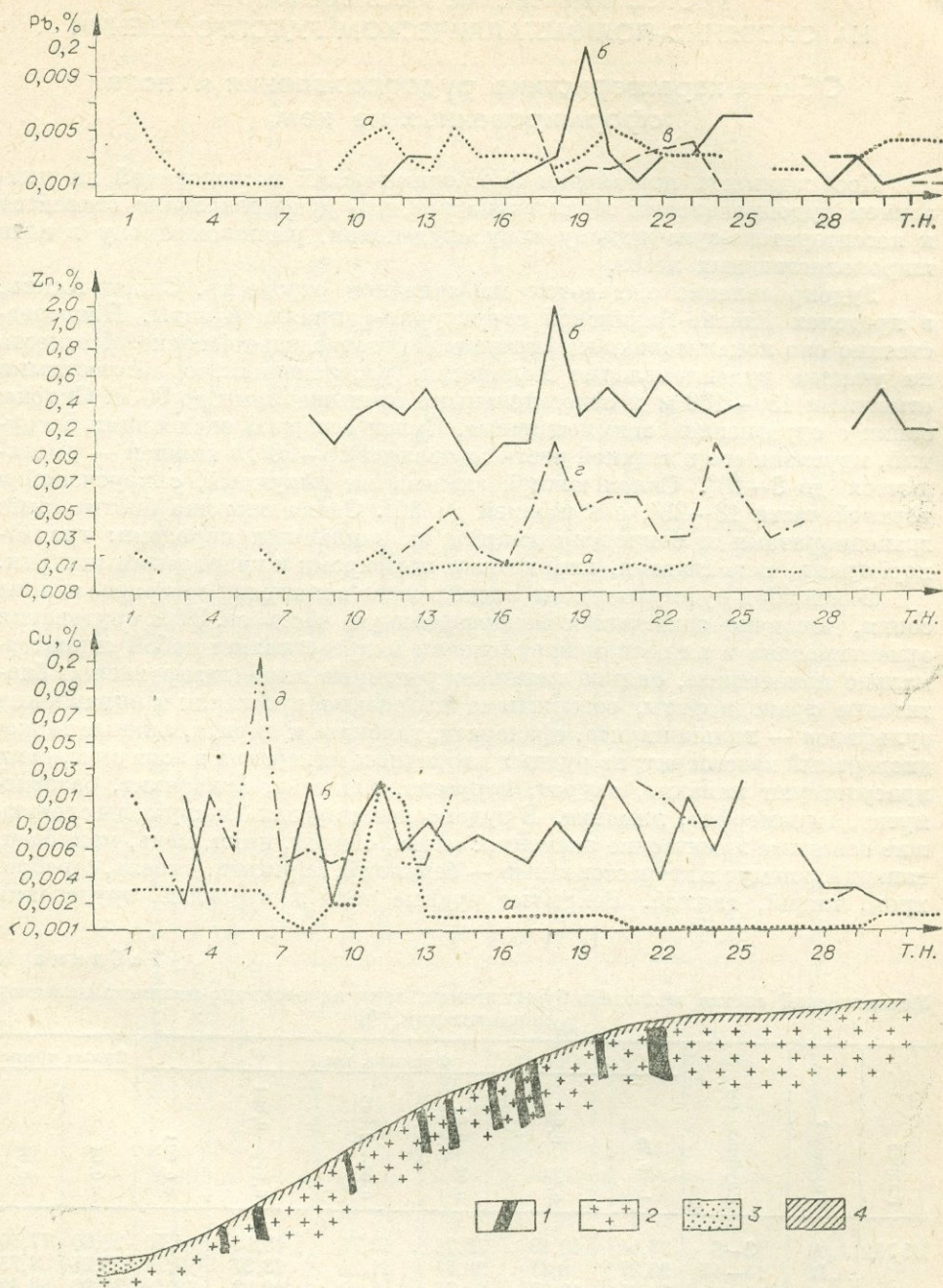


Рис. 17. Распределение свинца, цинка и меди в растениях и бурых горно-лесных почвах (профиль I).

1 — рудные тела; 2 — вмещающие породы; 3 — аллювий; 4 — делювий. Кривые содержания: а — в почвах; б — в березе ребристой; в — в осоках; г — в вейнике Лангсдорфа; д — в маливе сахарной.

**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА ОЛОВЯННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ РУДОПРОЯВЛЕНИИ**

**Общая характеристика рудопроявления и почв,
сформированных на нем**

Необходимость постановки биогеохимических исследований на указанном рудопроявлении обусловлена тем, что рудопроявление относится к касситеритово-сульфидному типу оруденения, расположенному в зоне широколиственных лесов.

Рудопроявление находится на западном отроге хр. Сихотэ-Алинь, в пределах Нижне-Бикинской структурно-фациальной зоны. Непосредственно оно локализовано на останцовой водораздельной сопке. Местность на участке рудопроявления холмистая, расчлененная, с абсолютными отметками 150—180 м и относительными превышениями до 80 м. Склоны сопки с оруденением асимметричные. Склон северной экспозиции вогнутый, крутизна его в верхней части составляет 18—20°, в нижней — уменьшается до 8—10°. Склон южной экспозиции выпуклый, с крутизной в верхней части 18—23°, а в нижней до 40°. Сопка сложена биотитовыми гранодиоритами и сопровождающими их жильными породами: гранит-порфирами, пегматитами, кварцевыми порфирами и кварцевыми жилами.

В основном рудопроявление расположено в пределах северного склона сопки, частично захватывая водораздельную часть ее. Зона оруденения ориентирована в широтном направлении и представляет собой гидротермально измененные, сильно катаклазированные хлоритизированные биотитовые гранодиориты, содержащие кварцевые прожилки и вкрапления сульфидов — халькопирита, сфалерита, галенита и пирита, а также тонкодисперсный касситерит; из рудных вторичных минералов в зоне окисления присутствуют малахит, азурит, церуссит, англезит, вульфенит, базовисмутит, пироморфит, лимонит. В рудоносных породах обнаружены следующие основные химические элементы: олово, свинец, цинк, медь, молибден, ванадий, висмут и второстепенные — бериллий, марганец, никель, серебро, хром, индий, галлий. Вскрытые рудные тела в пределах оруденения

Таблица 15

Механический состав мелкозема бурых лесных почв на оловянно-полиметаллическом рудопроявлении, %

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Фракция, мм						Сумма частиц	
			1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	<0,01	>0,01
VI №2	A ₀ A ₁	3—6	26,14	10,19	32,21	10,76	13,14	4,70	28,60	71,40
	A ₂ B	14—17	30,27	9,81	26,54	11,24	13,27	7,74	33,25	67,75
	B	34—38	30,65	13,88	20,76	8,20	12,92	12,48	33,60	66,40
	BC	54—59	45,26	11,70	13,10	3,95	6,48	17,33	27,76	72,24
	C	60—65	59,24	7,14	8,41	2,00	4,96	15,17	22,13	77,87
VI №0	A ₀ A ₁	3—9	23,21	4,93	29,00	11,27	19,08	7,54	37,89	62,11
	BC	15—20	56,27	7,73	11,78	3,37	7,83	9,34	20,54	79,46
VI №3	A ₀ A ₁	3—7	32,41	6,70	21,54	11,62	13,93	5,75	31,30	68,70
	A ₂ B	10—16	29,73	11,71	28,52	11,75	13,52	1,28	26,55	73,45
	B	29—38	25,79	10,22	26,88	9,95	12,13	12,03	34,11	65,89
	BC	65—74	53,44	11,93	7,97	1,70	3,44	17,17	22,91	77,09

Примечание. Анализы выполнены в Химико-аналитической лаборатории Хабаровского КНИИ ДВНЦ АН СССР. Н. В. Деминой и Т. Ф. Касперской.

Таблица 16

Химические свойства и валовой химический состав бурых лесных почв

Разрез	Горизонт	Глубина, см	рН		Гумус по Тюрину, %	Поглощенные катионы мг× экв на 100 г почвы (по Гедройцу)				Содержание окислов в вытяжке Тамма, %			Валовой химический состав (на прокаленное вещество), %							SiO ₂ R ₂ O ₃
			водной	солевой		Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	сумма	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	сумма	
VI №2	A ₀ A ₁	3—6	6,10	5,65	6,98	21,8	2,0	0,07	23,87	2,5	1,85	1,87	73,63	5,02	14,43	2,86	2,18	0,61	98,73	1,0
	A ₂ B	14—17	5,20	3,95	0,89	5,65	1,31	0,86	7,86	3,7	2,09	1,13	73,87	5,29	14,24	4,28	1,68	0,52	99,88	1,5
	B	34—38	5,00	3,80	0,39	8,2	1,0	0,76	9,96	2,9	2,79	1,77	74,96	6,34	16,45	3,35	2,12	0,65	103,87	6,2
	BC	54—59	5,60	3,85	0,65	14,0	4,3	0,73	19,03	4,1	3,74	2,52	62,91	8,09	21,36	4,52	2,96	0,49	100,33	4,1
	C	60—65	5,70	4,05	0,25	18,7	5,5	0,58	24,73	3,1	3,79	2,92	67,98	8,18	22,23	5,23	2,58	0,83	107,03	4,3
VI №0	A ₀ A ₁	3—9	6,40	5,70	9,65	40,3	3,3	0,11	43,71	4,9	2,37	2,69	71,13	5,82	13,80	4,48	3,96	0,45	99,84	6,9
	BC	15—20	6,05	4,60	0,90	20,1	2,5	0,15	22,75	3,1	2,61	2,60	64,41	6,46	22,62	3,21	2,79	0,48	99,97	4,1
VI №3	A ₀ A ₁	3—7	6,30	5,60	11,95	41,1	3,3	0,12	44,52	9,3	1,80	0,55	72,53	5,51	14,08	4,64	2,46	0,74	99,96	7,4
	A ₂ B	10—16	5,05	3,55	1,40	8,98	2,22	1,37	12,57	2,6	2,20	1,19	14,24	5,24	15,63	2,57	1,90	0,38	99,96	7,4
	B	29—38	4,90	3,30	0,59	9,2	3,0	0,95	13,15	4,1	2,84	1,39	72,81	6,47	15,75	2,30	2,90	0,77	101,00	6,3
	BC	65—74	5,35	3,40	0,35	21,8	6,6	0,66	29,06	2,3	4,39	2,36	61,31	11,67	19,33	3,72	3,11	0,83	109,97	4,0

Анализы выполнены в Химико-аналитической лаборатории Хабаровского КНИИ ДВНЦ АН СССР [Л. С. Гогсенко, Р. Е. Сафоновой, О. В. Мосейкиной].

в зоне окисления содержат: олова — до 0,4%, свинца — до 2,81, меди — до 2,56, цинка — до 1,0%.

По климатическому районированию Б. П. Алисова (1956) описываемый участок относится к Амуро-Уссурийскому району Тихоокеанской лесной области и характеризуется умеренно теплым влажным летом и умеренно суровой малоснежной зимой. Среднее годовое количество осадков равно 615 мм, причем 75—80% от их годовой величины выпадает в период с июня по сентябрь. Осадки выпадают преимущественно в виде ливневых дождей. Наиболее дождливый месяц — август, в это время выпадает 30% от годового количества осадков, причем суточный максимум иногда достигает 130 мм. Снежный покров незначительный, устанавливается в конце ноября и сходит в середине апреля. Средняя высота его 24 см. Ввиду незначительной мощности снежного покрова почвогрунты промерзают на глубину до 2,2—2,5 м.

Согласно данным Ю. А. Ливеровского и Л. П. Рубцовой (1962), участок рудопроявления входит в Средне-Амурскую провинцию зоны бурых горно-лесных, бурых лесных, бурых оподзоленных почв под хвойно-широколиственными и широколиственными лесами. Непосредственно на рудопроявлении развиты бурые лесные почвы.

По механическому составу они относятся к средним и тяжелым суглинкам (табл. 15), причем в верхних горизонтах разрезов преобладают тяжелые, а в нижних — средние суглинки. Илистые и глинистые частицы обнаруживают тенденцию накапливаться в нижних горизонтах (до 17, 33% в разрезе VI № 2).

Количество гумуса в горизонте A_0A_1 колеблется от 6 до 11%, в подгумусовых горизонтах содержание его резко убывает и уже на глубине 30 см не превышает 1%. Почвенный поглощающий комплекс насыщен основаниями. В гумусовом горизонте отмечается аккумуляция поглощенных оснований, ниже, из горизонта A_2B — значительный вынос их и накопление в иллювиальном горизонте B и BC . В подгумусовом горизонте A_2B наблюдается наиболее кислая реакция среды, а также накопление кремнезема и поглощенного водорода и понижение окислов алюминия (табл. 16).

Подвижные гидроокислы кремнезема, алюминия и железа обнаруживают склонность накапливаться в нижних генетических горизонтах почвенных разрезов, как и валовое содержание полуторных окислов.

Минералогия бурых лесных почв

Изучение минералогического состава почв было выполнено по тяжелой фракции шлихов, отмытых из генетических горизонтов. Кроме того, изучалась легкая фракция, а также фракция $< 0,001$ мм с целью установления глинистых минералов.

Результаты изучения минералогического состава обломочных минералов тяжелой и легкой фракций приведены в табл. 17. Анализ показывает, что в почвах преобладают устойчивые минералы, малоустойчивые и неустойчивые практически отсутствуют или подвергнуты интенсивному изменению. Прежде всего полностью отсутствуют сульфидные минералы (в разрезе над эпицентром оловянно-полиметаллической минерализации) — пирит, галенит, сфалерит, халькопирит. Характерно присутствие псевдоморфоз лимонита по пириту. На интенсивные процессы изменения некоторых минералов указывает ряд особенностей последних, в том числе и устойчивых минералов по классификации А. А. Кухаренко (1961). Так, магнетит сильно гидратирован, изменен до плотных землистых образований темно-бурого цвета, обладающих ферромагнитными свойствами. Грани обломков кристаллов ильменита корродированы, и большинство зерен этого минерала имеют неровную, ямчатую, шероховатую поверхность.

Минералогический состав бурых лесных почв (вес. %)

Разрез	Глубина, см	Фракция	Вес фракции, г	Содержание фракции, %	Магнетит	Гидроокислы железа	Лимонит	Ильменит	Хромит	Хлорит	Гранат	Группа эпиндога	Гематит	Ксонотим	Монацит	Циркон	Лейкоксен	Рутил	Сфен	Анагас	Апатит	Актинолит	Касситерит	Полевой шпат	Кварц	Гидролюда	Биотит		
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		
VI №0	15—30	Магнитная	6,77	—																									
		Электромагнитная	0,33	4,8				9	27	3	24	8	29																
		Немагнитная	0,24	3,6													38		*	*									
		Легкая	6,20	91,6																	27	35				72	10	18	
VI №2	15—40	Магнитная	9,59	—																									
		Электромагнитная	0,01	0,1		60	40																						
		Немагнитная	2,61	27,3			3	76				2	7	*	*	1													
		Легкая	0,12	1,2													72	*			25	3		*			73	12	15
VI №2	50—60	Магнитная	17,62	—	Сл.																								
		Электромагнитная	Сл.	—	Сл.																								
		Немагнитная	2,58	14,7				2	79			1	3	1		2													
		Легкая	0,12	0,6													73	*			20	5	*				67	15	18
VI №3	25—38	Магнитная	9,25	—	80	20																							
		Электромагнитная	0,03	0,3																									
		Немагнитная	1,63	17,6				10	85							1													3
		Легкая	0,06	0,7													83	2			15								
VI №3	75—82	Магнитная	8,75	—	Сл.																								
		Электромагнитная	Сл.	—	Сл.																								
		Немагнитная	2,63	30,1				10	83							1													3
		Легкая	0,24	2,7													25	1			2	69							
			5,80	66,3																				76	7	17			

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
В1 № 105	50—100	Магнитная Электромагнитная Немагнитная Легкая	0,88 — 0,47 0,03 0,38	53,4 3,4 43,2			2	94	1	*	*	*			2	45			*	55				68	17		*

* — редкие знаки.

Гематит интенсивно гидратирован и превращен в красно-бурые разности лимонита. Эпидот в большинстве случаев представлен непрозрачными аморфными белесовато-желтыми и зеленоватыми зернами с матовым блеском и частично железнен, в то время как неизменный эпидот прозрачен и представлен обломками кристаллов. Биотит почти повсеместно присутствует в виде гидратированных разностей — толстостолбчатых пластинок гидробиотита. Апатит превращен в обломки агрегатного сложения, ожелезненные и измененные сетью мелких трещин, непрозрачные. Для кристаллов анатаза характерна изъеденная грубошероховатая поверхность, на его зернах отмечается формирование лейкоксена. Полевой шпат интенсивно изменен, ожелезнен и каолинизирован.

Все эти факты свидетельствуют от том, что в очагах на гранодиоритах с касситеритово-сульфидной минерализацией происходят интенсивные процессы выветривания, приводящие к полному разрушению неустойчивых и к сильному изменению (ожелезнению) некоторых даже устойчивых минералов. Об этом же говорят и результаты минералогического изучения фракции <0,001 мм генетических горизонтов образцов почв, подвергавшихся дифференциальному термическому и рентгеноструктурному анализу (рис. 18, 19). Оказалось, что преобладающими глинистыми минералами в почвах являются гидробиотит, вермикулит, смешанно-слоистые образования гидробиотит-вермикулит ($d=12,3 \text{ \AA}$), а также примесь каолинита ($d=7,2 \text{ \AA}$), наибольшее количество которого приурочено к горизонту В (глубина 34—38 см, разрез В1 №2).

Геохимия бурых лесных почв

Вкрест простирания рудной зоны было заложено два магистральных профиля длиной свыше 350 м с расстоянием между ними в 40 м.

По профилям через 20 м закладывались почвенные разрезы, из которых по генетическим горизонтам были отобраны образцы для изучения геохимии почв. Всего изучено 34 разреза, из них взято 115 образцов. По генетическим горизонтам почв образцы распределены таким образом: в горизонте A_0A_1 — 28 образцов, в горизонте A_2B — 29, в горизонте BC — 33 и в горизонте C — 26. Обработка спектральных анализов показала, что в почвах присутствуют следующие малые элементы: марганец, никель, медь, цинк, свинец, ванадий, галлий, бериллий, барий, хром, олово, цирконий, иттрий, иттербий, ниобий, кобальт, серебро, молибден, т. е. всего 18 элементов. Частота встречаемости обнаруженных малых химических элементов в целом по почвам и по их генетическим горизонтам приведена в табл. 18. Результаты анализов показали, что обнаруженные

химические элементы присутствуют во всех генетических горизонтах почв, за исключением молибдена. Он отмечен лишь в виде единичного значения в горизонте A_2B . Таким образом, почти все химические элементы имеют высокую встречаемость, кроме серебра, кобальта, молибдена, встречаемость которых ниже 20%. Такие элементы, как медь, марганец и галлий, имеют 100%-ную встречаемость во всех генетических горизонтах почв. Наиболее повышенную величину встречаемости элементы имеют в горизонте A_2B и наименьшую в горизонте A_0A_1 .

Величины местного геохимического фона химических элементов в генетических горизонтах почв, вычисленные по вариационным кривым, а также аномальные содержания приведены в табл. 19. Местный геохимический фон олова, свинца, цинка, галлия и бериллия в почвах равен кларку, а для остальных элементов ниже кларка.

Рассмотрим особенности распределения малых химических элементов в почвах на рудопроявлении.

Медь. Наряду с оловом, цинком и свинцом этот металл входит в основную геохимическую ассоциацию изученных почв. В среднем содержание меди в почвах составляет 0,001%, т. е. в 2 раза ниже кларка.

Этот элемент повсеместно встречается во всех генетических горизонтах почв. Местный геохимический фон меди в горизонте $A_0A_1 < 0,001\%$, в горизонтах A_2B и $BC - 0,001\%$, в горизонте $C - 0,002\%$, т. е. равен кларку. Следовательно, судя по величине местного геохимического фона, медь склонна накапливаться в горизонте C . Об этом же свидетельствуют аномальные содержания меди в генетических горизонтах. Так, наибольшее количество меди в горизонте A_1 равно 0,004%, что в 2 раза выше кларка, а аномальные содержания в горизонтах A_2B , BC и C равны 0,01%, т. е. в 5 раз больше кларка. Однако число проб с

таким содержанием меди в горизонте C выше по сравнению с другими горизонтами. Таким образом, медь в аномальных количествах статистически обнаруживает тенденцию накапливаться в горизонте C , в то время как минимальные ее содержания почти повсеместно характерны для горизонта A_0A_1 (рис. 20, а).

Свинец также относится к числу основных элементов почв и характеризуется достаточно высокой встречаемостью. В целом среднее его содержание в изученных почвах равно кларку, т. е. 0,001%. Местный геохимический фон в горизонте A_0A_1 также равен кларку. Однако для горизонтов A_2B , BC и C его значение достигает уже 0,003%, что в 3 раза выше кларка. Наибольшее количество свинца в генетических горизонтах A_0A_1 , BC и C составляет 0,03%, а в горизонте $A_2B - 0,02\%$, что соответственно в 30 и 20 раз больше кларка. Судя по количеству проб с аномальным содержанием свинца в почвах, последний статистически склонен накапливаться в горизонте BC , хотя и в горизонте C он концентрируется примерно в тех же количествах. Таким образом, можно отметить, что свинец в изу-

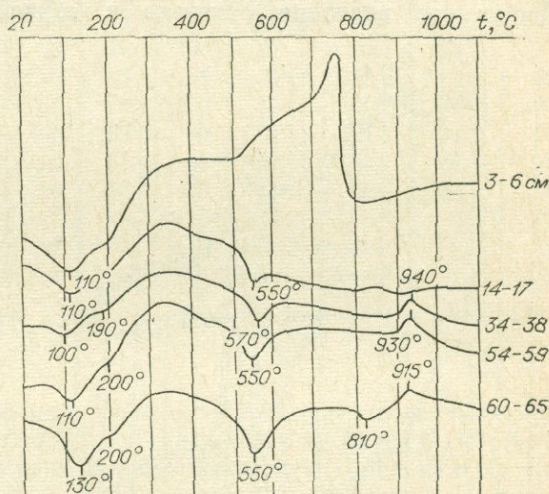


Рис. 18. Дифференциальные кривые нагревания фракции $< 0,001$ мм генетических горизонтов бурых лесных почв, сформированных на участке оловянно-полиметаллического рудопроявления (разрез VI № 2).

ченных почвах больше всего накапливается в нижней части почвенных разрезов. Минимальное содержание свинца, как правило, характерно для горизонта A_0A_1 (рис. 20,б).

Цинк относится к химическим элементам, составляющим основную геохимическую ассоциацию в изученных почвах. Встречаемость его равна 50%. Местный геохимический фон этого элемента в целом по почвам, а также в их генетических горизонтах (A_2B и BC) $< 0,01\%$, что примерно в 2 раза выше кларка. Содержание в горизонтах A_0A_1 и C равно $0,01\%$, т. е. в 2 раза больше кларка. В аномальных количествах цинк склонен концентрироваться в горизонтах A_2B и BC (до $0,03\%$), т. е. в 6 раз больше кларка. В горизонтах A_0A_1 и C аномальное содержание цинка соответственно $0,01$ и $0,02\%$, что в 2 и 4 раза превышает кларк. Судя по количеству проб с наибольшим содержанием цинка, можно отметить, что статистически он обнаруживает тенденцию накапливаться в горизонте BC . Минимальное содержание характерно для горизонта A_0A_1 , а в ряде разрезов этого горизонта цинк вообще не обнаружен (рис. 21,а).

Олово имеет невысокую встречаемость в почвах в целом, порядка 30%. Наибольшее значение отмечено в горизонте C , где оно составля-

ет 46%. Местный геохимический фон олова в среднем по почвам, а также в генетических горизонтах A_0A_1 и C равен $0,001\%$, т. е. в пределах кларка. В горизонтах A_2B и BC геохимический фон этого элемента равен соответственно $0,002$ и $0,003\%$, т. е. в 2 и 3 раза выше кларка. В аномальных количествах — до $0,005\%$ олово накапливается в горизонте C , где его содержание в 5 раз больше кларка. Правда, в одной пробе горизонта A_0A_1 отмечено и «ураганное» содержание, т. е. $0,01\%$. Однако судя по количеству проб и величине встречаемости, олово обнаруживает четко выраженную тенденцию накопления в горизонтах C и частично BC , т. е. в нижних частях разрезов почв (рис. 21,б).

Галлий относится к числу элементов, имеющих повсеместную 100%-ную встречаемость в описываемых почвах. Однако местный геохимический фон его в почвах находится в пределах кларка ($0,003\%$). Такое же значение местного фона и в генетических горизонтах A_2B , BC и C , но в горизонте A_0A_1 оно меньше $0,001\%$. Отсюда ясно, что все минимальные содержания этого элемента приурочены к верхнему горизонту A_0A_1 .

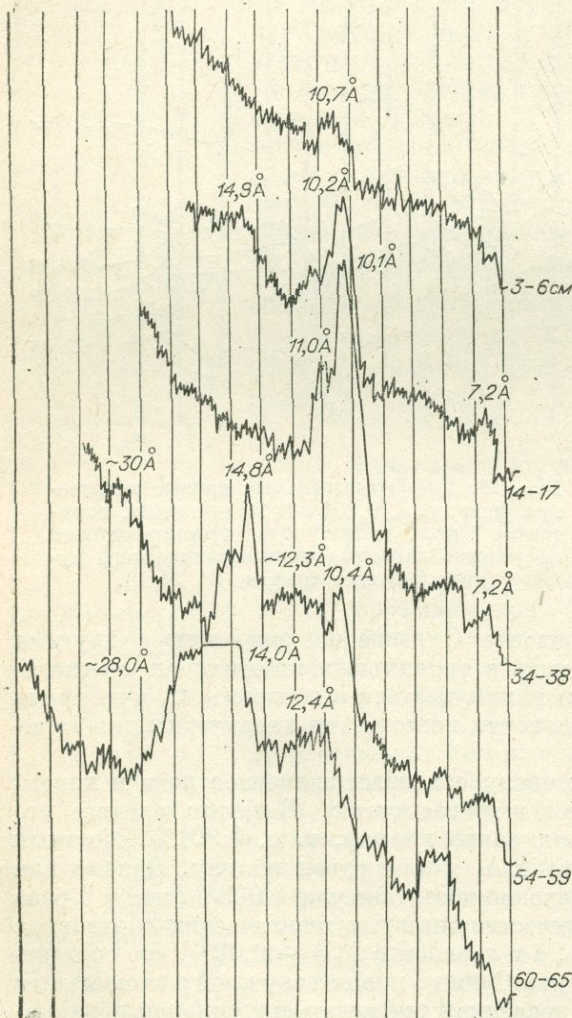


Рис. 19. Дифрактограммы фракции $< 0,001 \text{ мм}$ генетических горизонтов (разрез В1 № 2).

Встречаемость малых химических элементов в бурых лесных почвах

Элемент	Общая по 115 пробам		В горизонте A_0A_1		В горизонте A_2B		В горизонте BC		В горизонте C	
	количество во проб	% встречаемости	количество во проб	% встречаемости	количество во проб	% встречаемости	количество во проб	% встречаемости	количество во проб	% встречаемости
Mn	115	100	28	100	29	100	33	100	26	100
Ni	107	92	23	82	29	100	33	100	22	85
Cu	115	100	28	100	29	100	33	100	26	100
Pb	101	87	14	50	29	100	33	100	25	96
Zn	50	43	1	1	19	65	18	54	13	50
V	107	92	22	80	29	100	31	90	25	96
Ga	115	100	28	100	29	100	33	100	26	100
Be	103	89	16	60	29	100	32	97	26	100
Ba	99	86	18	64	28	96	31	94	22	85
Cr	91	79	12	42	29	100	30	90	20	77
Sn	36	31	3	10	9	31	12	36	12	46
Zr	105	91	17	61	29	100	33	100	26	100
Y	99	86	14	50	29	100	32	97	24	92
Yb	88	76	8	29	25	86	31	94	24	92
Nb	69	60	3	10	22	76	22	66	22	85
Co	18	15	4	14	6	20	2	6	6	23
Ag	24	20	6	21	7	24	6	18	5	19
Mo	1	1	—	—	1	1	—	—	—	—

Примечание. Спектральные анализы выполнены в спектральном кабинете Хабаровского филиала ДВНЦ АН СССР А. И. Кузьминой.

Аномальные содержания галлия в горизонте A_0A_1 достигают всего лишь 0,004%, в горизонте A_2B — 0,006%, в горизонтах BC и C — 0,001%, что соответственно в 1,3; 2 и 3,3 раза больше кларка. По значению местного геохимического фона, а также по аномальным содержаниям и количеству проб с наибольшим содержанием галлий обнаруживает четко выраженную тенденцию накапливаться в горизонтах BC и C , т. е. там, где установлено повышенное количество глинистых и илистых частиц (рис. 21, е).

Бериллий имеет достаточно высокую встречаемость в почвах, приближающуюся к 100%. Местный геохимический фон этого элемента < 0,001%, что, по-видимому, соответствует кларку. Наибольшие содержания бериллия характерны для нижних горизонтов — A_2B , BC и C , где они достигают 0,001%. Это в 1,7 раза выше кларка. Минимальные содержания характерны для верхнего горизонта A_0A_1 . Однако следует подчеркнуть, что повышенные количества этого элемента невелики относительно местного геохимического фона. Следовательно, бериллий как аксессуарный элемент более или менее равномерно распределен в генетических горизонтах почв. Исключение составляет лишь верхняя часть разрезов, в частности горизонт A_0A_1 , где этого элемента несколько меньше.

Цирконий относится к элементам с высокой встречаемостью в изученных почвах, достигающей почти 100% как в целом по почвам, так и в отдельных генетических горизонтах. Местный геохимический фон циркония равен 0,03%, т. е. не превышает кларк. В горизонте A_0A_1 он равен 0,01%, а в горизонтах A_2B , BC и C — 0,05%. Аномальные содержания отмечаются только в нижних частях разрезов, где они достигают 0,1%, что в 3,3 раза больше кларка. Однако, судя по количеству проб с повышенным содержанием, можно отметить, что цирконий статистически склонен накапливаться в горизонте C .

Фоновые и аномальные содержания малых химических элементов в бурых лесных почвах, %

Элементы	Кларк по Виногра- дову, 1957	Местный геохими- ческий фон в целом	Горизонт A ₀ A ₁			Горизонт A ₂ B			Горизонт BC			Горизонт C		
			фоновое	аномаль- ное	степень накопле- ния	фоновое	аномаль- ное	степень накопле- ния	фоновое	аномаль- ное	степень накопле- ния	фоновое	аномаль- ное	степень накопле- ния
Cu	0,002	0,001	<0,001	0,004	2	0,001	0,01	5	0,001	0,01	5	0,002	0,01	5
Pb	0,001	0,001	0,001	0,03	30	0,003	0,02	20	0,003	0,03	30	0,003	0,03	30
Zn	0,005	<0,01	0,01	0,01	2	<0,01	0,03	6	0,01	0,03	6	0,01	0,02	4
Sn	0,001	0,001	0,001	0,01	10	0,002	0,003	3	0,003	0,003	3	0,001	0,005	5
Mn	0,085	0,05	0,08	0,2	>2	0,08	0,1	>1	0,08	0,1	—	0,06	0,1	—
Ni	0,004	<0,001	0,001	0,002	—	0,001	0,003	—	<0,001	0,003	—	<0,001	0,003	—
V	0,01	0,005	0,001	0,01	1	0,003	0,01	1	0,005	0,01	1	0,005	0,01	1
Ga	0,003	0,003	<0,001	0,004	1,3	0,003	0,006	2	0,003	0,01	3,3	0,003	0,01	3,3
Be	0,0006	<0,001	<0,001	<0,001	≈1	<0,001	0,001	1,7	<0,001	0,001	1,7	<0,001	0,001	1,7
Ba	0,05	0,03	0,02	0,1	2	0,03	0,1	2	0,03	0,1	2	0,03	0,1	2
Cr	0,02	0,003	0,001	0,006	—	0,003	0,006	—	0,003	0,006	—	0,003	0,006	—
Zr	0,03	0,03	0,01	0,04	1,3	0,05	0,1	3,3	0,05	0,1	3,3	0,05	0,1	3,3
Y	0,005	0,001	0,001	0,001	—	0,001	0,005	1	0,001	0,01	2	0,003	0,01	2
Yb	—	0,0001	0,0001	0,0003	—	0,0001	0,0003	—	0,0001	0,0003	—	0,0001	0,001	—
Nb	—	0,002	0,002	0,002	—	0,002	0,003	—	0,002	0,003	—	0,002	0,003	—
Co	0,0008	<0,001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	0,00001	<0,0001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mo	0,0002	<0,001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

П р и м е ч а н и е. Степень накопления химических элементов — отношение аномального содержания к кларку в почвах по А. П. Виноградову (1957).

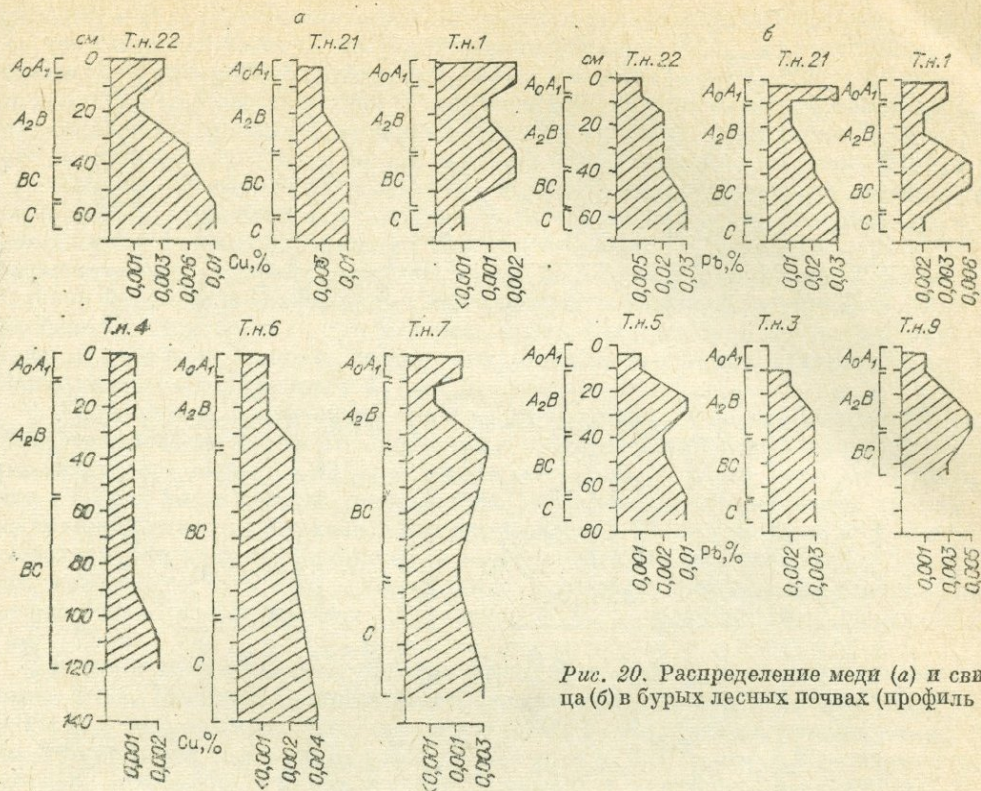


Рис. 20. Распределение меди (а) и свинца (б) в бурых лесных почвах (профиль I).

Все остальные малые, редкие и рассеянные элементы, такие как марганец, никель, кобальт, ванадий, серебро, барий, хром, молибден, иттрий, иттербий, ниобий, в изученных почвах содержатся в количествах, значительно меньших кларка. Это и не случайно, поскольку почти все они, за исключением редкоземельного иттербия, ниобия, иттрия и молибдена, характерны для основных и ультраосновных пород, в то время как оруденение локализовано в гранодиоритах.

Однако на фоне незначительного содержания указанных химических элементов происходит их перераспределение в генетических горизонтах почв, т. е. своего рода относительное накопление. Ниже рассмотрим особенности количественного содержания этой группы химических элементов.

Марганец имеет свои, присущие только ему особенности распределения в почвах относительно других элементов. Характерной чертой его является то, что он как по величине местного геохимического фона, так и по повышенным содержаниям склонен накапливаться в верхнем горизонте A_0A_1 . Местный геохимический фон марганца в целом по почвам составляет 0,05%, в горизонтах A_0A_1 , A_2B и BC — 0,08%, а в горизонте C — 0,2%, т. е. значительно выше, чем в других генетических горизонтах, что свидетельствует о высокой биогенности этого элемента (рис. 21, а).

Никель имеет в почвах почти 100%-ную встречаемость, но содержание его крайне незначительно. Так, местный геохимический фон его в целом по почвам, а также в горизонтах BC и C $< 0,001\%$, а в горизонтах A_0A_1 и A_2B равен 0,001%, что в 4 раза меньше кларка. Наибольшие содержания никеля отмечены в горизонтах A_2B , BC и C , где они достигают 0,003%, но и эта величина меньше кларка. Все же никель статистически склонен относительно концентрироваться в горизонте A_2B и BC , где отмечено наибольшее количество проб с содержанием до 0,003% и более высокий — до 0,001% — местный геохимический фон.

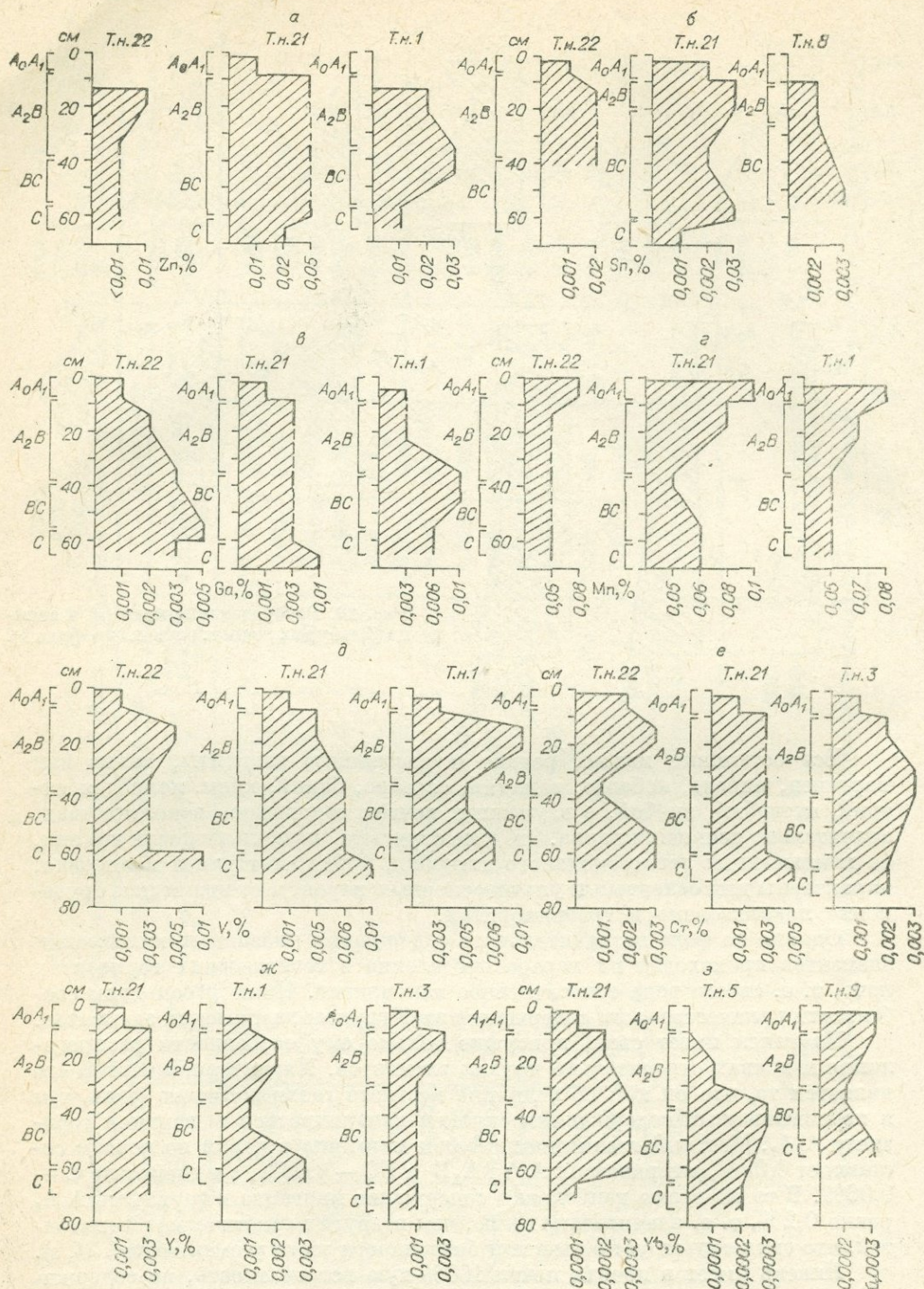


Рис. 21. Распределение цинка (а), олова (б), галлия (в), марганца (г), ванадия (д), хрома (е), иттрия (ж), иттербия (з) (профиль I).

Ванадий относится к аксессуарным, хотя встречаемость его и выше 90%. Местный геохимический фон этого элемента в целом по почвам и горизонтам BC и C равен 0,005%, т. е. в 2 раза ниже кларка, а в горизонтах A₀A₁ и A₂B, т. е. в верхних частях разрезов, и того меньше — соответствен-

но 0,001 и 0,003 %. Повышенные содержания ванадия (до 0,01 %) отмечены во всех горизонтах почв, за исключением верхнего A_0A_1 , но этот элемент статистически склонен концентрироваться в горизонте С, где отмечено наибольшее количество проб с повышенным содержанием. Однако все эти перераспределения содержания ванадия в почвах происходят на фоне его незначительного количества, меньшего величины кларка (рис. 21, *д*).

Барий, несмотря на достаточно высокую встречаемость в почвах, свыше 80 % относится к второстепенным элементам почв. Местный геохимический фон его для нижних горизонтов равен 0,03 %, а для верхнего горизонта A_0A_1 — всего лишь 0,02 %, что более чем в 2 раза ниже кларка. Однако наибольшие содержания этого элемента в почвах достигают 0,1 %, особенно в горизонте С, что в 2 раза выше кларка. Судя по количеству проб с этим содержанием, барий обнаруживает тенденцию статистически накапливаться в горизонте С.

Хром имеет в изученных почвах чрезвычайно низкое содержание. Встречаемость его выше 70 %. Местный геохимический фон в нижних горизонтах составляет 0,003 %, а в горизонте A_0A_1 — всего лишь 0,001 %, что в 20 раз ниже кларка, равного 0,02 %. Наибольшее содержание хрома во всех генетических горизонтах не превышает 0,006 %, т. е. даже не достигает значения кларка. Однако судя по количеству проб с этим содержанием, можно отметить, что хром склонен в данных конкретных условиях относительно накапливаться в горизонте С в большинстве разрезов (рис. 21, *е*).

Иттрий почти повсеместно присутствует в почвах, встречаемость его выше 90 %. Местный геохимический фон иттрия в целом в почвах равен 0,001 % и лишь в горизонте С достигает 0,003 %, что, однако, меньше кларка. Наибольшее содержание этого элемента — до 0,01 %, что в 2 раза выше кларка, — отмечено в нижней части разрезов, т. е. в горизонтах ВС и С. Судя по количеству проб с этим содержанием, можно утверждать, что статистически иттрий обнаруживает тенденцию относительно накопления в горизонте С. На рис. 21, *ж* приведены диаграммы распределения этого элемента по генетическим горизонтам.

Иттербий как представитель группы редкоземельных элементов в рассматриваемых почвах имеет довольно высокую встречаемость — 76 %. Местный геохимический фон его в целом в почвах и в отдельных генетических горизонтах составляет 0,0001 %. Наибольшие количества этого элемента отмечены в горизонтах A_0A_1 , A_2B и ВС, т. е. 0,0003 %, а в самом нижнем горизонте С — 0,001 %, что в 10 раз выше среднего содержания иттербия в почвах в целом. Следовательно, иттербий обнаруживает тенденцию присутствовать в наибольшем количестве в горизонте С (рис. 21, *з*), находясь там в виде изоморфной примеси в составе породообразующих обломочных минералов.

Ниобий довольно широко распространен в почвах, встречаемость его составляет 60 %. Этот элемент из-за слабой геохимической подвижности распределен по разрезу почв более или менее равномерно. Местный геохимический фон ниобия как в целом в почвах, так и отдельно в генетических горизонтах равен 0,002 %. Наибольшее содержание отмечено в нижней части разрезов, в частности, в горизонте С. В других вышележащих генетических горизонтах, особенно в A_0A_1 , количество ниобия не превышает значения местного геохимического фона.

Что касается распределения в почвах таких элементов, как серебро, молибден и кобальт, то дать о них какое-либо определенное заключение не представляется возможным, так как встречаются они в почвах чрезвычайно редко и в крайне незначительном количестве, т. е. не превышающем пределы чувствительности анализа.

Таким образом, приведенные материалы о содержании химических элементов в бурых лесных почвах на участке оловянно-полиметалличе-

ского рудопроявления позволяют сделать вывод о том, что большинство малых, редких и рассеянных химических элементов обнаруживает тенденцию накапливаться в мелкоземе нижних горизонтов почв — в горизонте ВС и особенно в горизонте С. Исключение составляет только биогенный элемент марганец, который обнаруживает ярко выраженную склонность концентрироваться в верхнем горизонте A_0A_1 . Однако накопление это скорей символическое, поскольку происходит на фоне кларкового и даже меньшего содержания этого элемента в изученных почвах.

Такие элементы, как никель и цинк, помимо накопления в нижней части разреза, в горизонте ВС, иногда имеют тенденцию к повышению содержания и в средней части, в горизонте A_2B .

Источником редких и рассеянных химических элементов в изученных почвах являются рудовмещающие гранодиориты и их гидротермально измененные минерализованные разности, содержащие набор перечисленных элементов, находящихся как в составе минералов, так и в виде изоморфных примесей.

С целью установления особенностей распределения малых химических элементов в гранулометрическом спектре мелкозема почв были проанализированы спектральным методом фракции из мелкозема каждого генетического горизонта. Оказалось, что одни химические элементы находятся в повышенном количестве в составе песчано-алевритовых и пелитовых частиц, а другие — в составе глинистых частиц, т. е. во фракции $< 0,001$ мм.

К первым относятся преимущественно геохимически малоподвижные элементы — олово, барий, цирконий, ниобий, иттербий, скандий и др., мигрирующие в зоне гипергенеза вследствие механического рассеяния устойчивых минералов — касситерита, циркона, монацита, ксенотима и др., содержащих в своем составе указанные химические элементы. Однако для олова в данных конкретных условиях отмечается характерная особенность, заключающаяся в том, что повышенное содержание этого металла в гранулометрическом спектре мелкозема приурочено к пелитовым частицам, особенно в разрезах под рудной зоной. Это обусловлено тем, что главный источник указанного элемента в почвах — устойчивый минерал касситерит находится в чрезвычайно тонкодисперсном состоянии, т. е. имеет незначительные размеры. Поэтому олово и отмечается в наибольшем количестве в пелитовых и даже глинистых частицах (рис. 22). Приведенные сведения имеют принципиальное значение в миграции олова во вторичных механических ореолах рассеяния, сопровождающих месторождения и рудопроявления сульфидно-касситеритовой формации с тонкодисперсным касситеритом. Как было показано выше, в механических ореолах рассеяния месторождений и рудопоявлений с видимым касситеритом олово в гранулометрическом спектре мелкозема накапливается в алевритовых и даже песчаных частицах (фракция 0,25—0,05 мм) горизонта ВС. При этом в других фракциях мелкозема почв меньшей размерности содержание олова минимально, особенно во фракции $< 0,001$ мм, т. е. в глинистых частицах. Эти особенности содержания олова в зоне гипергенеза на оловорудных месторождениях разного генетического типа имеют определенное значение для поисков подобных месторождений литогеохимическим методом. В частности, необходимо всегда учитывать возможные генетические черты искомого оловянных рудопоявлений, и в зависимости от этого для эффективности поисков из литогеохимических проб выделять, а затем анализировать ту или иную фракцию мелкозема.

Ко второй группе относятся элементы, характеризующиеся большей миграционной способностью, такие как медь, цинк, свинец, никель, ванадий, марганец, галлий и др. Особенностью геохимии этих элементов в изученных почвах является их преимущественная связь с глинистыми частицами мелкозема всех генетических горизонтов. Так, например, почти все эти элементы обнаруживают склонность накапливаться в горизонте

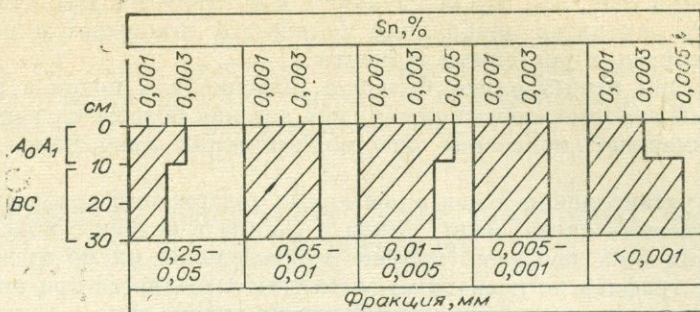


Рис. 22. Распределение олова по фракциям мелкозема генетических горизонтов. Разрез VI № 0.

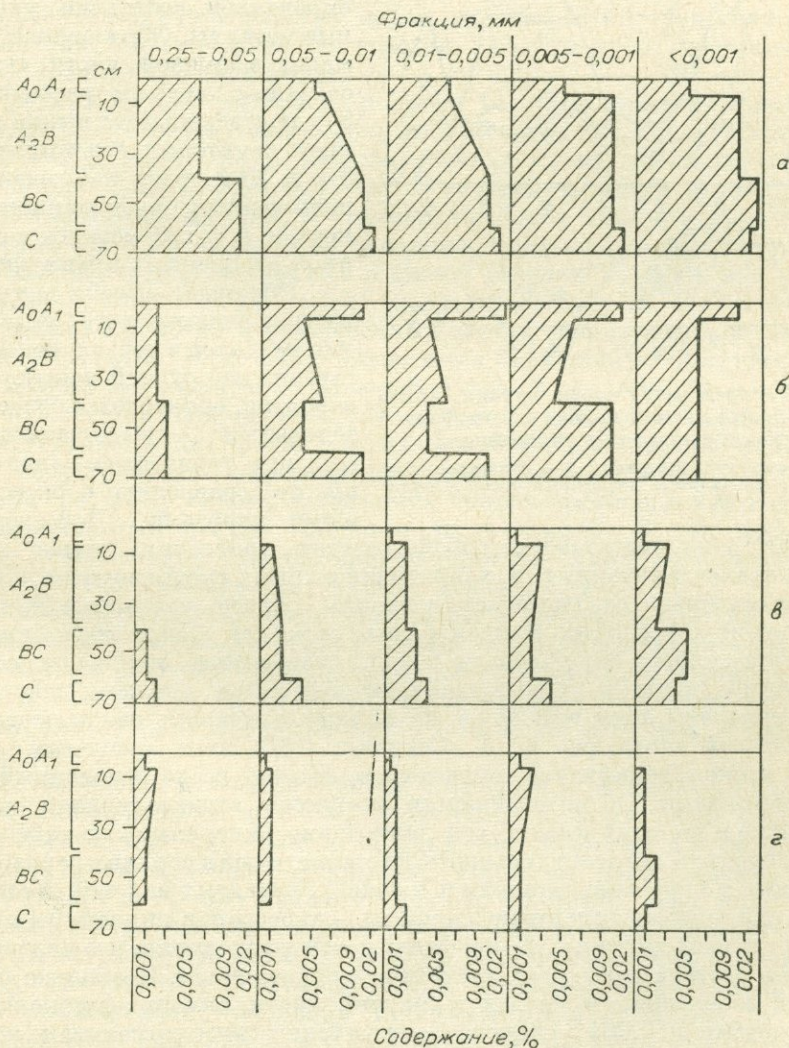


Рис. 23. Распределение свинца (а), меди (б), цинка (в) и олова (г) по фракциям мелкозема генетических горизонтов. Разрез VI № 21.

ВС в составе глинистых частиц (фракция $< 0,001$ мм), в частности свинец, медь и цинк (рис. 23). Это не случайно, и объясняется тем, что в данном горизонте находится наибольшее количество глинистых и илистых частиц, сорбирующих указанные элементы.

Эти сведения представляют большое значение для поисков рудных месторождений литогеохимическим методом, так как позволяют учитывать не только размерность мелкозема литогеохимических проб, но и глубину их отбора.

С целью установления связи аномальных содержаний основных элементов оруденения—олова, меди, цинка и свинца в почвах с подстилающими породами был построен график распределения их по профилю I (рис. 24). На графике по названным элементам выделяется три аномальных пика. Аномалии в верхней и средней частях склона связаны с рудоносными породами и обусловлены, очевидно, механическим рассеянием рудных минералов, в частности гидроокислов железа и марганца в почвах, содержащих в сорбированном состоянии указанные металлы. Образование аномалии в нижней части склона связано с водным рассеянием. Это подтверждается выклиниванием грунтовых вод в пределах 8-й и 10-й точек наблюдения и повышенным содержанием элементов в сухом остатке водных проб, отобранных в этих точках.

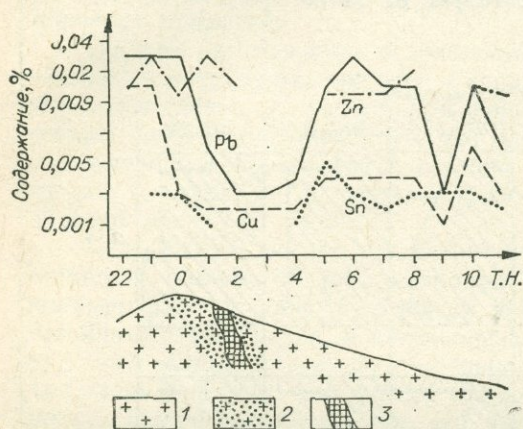


Рис. 24. Распределение олова, свинца, цинка и меди в бурых лесных почвах по профилю I вкрест простирания зоны минерализации.

1 — биотитовые гранодиориты; 2 — окварцованные биотитовые гранодиориты (первичный ореол рассеяния); 3 — рудное тело.

но, рудная зона представляет собой участок дробления сильно измененных катаклазированных и хлоритизированных гранодиоритов, а породы, окаймляющие ее, сильно окварцованы, более массивные и крепкие. Во время муссонных дождей рудная зона как более трещиноватая промывается сильнее окружающих пород, сульфидные минералы становятся неустойчивыми, и рудные элементы выносятся кислыми водами в нижние горизонты зоны или ниже по склону. Создается так называемый «поверхностный слой» (по А. А. Саукову, 1966) зоны окисления мощностью в несколько десятков сантиметров, обычно резко обедненный тяжелыми металлами. Об интенсивности процессов выщелачивания можно судить также и по тому факту, что даже такие минералы, как карбонаты свинца (церуссит и англезит), совершенно отсутствуют в верхних горизонтах рудной зоны, в коре выветривания и в почвах, развитых над ней. Установлено, что геохимически инертные элементы — акцессории цирконий и иттербий распределены по этому же профилю почти равномерно, что свидетельствует об отсутствии связи этих элементов с оруденением. Несколько повышенное их содержание в почвах в нижней части склона (циркония до 0,09%, иттербий до 0,001%) обусловлено механическим рассеянием акцессорных минералов — циркона и монацита рудовмещающих гранодиоритов.

Таким образом, распределение основных металлов в разрезе бурых лесных почв и по профилю вкрест простирания рудопроявления дает

основание утверждать, что результаты металлометрического опробования в данных условиях могут быть эффективными только в том случае, если пробы будут отобраны из иллювиального горизонта, т. е. с глубины не менее 40 см. Самой представительной для анализа металлометрических проб для определения олова, свинца, меди и цинка будет фракция с размером частиц $< 0,01$ мм мелкозема почв.

Особенности накопления малых химических элементов в растениях

Территория рудопроявления расположена в пределах Приуссурийского района лиственных лесов Уссурийско-Амурского округа (Куренцова, 1965).

Характерной особенностью лесов, покрывающих площадь рудопроявления, является их многопородность, одноярусность и четкая зависимость распределения отдельных видов растений от крутизны склона и его увлажнения. Непосредственно участок работ покрыт преимущественно липово-кленово-дубовым лесом.

Средняя высота древесного покрова 12—16 м, диаметр стволов 18—25 см. В древостое по всему склону господствует дуб монгольский со значительной примесью липы маньчжурской и клена мелколистного, реже встречается осина и ильм сродный. В подлеске по всему склону преобладает лещина разнолистная. В верхней, наиболее крутой и хорошо дренированной части склона к этим основным породам примешивается береза даурская, а в подлеске наряду с лещиной разнолистной обычны леспедеца двуцветная, шиповник даурский, малина сахалинская. В средней и нижней, наиболее пологих и увлажненных частях склона видовой состав растений более богат. В древостое появляется бархат амурский, клен бородач, маакия амурская, орех маньчжурский. В подлеске продолжает преобладать лещина разнолистная, но леспедеца двуцветная совершенно исчезает и уступает место аралии маньчжурской, рябинолистнику рябинолистному, элеутерококку колючему, чубушнику тонколистному. Отдельными кустами по всему склону встречается спирея средняя и ива Бредина.

Травянистый покров обилен и разнообразен. В нем преобладают осоки — железная и узколистная, папоротник-орляк, василистник тычиночный, астра шероховатая, купена душистая и др.

На рудопроявлении было опробовано и проанализировано 745 растительных проб, из них 11 видов деревьев, 9 видов кустарников и 6 видов травянистых растений. В золе растений спектральным анализом обнаружены в основном те же элементы, что и в почвах. Основные элементы — свинец, медь и цинк наблюдаются во всех видах растений, а олово менее чем в 50% видов.

Установлено, что встречаемость элементов в различных видах растений неодинакова. Так, по набору химических элементов зола кустарников более богата, чем зола трав; зола древесных растений в этом отношении занимает промежуточное положение. Наиболее часто встречающимися элементами в растениях являются свинец, молибден, медь, цинк, никель, марганец. Такие элементы, как олово, ванадий, серебро, бериллий, галлий, цобальт, встречаются довольно редко и не в каждом виде растений. Оказалось, что наиболее богаты по набору элементов из кустарников — лещина разнолистная, чубушник тонколистный и леспедеца двуцветная, а из древесных растений — ильм сродный, бархат амурский и клен мелколистный. На рис. 25 изображена диаграмма встречаемости меди, цинка, свинца и олова в растениях.

Местный геохимический фон в растениях и для сравнения в почвах приведен в табл. 20, из которой видно, что величины фоновых содержаний

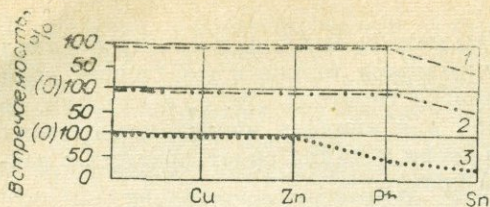


Рис. 25. Встречаемость меди, цинка, свинца и олова в золе растений.

1 — деревья; 2 — кустарники; 3 — травы.

Выявлено, что отдельные части (органы) растений, находящиеся в одних и тех же экологических условиях, концентрируют различное количество химических элементов. В качестве примера приведем содержание элементов в пределах рудной зоны с одной точки (табл. 21).

В целом микроэлементы распределяются неравномерно не только в различных видах растений, но и в разных органах их (табл. 22). Например, у кустарников максимальные концентрации большинства элементов обнаруживаются в корнях, а у древесных растений — в ветвях (рис. 26). Однако такое положение оказывалось справедливым не всегда. Например, у ивы Бредина олово концентрируется в коре, у березы даурской — в листьях, а у ильма сродного и бархата амурского — в ветвях. Свинец у большинства древесных растений накапливается в ветвях, у березы даурской и клена бородатого — в листьях, а у ореха маньчжурского — в коре. Такие отклонения, по-видимому, объясняются различным возрастом растений, разными периодами вегетации, индивидуальными биохимическими процессами, протекающими в органах указанных растений, неодинаковой глубиной проникновения корневых систем и т. д.

Максимальное накопление микроэлементов отмечено в растениях, распространенных над рудным телом. Например, в точке наблюдения I (профиль I), т. е. над рудным телом, содержание микроэлементов в растениях следующее: меди и свинца до 0,01%, цинка до 0,3%, олова до 0,003%, в то время как за пределами рудного тела содержание указанных элементов в растениях значительно ниже, нередко колеблется в пределах местного геохимического фона.

Анализ имеющегося фактического материала по распределению микроэлементов в растениях показывает, что в большинстве видов растений, находящихся в пределах рудной зоны, содержание основных элементов руденения в десятки и даже сотни раз выше, чем в тех же растениях, но за пределами рудного тела. Так, по данным табл. 23 для основных элементов рудопроявления — меди, свинца, цинка степень концентрации колеблется от 30 до 60 единиц; для олова — наиболее малоподвижного элемента в зоне гипергенеза, но также основного для рудного тела, степень концентрации достигает 3 единиц, т. е. также достаточно высока. Высокая степень концентрации характерна и для молибдена, марганца, никеля, галлия, серебра.

Как уже указывалось, фоновые содержания большинства микроэлементов в растениях ниже, чем в почвах, однако аномальные количества их в растениях, как правило, значительно превышают таковые в почвах, что достаточно отчетливо видно на табл. 24. Это наиболее характерно для основных элементов рудопроявления — меди, цинка, свинца, а также молибдена, серебра, галлия, кобальта, никеля и марганца — микроэлементов, сопровождающих рудную минерализацию. Соответственно и контрастность аномалий, т. е. отношение аномального содержания того или иного микроэлемента к его фону в растениях, более резкая по сравнению с контрастностью в почвах (табл. 25).

большинства микроэлементов в растениях меньше таковых в почвах. И лишь местный геохимический фон таких жизненно важных для растений элементов, как медь, цинк, марганец, молибден и др., в 5–20 раз превышает их фоновые содержания в почвах, а фоновые содержания таких элементов, как свинец, серебро, бериллий, кобальт и никель в растениях, равны фоновым в почвах.

Местный геохимический фон микроэлементов в растениях и в почвах, %

Растение	Sn	Pb	Mo	Cu	Zn	V	Ag	Be	Ga	Co	Ni	Mn
Клен бородатый	—	<0,001	0,001	0,003	0,03	—	0,0001	—	<0,001	<0,001	<0,001	Не опр.
Маакия амурская	—	<0,001	0,0003	0,003	<0,01	—	—	—	<0,001	—	<0,001	»
Осина	—	<0,001	—	0,003	0,1	—	—	—	—	<0,001	<0,001	»
Дуб монгольский	—	<0,001	—	0,003	0,01	—	0,0001	—	<0,001	—	<0,001	1,00
Ива Бредина	—	0,001	—	0,003	0,1	—	—	—	—	—	<0,001	0,05
Береза даурская	—	0,001	—	0,002	0,1	—	0,0001	—	—	—	0,001	0,10
Клен мелколистный	—	<0,001	0,0001	0,001	0,01	—	0,0001	—	<0,001	<0,001	<0,001	0,10
Липа маньчжурская	—	<0,001	—	0,002	0,03	—	0,0001	—	—	—	<0,001	0,50
Ильм сродный	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	0,0001	—	—	—	<0,001	
Орех маньчжурский	—	<0,001	0,0003	0,003	—	—	—	—	—	—	<0,001	0,10
Леспедеца двуцветная	<0,001	0,001	<0,001	0,002	0,01	<0,001	—	0,0001	0,003	—	0,001	0,10
Лещина разнолистная	—	<0,001	—	0,003	0,01	<0,001	0,0001	<0,0010	<0,001	0,001	<0,001	Не опр.
Спирея средняя	<0,001	0,001	0,003	0,005	0,03	<0,0001	0,0001	—	—	—	0,001	»
Шиповник даурский	—	—	—	0,002	—	—	—	—	—	—	<0,001	»
Малина сахалинская	0,001	—	0,002	—	—	—	—	—	—	—	<0,001	»
Чубушник тонколистный	<0,001	<0,001	0,0001	0,001	0,05	<0,001	0,0001	—	<0,001	—	<0,001	»
Элеутерококк колючий	—	<0,001	0,0002	0,001	0,02	—	0,0001	—	—	—	<0,001	»
Аралия маньчжурская	—	<0,001	0,0001	0,005	0,03	<0,001	—	—	<0,001	—	<0,001	»
Рябинолистник рябинолист- ный	—	0,001	0,0001	0,0005	0,1	<0,001	0,0001	—	<0,001	—	<0,001	»
Бархат амурский	—	<0,001	0,0001	0,005	0,01	—	0,0001	—	<0,001	—	<0,001	»
Общая проба трав	—	<0,001	0,0001	0,001	0,01	<0,001	—	—	—	—	<0,001	0,01
Почвы	0,001	0,001	—	0,001	<0,01	0,005	<0,0001	<0,0010	0,003	0,001	<0,001	0,05

Содержание основных химических элементов в органах спиреи средней и березы даурской над рудной зоной, %

Растение	Орган	Pb	Cu	Zn	Sn
Спирея средняя	Листья	0,01	0,02	0,03	<0,001
	Ветви	0,03	0,01	0,10	0,001
	Корни	0,03	0,03	0,20	0,003
Береза даурская	Листья	0,02	0,006	0,1	<0,001
	Ветви	0,01	0,003	0,1	Не обн.
	Корни	0,01	0,001	Не обн.	«

Судя по контрастности биогеохимических аномалий, свинец, молибден, медь, цинк, серебро могут быть хорошими биогеохимическими индикаторами оловорудной минерализации данного генетического типа.

Кратко остановимся на особенностях накопления растениями микроэлементов в пределах рудопроявления.

Олово—один из основных элементов на данном рудопроявлении—концентрируется относительно немногими видами (табл. 26) растений. При этом отмечается, что содержание его в кустарниках выше, чем в древесных растениях. В последних количество олова не превышает 0,001%. В этих количествах олово концентрируется в ветвях бархата амурского и ильма сродного, в листьях березы даурской и в коре ивы Бредина. Из кустарников, содержащих до 0,001% олова, следует отметить леспедуцу двуцветную, лещину разнолистную, малину сахалинскую, чубушник тонколистный. В них этот элемент накапливается в ветвях и корнях, причем в последних, как правило, выше. Наилучшим концентратором олова на участке рудопроявления является спирея средняя. Олово в ней обнаружено во всех органах, а в корнях концентрация его достигает максимальной для участка величины — 0,003%. В общей пробе трав олово обнаружено только в пределах рудного тела (0,001%). В целом содержание олова в растениях на данном рудопроявлении незначительно, поэтому и степень концентрации этого элемента относительно местного геохимического фона в растениях невелика и превышает только в 3 раза фоновые значения, что, очевидно, обусловлено низким содержанием этого металла в коренных рудах зоны минерализации.

Максимальные концентрации микроэлементов в различных

Элемент	Спирея средняя			Леспедеца двуцветная			
	листья, побеги	ветви, стебель	корни	листья, побеги	ветви	стебель	корни
Sn	<0,001	0,001	0,003	—	<0,001	—	<0,001
Pb	0,01	0,03	0,03	0,001	0,005	0,01	0,02
Mo	0,003	0,006	0,006	0,003	0,003	0,003	0,01
Cu	0,02	0,01	0,03	0,006	0,006	0,006	0,006
Zn	0,03	0,1	0,02	—	0,01	0,03	0,03
V	<0,001	—	<0,001	<0,001	—	—	0,001
Be	—	—	—	0,0001	—	—	—
Ag	—	<0,001	0,001	<0,001	—	—	—
Ga	—	—	<0,001	—	—	—	0,003
Co	—	—	—	—	—	—	—
Ni	0,001	0,005	0,002	0,01	0,006	0,003	0,003
Mn	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,4	Не опр.	Не опр.	0,2

Свинец обнаружен во всех растениях, отобранных на участке рудопроявления. В древесных растениях повышенные содержания его отмечаются в основном в ветвях, а в кустарниках — в корнях. Аномальные содержания свинца (0,005—0,03%) отмечены в ветвях маакии амурской, дуба монгольского, ивы Бредина, березы даурской, клена мелколистного, липы амурской, ильма сродного, а также в листьях и коре березы даурской и коре ивы Бредина. В кустарниках в этих же количествах свинец накапливается в ветвях, стеблях и корнях леспедецы двуцветной, в ветвях и корнях лещины разнолистной, в листьях, ветвях и корнях спиреи средней, в ветвях и корнях чубушника тонколистного, в корнях рябинолистника рябинолистного. Наилучшими концентраторами свинца на рудопроявлении из древесных растений являются береза даурская и ива Бредина, а из кустарников малина сахалинская, спирея средняя и чубушник тонколистный. В частности, в малине сахалинской содержание свинца достигает 0,06% — максимального значения в растениях на рудопроявлении, что в 2 раза выше аномального содержания в почвах над рудным телом. Степень концентрации свинца в этом растении в 60 раз выше местного геохимического фона в обычных растениях, не накапливающих свинец.

Молибден обнаружен во всех кустарниках и в большинстве видов древесных растений, за исключением осины, дуба монгольского и ивы Бредина. В древесных растениях этот элемент накапливается преимущественно в ветвях, а в кустарниках — в листьях. Аномальные содержания молибдена (0,001%) обнаружены в ветвях березы даурской, в листьях, ветвях и коре клена мелколистного, в коре липы амурской, в ветвях ильма сродного, в ветвях и коре бархата амурского, в корнях аралии маньчжурской, в листьях и ветвях пиповника иглистого и во всех органах спиреи средней, малины сахалинской и лещины разнолистной. Наилучшими концентраторами молибдена из древесных растений являются береза даур-

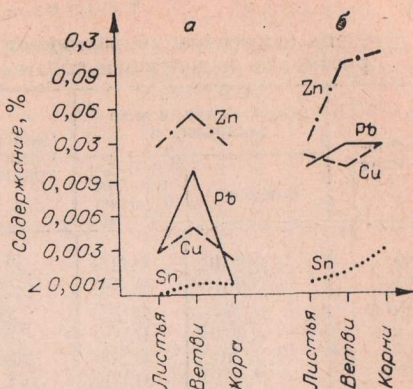


Рис. 26. Распределение химических элементов в органах древесных (а) и кустарниковых (б) растений.

Т а б л и ц а 22

органах древесных растений и кустарников, %

Лещина разнолиственная			Чубушник тонколистный			Ива Бредина		
листья, побеги	ветви, стебель	корни	листья, побеги	ветви, стебель	корни	листья, побеги	ветви	кора
—	<0,001	0,001	—	<0,001	0,001	—	—	<0,001
0,002	0,01	0,01	<0,001	0,02	0,03	0,001	0,03	0,02
—	0,003	0,0001	0,0001	0,0003	0,0005	—	—	—
0,005	0,01	0,01	0,003	0,03	0,03	0,006	0,01	0,006
0,03	0,01	0,08	0,05	1,0	0,1	0,01	0,05	0,3
<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	—	—	—
—	—	<0,001	—	—	—	—	—	—
0,001	<0,001	0,0001	—	0,0001	0,0002	—	—	0,001
—	<0,001	<0,001	—	<0,001	0,001	—	—	—
—	0,003	0,001	—	<0,001	—	—	—	—
0,003	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01	0,003	0,001
3,0	1,0	1,0	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,6	0,5	0,5

Таблица 23

Степень концентрации элементов в растениях над рудным телом

Элемент	Содержание в золе растений, %		Степень концентрации
	фооновое	аномальное над рудным телом	
Sn	<0,0010	0,003	>3
Pb	<0,0010	0,060	>60
Mo	0,0001	0,010	100
Cu	0,0010	0,030	30
Zn	<0,0100	0,300	>30
V	<0,0010	0,001	>1
Ag	<0,0001	0,003	>30
Be	<0,0001	0,001	>10
Ga	<0,0010	0,030	>30
Co	<0,0010	0,003	>3
Ni	<0,0010	0,040	>40
Mn	0,0500	3,0	60

дуба монгольского, во всех органах ивы Бредина и березы даурской, в ветвях и корнях лещины разнолистной, чубушника тонколистного, рябинолистника рябинолистного и во всех органах леспедецы двуцветной, спиреи средней и аралии маньчжурской. Наилучшими концентраторами меди из древесных растений являются дуб монгольский и ива Бредина, из кустарников — лещина разнолистая. В максимальной для участка концентрации — 0,03%, медь накапливается в спирее средней и чубушнике тонколистом. Аномальные концентрации меди в них в 3 раза превышают содержание в почвах над рудным телом. Степень накопления этого элемента в ветвях и корнях указанных кустарников в 30 раз выше местного геохимического фона в растениях.

Таблица 24

Фооновые и аномальные содержания микроэлементов в почвах и растениях, %

Элемент	В почвах			В растениях			Растение
	кларк по А. П. Виноградову (1957), %	фооновое	аномальное	кларк по А. П. Виноградову (1950), %	фооновое	аномальное	
Sn	0,001	0,001	0,01	0,0005	<0,001	0,001—0,003	Малина сахалинская, спирея средняя
Pb	0,001	0,001	0,03	0,001	<0,001	0,03—0,06	Малина сахалинская
Mo	0,0002	—	—	0,002	0,0001	0,001—0,003	Большинство видов
Cu	0,002	0,001	0,01	0,02	0,001	0,01—0,03	Леспедеца двуцветная Спирея средняя; чубушник тонколистный
Zn	0,005	<0,01	0,03	0,09	<0,01	0,05—0,3	Большинство видов; леспедеца двуцветная
V	0,02	0,005	0,01	0,006	<0,001	0,001	Леспедеца двуцветная
Ag	0,0002	<0,0001	0,0001	0,0001	<0,0001	0,001—0,003	Дуб монгольский; лещина разнолистая
Be	0,0006	<0,001	0,001	0,0002	<0,0001	0,001	Лещина разнолистая
Ga		0,003	0,01		<0,001	0,001—0,03	Ильм сродный, бархат амурский, аралия маньчжурская
Co	0,001	<0,001	<0,001	0,0015	<0,001	0,003	Лещина разнолистая
Ni	0,004	<0,001	0,003	0,005	<0,001	0,006—0,01	Большинство видов
Mn	0,085	0,05	0,2	0,75	0,05—0,1	0,04—0,1—3,0	Ильм сродный Большинство видов Дуб монгольский

Цинк обнаружен во всех растениях на рудопроявлении. В древесных растениях в повышенных количествах он накапливается в основном в ветвях, в кустарниках — в листьях и корнях. Аномальные содержания цинка (0,05—0,3%) отмечаются почти во всех растениях, исключая орех маньчжурский, элеутерококк колючий и малину сахалинскую. Наилучшими концентраторами цинка являются береза даурская, ива Бредина, осина и спирея средняя. Максимальные концентрации этого элемента (до 1%) отмечены в чубушнике тонколиственным, что более чем в 30 раз превышает аномальное содержание в почве над рудным телом. В целом степень накопления цинка в растениях-концентраторах в 10—100 раз выше местного геохимического фона в обычных растениях на рудопроявлении.

Ванадий обнаружен во многих кустарниках, кроме малины сахалинской и элеутерококка колючего. В древесных растениях он концентрируется только в листьях, а в кустарниках — в листьях и корнях, реже — в ветвях. Содержание его всюду незначительное и составляет меньше 0,001%. Относительное накопление ванадия (до 0,001%) отмечено в корнях леспедецы двуцветной, что несколько больше единицы по сравнению с местным геохимическим фоном в растениях.

Бериллий в большинстве видов растений не обнаружен. Незначительные его содержания (< 0,001%) отмечены в коре бархата амурского, в листьях леспедецы двуцветной и в корнях лещины разнолистной.

Серебро в количествах меньше 0,001% отмечено в подавляющей части видов древесных растений и кустарников, за исключением шиповника иглистого, маакки амурской и ореха маньчжурского. В древесных растениях этот элемент накапливается в листьях и ветвях, реже — в коре, а в кустарниках — в листьях и корнях, реже — в ветвях. Наилучшими концентраторами серебра являются лещина разнолистная, спирея средняя и дуб монгольский, в которых серебра накапливается до 0,001—0,003%, что в 10—30 раз больше аномального содержания в почвах над рудным телом и в 30 раз выше местного геохимического фона в растениях на рудопроявлении.

Галлий обнаружен в большинстве видов кустарников (до 0,001%), за исключением шиповника иглистого и малины сахалинской, а также

Контрастность аномалий химических элементов над рудным телом в почвах и растениях

Элемент	В почвах	В расте- ниях	Элемент	В почвах	В расте- ниях
Sn	10	> 3	Ag	> 1	> 30
Pb	30	> 60	Be	> 1	> 10
Mo	—	30	Ga	3,3	> 30
Cu	10	30	Co	1	> 3
Zn	> 3	> 30	Ni	> 3	> 10
V	2	> 1	Mn	4	60

Таблица 26

Содержание олова в растениях

Растение	Орган	Sn, % (верхний предел)	Растение	Орган	Sn, % (верхний предел)
Береза даурская	Листья	< 0,001	Малина сахалинская (общая проба)		0,001
Ильм сродный	Ветви	< 0,001	Чубушник тонколи- стный	Ветви	< 0,001
Бархат амурский	»	< 0,001		Корни	0,001
Ива Бредина	Кора	< 0,001	Полынь побегоносная		0,001
Леспедеца двуцветная	Ветви	< 0,001	Шиповник		0,001
	Корни	< 0,001	Земляника восточная		0,001
Лещина разнолистная	Ветви	< 0,001	Осока узколистная		0,001
	Корни	0,001			
Спирея средняя	Листья	< 0,001			
	Ветви	0,001			
	Корни	0,003			

встречен в древесных растениях — клене бородатом, маакии амурской, дубе монгольском, клене мелколистном, ильме японском и бархате амурском. В древесных растениях галлий накапливается в листьях и ветвях, реже — в коре, а в кустарниках — в корнях и реже — в ветвях. Повышенные содержания галлия (до 0,003%) отмечены в ильме сродном, в бархате амурском, в леспедеце двуцветной и в рябинолистнике рябинолистном, что в 3 раза выше местного геохимического фона в растениях на данном рудопроявлении.

Хром встречается только в некоторых видах растений. Из кустарников он обнаружен в ветвях чубушника тонколистного, а из древесных растений — в ветвях дуба монгольского, ильма сродного и в листьях ивы Бредина (0,001—0,003%). Максимальное содержание хрома (до 0,01%) — в ветвях чубушника тонколистного, что в 10 раз выше местного геохимического фона в растениях на рудопроявлении.

Кобальт обнаружен в листьях клена бородатого, осины, клена мелколистного, в коре бархата амурского, а также в ветвях и корнях лещины разнолистной и в ветвях чубушника тонколистного. Содержание кобальта в этих видах растений составляет 0,001%. Максимальные концентрации этого элемента (до 0,003%) отмечены в ветвях лещины разнолистной, что в 3 раза выше аномальных содержаний в почве и местного геохимического фона в растениях.

Никель накапливается во всех видах растений на участке рудопроявления. В древесных растениях повышенные количества его обнаружены в листьях и ветвях, реже — в коре, в кустарниках — в основном в ветвях и листьях, реже — в корнях. Наибольшие содержания никеля (0,006—0,01%) отмечаются в большинстве видов растений, за исключением спирей средней, шиповника иглистого, малины сахалинской, элеутерококка колючего, березы даурской, ореха маньчжурского и общей пробы трав. Наилучшими концентраторами никеля являются дуб монгольский и ильм сродный. Содержание никеля в них достигает 0,02—0,04%, что в 7—13 раз выше аномального количества в почвах и в 20—40 раз выше местного геохимического фона в растениях.

Марганец определялся лишь в леспедеце двуцветной и лещине разнолистной, а также в древесных растениях. Повышенные содержания его (0,1—1%) обнаружены в большинстве видов растений. В травах количество марганца не превышает фон (0,005%) в растениях на рудопроявлении. В кустарниках марганец накапливается преимущественно в листьях, а в древесных растениях — в листьях и ветвях. Наилучшие концентраторы марганца — лещина разнолистная, береза даурская и дуб монгольский, где содержание его колеблется от 1 до 3%, что в 10—30 раз выше местного геохимического фона в растениях.

Из всех описанных выше растений можно выделить несколько видов, являющихся концентраторами большинства химических элементов рудопроявления. Из древесных пород это дуб монгольский, ива Бредина, клен мелколистный, липа маньчжурская, ильм сродный, из кустарников — леспедеца двуцветная, лещина разнолистная, спирея средняя, чубушник тонколистный, аралия маньчжурская, рябинолистник рябинолистный, бархат амурский.

Для характеристики интенсивности накопления растениями-концентраторами микроэлементов на рудопроявлении были рассчитаны коэффициенты биологического поглощения (табл. 27). Наиболее интенсивно растениями поглощаются биогенные химические элементы, играющие в них важную физиологическую роль (Школьник, Макарова, 1957), т. е. такие, как цинк, марганец, никель, кобальт, молибден, медь, являющиеся, в свою очередь, и основными элементами рудопроявления, за исключением никеля, кобальта и марганца. Коэффициент биологического поглощения этих элементов в десятки раз выше по сравнению с другими химическими элементами в тех же растениях.

Коэффициент биологического поглощения химических элементов над рудной зоной

Элемент	Содержание элемента, %		КБП	Элемент	Содержание элемента, %		КБП
	в растениях	в почве			в растениях	в почве	
Sn	0,003	0,01	0,3	Ag	0,003	0,0001	30
Pb	0,06	0,03	2	Be	0,001	0,001	1
Mo	0,01	<0,001	>10	Ga	0,003	0,01	0,3
Cu	0,03	0,01	3	Co	0,003	<0,001	>3
Zn	1,0	0,03	33	Ni	0,04	0,003	13
V	0,001	0,01	0,1	Mn	3,0	0,2	15

На основании данных табл. 27 составлен ряд биологического поглощения химических элементов растениями, распространенными над рудной зоной, по степени их убывающей энергии биологического поглощения: $Zn > Ag > Mn > Ni > Mo > Co > Cu > Pb > Be > Ga > Sn > V$.

Из приведенного ряда биологического поглощения микроэлементов видно, что над рудной зоной растения вынуждены поглощать из почвы и подпочвенного слоя не только физиологически необходимые им элементы, но и другие микроэлементы, находящиеся в почве в избытке, такие, как свинец, олово, серебро и др., физиологическая роль которых пока неизвестна. Это обстоятельство обуславливает возникновение биогенных ореолов рассеяния в растениях над рудной зоной указанных элементов и на этой основе представляется возможным применение биогеохимического метода поисков руд данного типа.

На графике распределения вкрест простирания рудной зоны содержания основных элементов — меди, цинка и свинца в растениях (рис. 27) отмечаются четкие биогеохимические аномалии. Распределение олова здесь не показано, так как этот элемент встречается лишь в отдельных точках. Отмечено, что биогеохимические аномалии фиксируют более близкое к действительному залегание рудного тела по сравнению с литогеохимическими аномалиями (см. рис. 24). Это объясняется, по-видимому, тем, что корневые системы растений проникают в рудную зону достаточно глубоко, т. е. значительно ниже «поверхностного слоя» (Сауков, 1966), обедненного рудными элементами, и поглощают ионы металлов непосредственно из обогащенных нижних горизонтов зоны окисления.

Таким образом, оценивая эффективность применения металлотометрического и биогеохимического методов в охарактеризованных ландшафтно-геохимических условиях, можно отдать предпочтение биогеохимическому методу по следующим причинам.

1. Концентрация элементов в растениях значительно выше, чем в почвах, а следовательно,

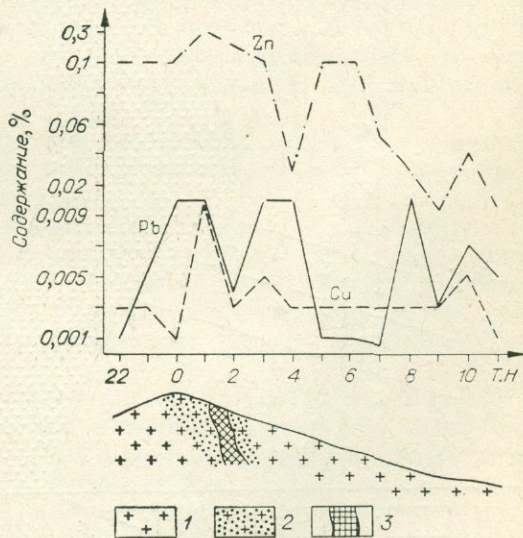


Рис. 27. Распределение меди, цинка и свинца в растениях по профилю I.

1 — биотитовые гранодиориты; 2 — окварцованные биотитовые гранодиориты (первичный ореол рассеяния); 3 — рудное тело.

и контрастность аномалий, выделенных по растениям, более резкая.

2. Биогеохимические аномалии четко отражают положение рудных тел под элювиально-делювиальными отложениями, чем металлометрические. Величина смещения биогеохимических аномалий вниз по склону относительно выхода рудного тела на 40—50 м меньше величины смещения металлометрической аномалии (см. рис. 24 и 27).

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА КАССИТЕРИТО-СТАННИНО-СУЛЬФИДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Общие сведения

Месторождение находится на западном склоне хр. Сихотэ-Алинь. Абсолютные высоты местности в районе месторождения колеблются от 550 до 800 м, относительные превышения — 250—300 м. Участок опробования расположен на склоне восточной экспозиции крутизной до 25—35°. Территория подвержена влиянию муссонного климата с годовыми осадками от 650 до 740 мм, с максимумом их в июне — сентябре.

Рудовмещающими породами являются нижнемеловые осадки — песчаники, алевролиты и сланцы. Рудные тела (жилы) локализованы в трещинах северо-западного простирания. По вещественному составу месторождение относится к касситерито-сульфидно-силикатной формации со станнином (Материкив, 1960; Павловский, 1966).

Биогеохимические исследования выполнены по жиле Южной мощностью от 7—15 см до 1,35 м. Первичные минералы руд (%): касситерит 1,9—2,0; станнин — 0,3—0,5; сфалерит — 1,5—1,7; халькопирит — 8,0; пирит — 0,6; марказит — 1,5; блеклая руда — 0,08; арсенопирит — 2,7—

3,0; галенит — 0,4; пирротин — единичные знаки. Из гипергенных минералов отмечены лимонит, скородит, церуссит, халькозин и ковеллин.

Спектральный анализ руд жилы Южной показал, что олово, медь, цинк и мышьяк содержатся в целых процентах; свинец, титан, марганец — в десятых долях процента; сурьма, вольфрам, галлий, никель и др. содержатся сотых и тысячных долях процента.

Поверхностные и подземные воды в районе месторождения содержат все основные элементы оруденения в сотых и десятых долях процента.

В пределах жилы Южной было заложено пять профилей, один из которых проходил по простиранию жилы, а четыре остальные — вкрест простирания через 40 м (рис. 28).

Согласно типологии М. А. Глазовской (1964), учас-

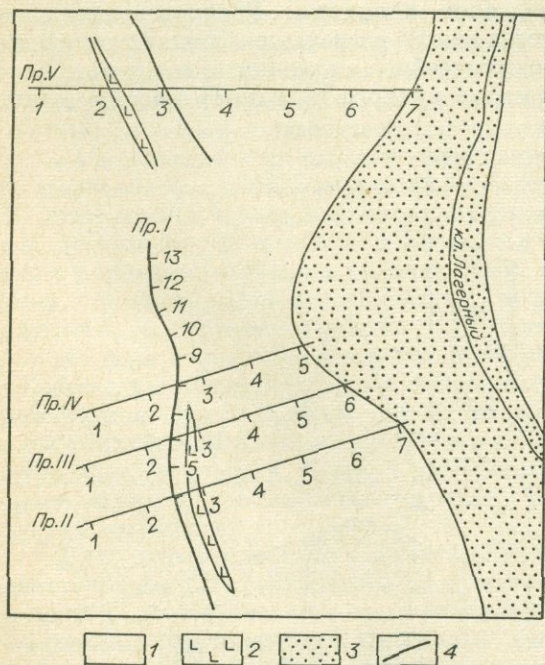


Рис. 28. Геологический план и схема расположения профилей биогеохимического опробования на участке касситерито-станнино-сульфидного месторождения.

1 — алевролиты-песчаники; 2 — дайки порфиринов; 3 — аллювий; 4 — рудные жилы.

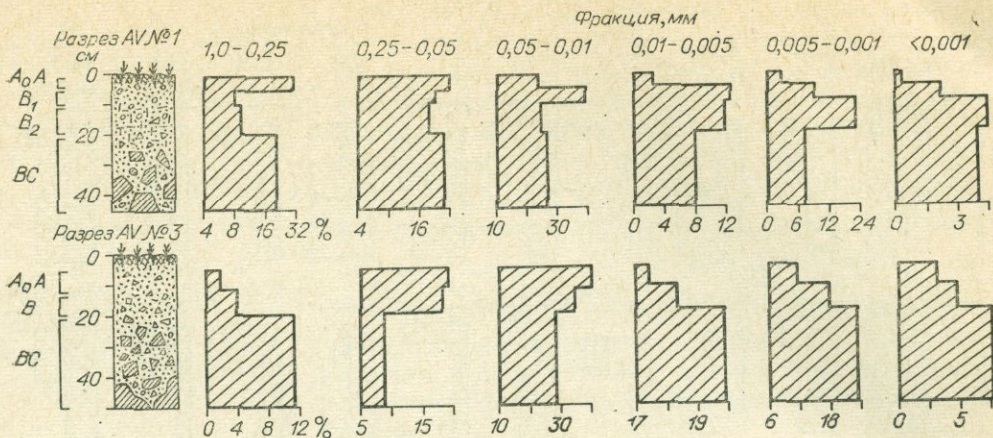


Рис. 29. Механический состав мелкозема бурых горно-лесных почв.

ток биогеохимического опробования расположен в пределах трансэлювиальной части местного геохимического ландшафта.

Месторождение находится в средней подзоне зоны смешанных хвойно-лирокоиственных лесов (Колесников, 1961). На площади месторождения развиты бурые горно-лесные почвы, сформированные на алевролитах и песчаниках.

В целом почвенный покров на участке биогеохимических исследований характеризуется незначительной мощностью, не превышающей 60—70 см, что обусловлено крутыми склонами сопки, где заложены почвенные разрезы. Почвенный профиль слабо дифференцирован. В верхней части его, как правило, развит сильно гумусированный рыхлый горизонт мощностью до 7—10 см, переполненный корнями растений. Под ним лежит более плотный комковатый щебнистый иллювиальный горизонт, содержащий также корни растений. В нижней части почвенных разрезов имеются крупные обломки сильно выветрелых алевролитопесчаников, крошащихся при ударе молотом и даже режущихся ножом. Ороговикованные разновидности алевролитопесчаников менее выветрелые. Мелкозем нижних горизонтов почвенных разрезов, по существу, заполняет пространство между крупными обломками пород и по отношению к ним находится в меньшем количестве.

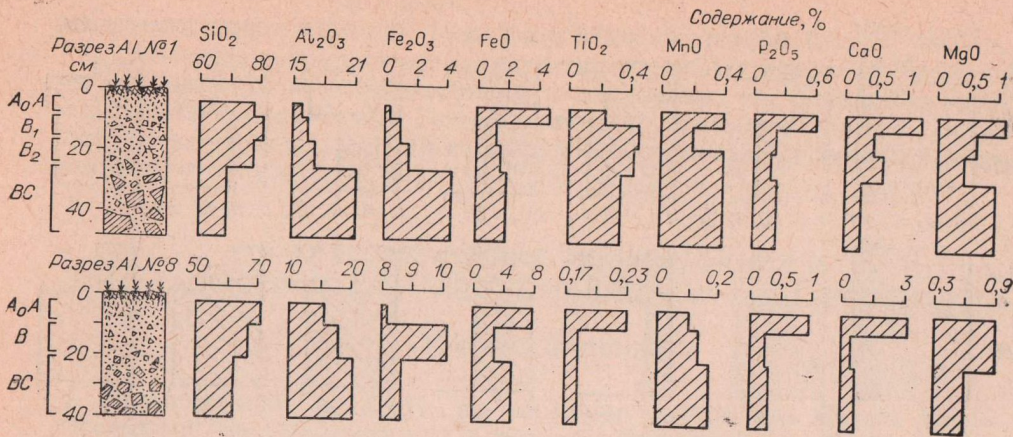
По механическому составу почвы относятся в основном к тяжелым суглинкам. Наибольшее содержание илистых и глинистых частиц приурочено к нижним горизонтам (рис. 29).

По данным валового химического состава (рис. 30) характерно накопление кремнезема в верхних горизонтах, в то время как полторные окислы алюминия и железа преимущественно накапливаются в нижних горизонтах. Окислы элементов-органогенов — марганца, фосфора, кальция, магния и др. обнаруживают тенденцию накопления в верхних горизонтах описываемых почв.

По химическим свойствам почвы кислые, pH (водной вытяжки) от 4,05 до 5,50, с относительно высоким содержанием гумуса, насыщенные. Подвижные гидроокислы железа, алюминия и кремнезема преимущественно накапливаются в нижних горизонтах (рис. 31).

В целом по механическому и валовому химическому составам, а также химическим свойствам характеризуемые почвы аналогичны зональному типу бурых горно-лесных почв Дальнего Востока.

Минералогическое изучение почв по шлихам из генетических горизонтов В и ВС показало, что общей особенностью минералогического состава их является преобладающее повсеместное присутствие лимонита во всех

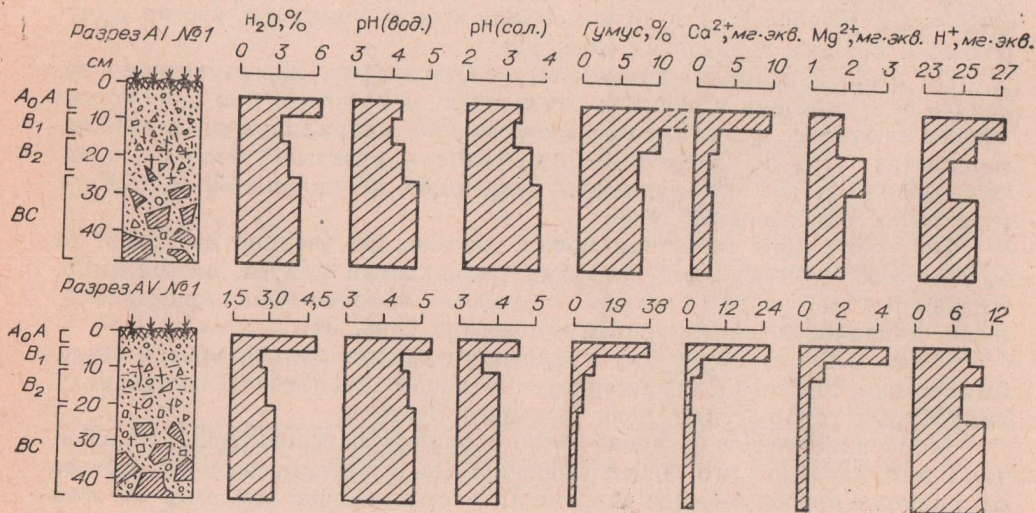


генетических горизонтах по сравнению с другими минералами, а также эпидота. Остальные минералы, в том числе и касситерит, имеют подчиненное значение. Наибольший выход шлиха отмечен для горизонта BC. Кроме указанных минералов, в шлихах еще обнаружены магнетит, клиноцоизит, хлорит, турмалин, группа амфибола, циркон, рутил, анатаз, лейкоксен, апатит, сфен, псиломелан. Из легких установлены биотит, мусковит, кварц, полевой шпат.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что все легкие и тяжелые минералы, содержащиеся в шлихах, в основном устойчивые. Неустойчивые минералы в почвах в данных ландшафтно-климатических условиях нацело разрушены процессами выветривания. К таким минералам прежде всего относятся сульфиды—станнин, сфалерит, халькопирит, марказит, арсенопирит, пирротин, халькозин и ковеллин, которые в почвах не обнаружены, но в первичных рудах, как указывалось выше, содержатся в достаточном количестве.

Кроме того, некоторые минералы, отмеченные в изученных шлихах, были подвергнуты интенсивным процессам выветривания. Так, пирит почти полностью превращен в псевдоморфозы лимонита; магнетит в значительной степени мартитизирован и некоторые зерна даже полностью превращены в мартит; мусковит затронут процессами гидратации.

Глинистые частицы генетических горизонтов разрезов AI № 1, AV



SO₃ П.п.п. SiO₂:R₂O₃

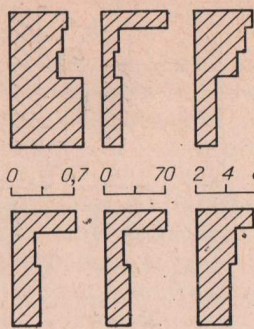


Рис. 30. Валовой химический состав мелкозема.

№ 1 и AV № 7 подвергались термическому и рентгеноструктурному анализу. На основании дифференциальных кривых нагревания и дифрактограмм установлено, что основными глинистыми минералами являются гидрослюда (межплоскостное расстояние $d=5,0; 10,0 \text{ \AA}$), монтмориллонит ($d=4,56; 4,55 \text{ \AA}$) и незначительная примесь каолинита ($d=3,58; 7,2 \text{ \AA}$). В некоторых образцах появляются размытые отражения с $d = 15 \text{ \AA}$, которые предположительно можно отнести к смешанным образованиям монтмориллонита и гидрослюда.

Таким образом, в целом вещественный состав изученных бурых горно-лесных почв указывает на то, что в данных ландшафтных условиях идут интенсивные процессы выветривания первичных пород и минералов.

Геохимия бурых горно-лесных почв

Для изучения геохимических особенностей почв по профилям было заложено 38 почвенных разрезов и по генетическим горизонтам отобрано 128 образцов: в горизонте A₀A — 36 проб, в горизонте В — 44, в горизонте ВС — 37 и в горизонте С (сильно выветрелые коренные породы) — 11 проб. Образцы проб подвергали спектральному анализу на основные элементы оруденения — олово, медь, цинк, свинец, серебро и др.

Кратко остановимся на характеристике распределения содержания микроэлементов по генетическим горизонтам изученных почвенных разрезов.

Олово — главный химический элемент как месторождения, так и почв, сформированных на нем. Местный геохимический фон его в целом по почвам, а также в горизонтах A₀A и В одинаков и равен 0,001%, т. е. не превышает кларк в почвах, и лишь в горизонте ВС величина его составляет 0,002%. Минимальное содержание олова в почвах <0,001%, опускается до 0,0002%, т. е. значительно меньше местного геохимического фона.

Максимальное содержание по генетическим горизонтам распределяется следующим образом (%): в горизонте A₀A — 0,005; в горизонте В — 0,01; в горизонте ВС — 0,03, что соответственно в 5,10 и 30 раз выше кларка в почвах. В горизонте С (коренные сильно выветрелые рудовмещающие алевролитопесчаники) содержание олова достигает 0,006%, т. е. в 6 раз больше кларка. Таким образом, для этого элемента наблюдается четкая закономерность постепенного увеличения содержания от верхнего горизонта A₀A к нижележащим горизонтам В и ВС. Максимальное накопление олова отмечается в горизонте ВС во всех изученных разрезах, что достаточно наглядно видно из

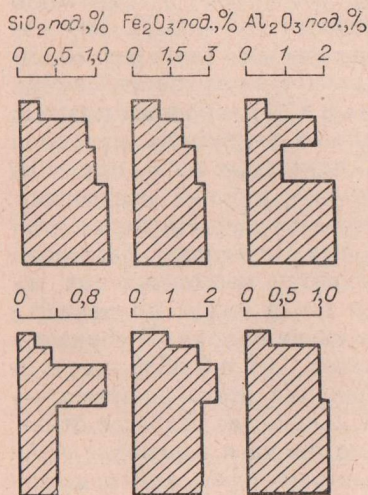


Рис. 31. Химические свойства мелкозема бурых горно-лесных почв.

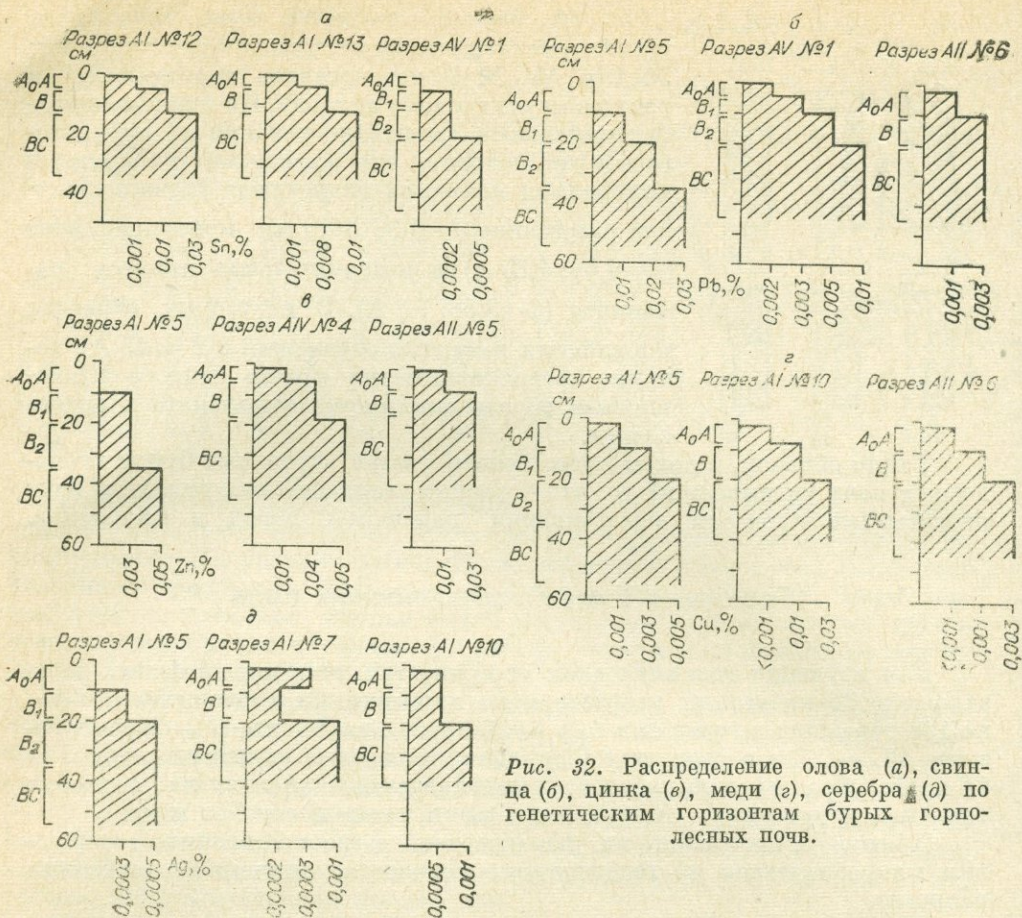


Рис. 32. Распределение олова (а), свинца (б), цинка (в), меди (г), серебра (д) по генетическим горизонтам бурых горшолесных почв.

диаграмм распределения этого элемента по генетическим горизонтам почвенных разрезов (рис. 32, а).

Свинец относится также к основным элементам почв. Местный геохимический фон его в целом по почвам, а также в горизонтах В и ВС равен 0,01%, что в 10 раз выше кларка. В горизонте А₀А этот фон свинца не превышает кларк, т. е. равен 0,001%. Аномальные содержания свинца по генетическим горизонтам распределены так (%): в горизонте А₀А — 0,001; в горизонте В — 0,003 и в горизонте ВС — 0,06, что соответственно в 1, 3 и 6 раз больше местного геохимического фона и в 10, 30 и 60 раз выше кларка. В горизонте С максимальное содержание свинца достигает 0,02%. Это только в 2 раза больше фона и в 20 раз больше кларка. Следовательно, свинец, как и олово, обнаруживает тенденцию накапливаться в наибольшем количестве в горизонте ВС изученных почв, при этом содержание от верхней части почвенных разрезов к нижней постепенно увеличивается. На рис. 32, б изображены диаграммы распределения этого элемента по генетическим горизонтам некоторых почвенных разрезов.

Цинк — один из главных химических элементов месторождения и, естественно, почв. Местный геохимический фон его в целом по почвам, а также в горизонте В равен 0,03%, что в 6 раз выше кларка. В горизонтах А₀А и ВС фон цинка соответственно составляет 0,01 и 0,02%, что в 2 и 4 раза больше кларка. Минимальное содержание этого элемента — 0,01% (что, однако, в 2 раза больше кларка) в большинстве разрезов отмечается в горизонте В. Максимальное содержание цинка в горизонте А₀А равно 0,03%, т. е. не превышает местного геохимического фона, а в горизонте В и С составляет по 0,04%, в ВС — 0,05%, что соответственно в 8 и 10

раз больше кларка, т. е. цинк в максимальном количестве накапливается в горизонте ВС. Диаграммы распределения содержания цинка по генетическим горизонтам почв (рис. 32, *в*) указывают на накопление его в горизонте ВС.

Медь среди сульфидных элементов наиболее широко распространена в описываемых почвах, характеризуясь 100%-ной встречаемостью во всех генетических горизонтах почв. Местный геохимический фон этого элемента в целом по почвам и в горизонте $A_0A < 0,001\%$, а в горизонтах В и ВС — $0,001\%$, что в 2 раза ниже кларка. Минимальное содержание меди, равное $0,001\%$, в большинстве разрезов отмечается в горизонте A_0A . Максимальное содержание по генетическим горизонтам распределено следующим образом (%): в горизонте A_0A — $0,01$; в горизонтах В и ВС — $0,03$; в горизонте С — $0,2$, что соответственно в 5,15 и 100 раз больше кларка. Таким образом, для этого элемента также наблюдается постепенное увеличение содержания от верхнего горизонта A_0A к нижнему ВС, что хорошо подтверждается диаграммами (рис. 32, *з*).

Серебро — достаточно широко распространенный элемент в описываемых почвах. Местный геохимический фон его в целом по почвам, а также во всех генетических горизонтах одинаков и равен $0,0001\%$, что в 2 раза выше кларка. Максимальные содержания серебра по генетическим горизонтам распределены так (%): в горизонте A_0A — $0,001\%$, в горизонтах В и ВС — $0,003\%$, что в 10 и 30 раз больше местного фона и в 20 и 60 раз выше кларка. Наибольшее содержание серебра в горизонте С не превышает фон. Однако, несмотря на одинаковую величину аномального содержания серебра в горизонтах В и ВС, все же этот элемент, судя по разрезам и пробам с указанным содержанием, склонен накапливаться в горизонте ВС. Это видно из распределения серебра по генетическим горизонтам (рис. 32, *д*).

Таким образом, основные микроэлементы, обнаруженные в бурых горно-лесных почвах на данном оловорудном месторождении, накапливаются в горизонте ВС.

Анализ распределения содержания микроэлементов в почвенных разрезах по магистральным профилям вкrest простирания и по простиранию рудного тела свидетельствует о том, что наибольшее количество основных химических элементов в почвах отмечается над эпицентрами рудных залежей. Однако при этом литогеохимическая аномалия смещается вниз по склону относительно выхода рудного тела на поверхность вследствие значительной крутизны склона сопки. Так, на рис. 33 показано распределение олова, свинца и серебра по профилю I, проложенному по простиранию зоны минерализации. Из рисунка видно, что над выходом рудного тела отмечаются максимальные содержания этих элементов, смещенные вниз по склону от выхода рудного тела до 80 м. Следует обратить внимание на то, что серебро является четким индикатором оловянного оруденения, так же как и другие сульфидные элементы — медь и цинк, распределение которых в почвенных разрезах по этому профилю изображено на рис. 34.

Эпицентры рудных тел фиксируются по повышенному содержанию химических элементов в почвах по профилю не только по простиранию, но и в профилях, заложенных вкrest простирания рудного тела. Например, на рис. 35 показаны графики распределения олова, меди и свинца в почвах по профилю II вкrest простирания рудного тела. Из рис. 35 хорошо видно, что рудное тело четко фиксируется пиками содержания указанных микроэлементов, но опять же со значительным (до 40 м) смещением литогеохимической аномалии вниз по склону сопки.

Таким образом, оловянная минерализация в данных ландшафтных условиях четко регистрируется по содержанию в почвах не только основного элемента — олова, но и меди, цинка, свинца, серебра.

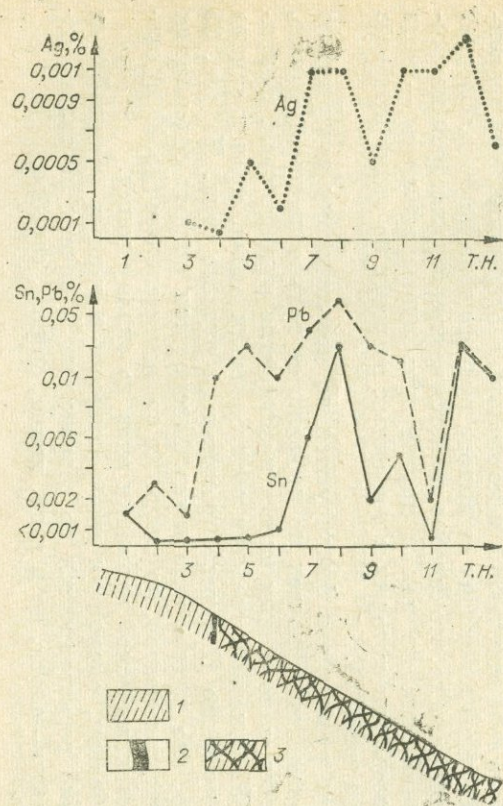


Рис. 33. Распределение олова, серебра, свинца в бурых горно-лесных почвах (горизонт ВС) по простиранию рудной зоны касситерито-станныно-сульфидного месторождения (профиль I).

1 — алевро-песчаники; 2 — рудная жила; 3 — зона минерализации.

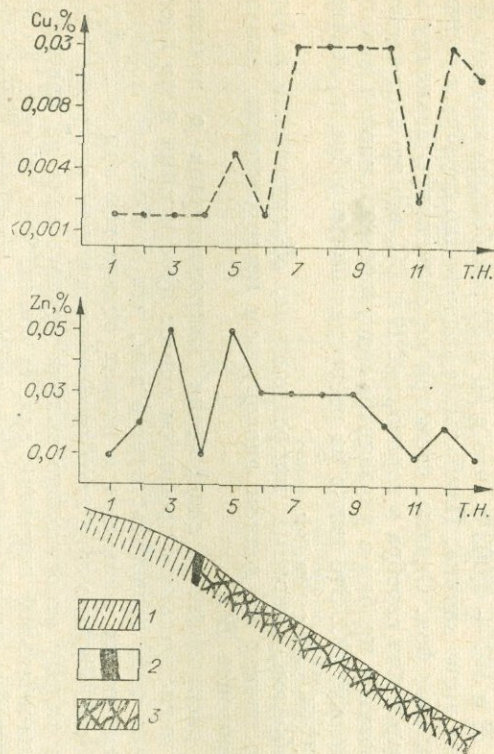


Рис. 34. Распределение меди и цинка в бурых горно-лесных почвах (горизонт ВС) по простиранию рудной зоны касситерито-станныно-сульфидного месторождения (профиль I).

1 — алевро-песчаники; 2 — рудная жила; 3 — зона минерализации.

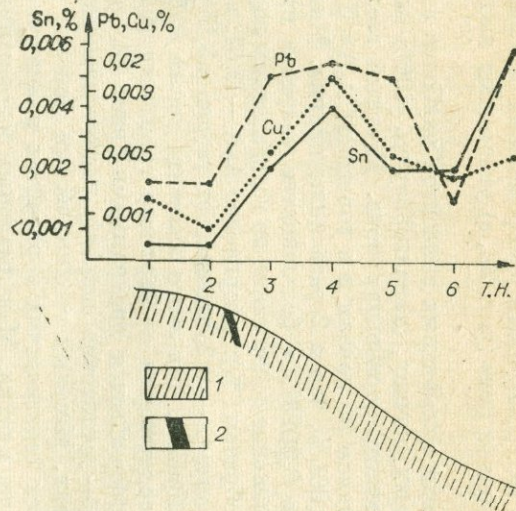


Рис. 35. Распределение олова, меди и свинца в бурых горно-лесных почвах (горизонт ВС) вкост простирания рудной жилы касситерито-станныно-сульфидного месторождения (профиль II).

1 — алевро-песчаники; 2 — рудная жила.

С целью выяснения наибольшей контрастности литогеохимической аномалии относительно генетических горизонтов изученных почв были построены графики распределения олова по каждому генетическому горизонту почвенных разрезов профиля I, расположенного по простиранию рудного тела (рис. 36). Оказалось, что во всех почвенных разрезах олово в повышенном количестве содержится в горизонте ВС, поэтому все наибольшие пики на графике соответствуют максимальному содержанию олова в горизонте ВС почвенных разрезов, заложенных в пределах рудной зоны. Это говорит о том, что наиболее контрастные литогеохимические аномалии олова будут по генетическому горизонту ВС. Следовательно, этот горизонт самый оптимальный для отбора представительных металлотрических (литогеохимических) проб.

Для выяснения особенностей накопления химических элементов в почвах спектральному анализу подвергались следующие фракции мелкозема (мм) генетических горизонтов А₀А, В и ВС почвенных разрезов: 1,0—0,25; 0,25—0,05; 0,05—0,01; 0,01—0,005; 0,005—0,001; <0,001. В таблице 28 приведено распределение содержания олова по фракциям мелкозема генетических горизонтов разреза АI № 8, где четко видно, что в каждом генетическом горизонте идет увеличение концентрации олова от мелких фракций к крупным, при этом наибольшее содержание отмечается во фракции 1,0—0,25 мм (размер зерен касситерита) и наименьшее — в илистых и глинистых частицах. Во фракции мелкозема верхнего горизонта А₀А по сравнению с нижними горизонтами В и ВС олова значительно меньше, а в некоторых фракциях этого горизонта оно вообще не обнаружено, несмотря на высокую чувствительность спектрального анализа, достигающую 0,0001% на приборе ДФС-13. Для большей наглядности данные табл. 28 изображены в виде диаграммы (рис. 37, а), на которой отлично видно наибольшее количество олова во фракции 1,0—0,25 горизонтов В и ВС. В других фракциях меньшей размерности содержание этого элемента значительно ниже, особенно в илистых и глинистых частицах.

Распределение свинца по фракциям генетических горизонтов разреза АV № 6 (табл. 29) аналогично олову. Наиболее четко выражена связь этого элемента с крупными фракциями, особенно в горизонте ВС, что хорошо видно из рис. 37, б. Однако свинец здесь находится в безминеральной форме. Он сорбирован гидроокислами железа (лимонитом), которые в максимальном количестве (по результатам изучения шлихов) находятся в горизонте ВС.

Такое же распределение во фракциях имеют и другие элементы — медь, цинк и серебро. Однако в целом все основные химические элементы почв накапливаются в горизонте ВС. Отсюда можно сделать вывод о том,

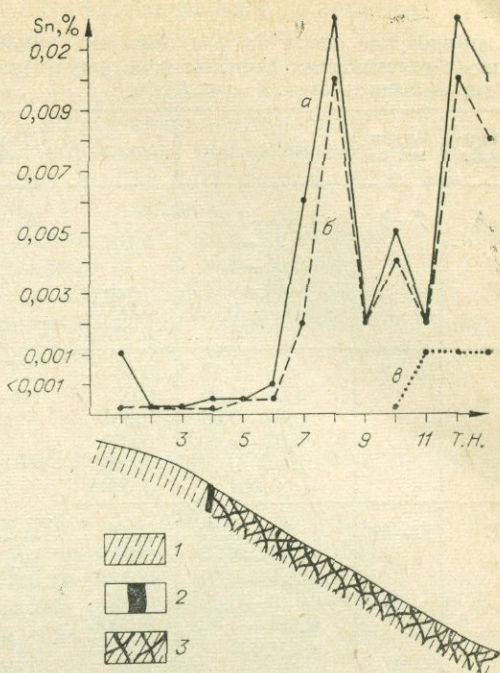


Рис. 36. Распределение олова по генетическим горизонтам по простиранию рудной зоны (профиль I).

1 — алевро-песчаники; 2 — рудная жила; 3 — зона минерализации. Кривые содержания: а — в горизонте ВС; б — в горизонте В; в — в горизонте А₀А.

Таблица 28

Распределение олова по фракциям мелкозема генетических горизонтов бурых горно-лесных почв. Разрез АI № 8

Горизонт	Глубина, см	Фракция, мм	Sn, %
A ₀ A	2—8	1,0—0,25	—
		0,25—0,05	0,002
		0,05—0,01	—
		0,01—0,005	—
		0,005—0,001	0,0005
B	15—20	1,0—0,25	0,03
		0,25—0,05	0,02
		0,05—0,01	0,001
		0,01—0,005	0,001
		0,005—0,001	0,0002
BC	30—40	1,0—0,25	0,03
		0,25—0,05	0,01
		0,05—0,01	0,001
		0,01—0,005	0,001
		0,005—0,001	0,0008
		<0,001	0,0005

Таблица 29

Распределение свинца по фракциям мелкозема генетических горизонтов бурых горно-лесных почв. Разрез AV № 6

Горизонт	Глубина, см	Фракция, мм	Pb, %
A ₀ A	1—3	1,0—0,25	—
		0,25—0,05	—
		0,05—0,01	0,002
		0,01—0,005	0,002
		0,005—0,001	0,002
B	6—15	1,0—0,25	0,01
		0,25—0,05	0,005
		0,05—0,01	0,003
		0,01—0,005	0,002
		0,005—0,001	0,003
BC	45—50	1,0—0,25	0,02
		0,25—0,05	0,005
		0,05—0,01	0,003
		0,01—0,005	0,003
		0,005—0,001	0,003
		<0,001	0,003

что повышенное содержание микроэлементов в изученных почвах обусловлено, с одной стороны, механическим рассеянием обломков минералов, с другой — сорбционной способностью глинистых частиц, гидроокислов

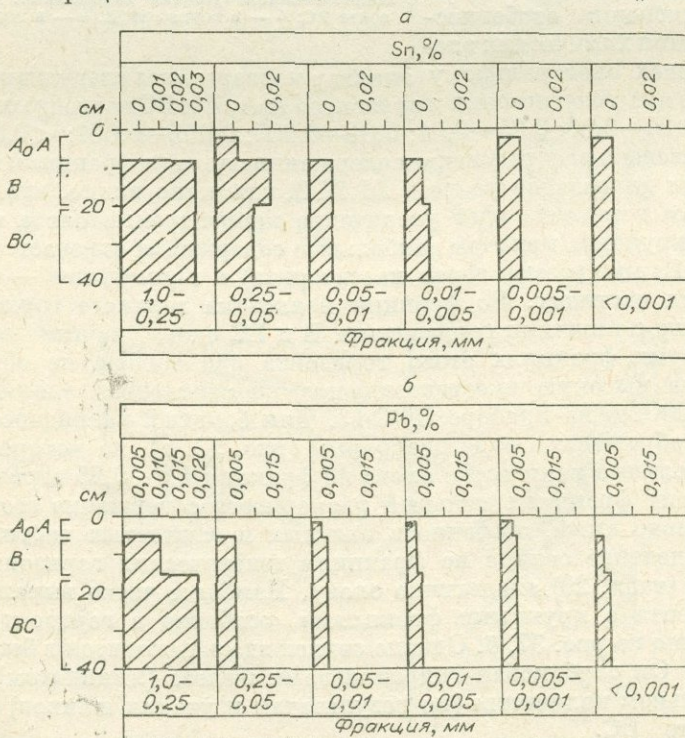


Рис. 37. Распределение олова (а) — разрез АI № 8 и свинца (б) — разрез AV № 6 по фракциям мелкозема генетических горизонтов бурых горно-лесных почв на касситерито-станино-сульфидном месторождении.

железа, алюминия и кремнезема. По-видимому, не исключена связь микроэлементов, в том числе и олова, с органическими коллоидами, а также с биогенным фактором — накоплением микроэлементов с опадом в верхней части почвенных разрезов, которые затем вследствие вертикальной миграции вещества поступают в нижележащие горизонты В и ВС. В частности, для олова роль биогенного фактора, вероятно, увеличивается в связи с наличием в первичных рудах, кроме касситерита, относительно более растворимого минерала олова — станнина.

Установление максимального накопления микроэлементов — олова, меди, цинка, свинца, серебра в горизонте ВС, т. е. на глубине 40—50 см, дает основание считать его наиболее оптимальным для отбора металлометрических проб при поисках оловорудных месторождений касситеритостаннино-сульфидного типа литогеохимическим методом в данных ландшафтных условиях.

Особенности содержания микроэлементов в растениях

Месторождение расположено в пределах средней подзоны зоны смешанных хвойно-широколиственных лесов (Колесников, 1961).

Лесная растительность на площади месторождения образует смешанный кедрово-елово-широколиственный двухъярусный лес. В первом ярусе преобладает кедр корейский, ель аянская, береза маньчжурская и реже липа амурская. Во втором ярусе обычна пихта белокорая, клен желтый и реже клен зеленокорый. Подлесок очень разрежен и представлен преимущественно рододендронам мелколистным; кроме того, здесь обычен подрост преимущественно хвойных пород. Травяной покров образован папоротниками, среди которых наиболее типичны кочедыжники (городчатый и игольчатый) и щитовники (Роберта и Линнея). Реже в травяном покрове встречается осока (уссурийская и мечевидная), клитония удская, кислица обыкновенная, майник двулистный. В моховом покрове преобладают зеленые мхи, особенно хилокомиум блестящий. В средней части склона подлесок обогащается новыми видами и становится более обильным. Здесь появляется лещина разнолистная, бузина сибирская, жимолости (горбатая и Максимовича), актинидия коломикта. Реже встречается чубушник тонколиственный, спирея березолистная, бересклет малоцветковый. Кочедыжники образуют сплошной покров. В нижней, наиболее увлажненной части склона, на богатых гумусом почвах появляются

Таблица 30

Фоновые и аномальные содержания элементов, %

Элемент	В почвах			В растениях		
	кларк по А. П. Виноградову	фоновое	аномальное	кларк по А. П. Виноградову	фоновое	аномальное
Co	0,001	Не обн.	Не обн.	0,0015	—	0,003
Ni	0,004	0,001	0,002	0,005	0,001— 0,001	0,2—0,3
Cu	0,002	0,001	0,03	0,02	0,003— 0,05	0,3
Zn	0,005	0,02	0,05	0,09	0,03—0,2	0,5—3
As	0,0005	Не обн.	Не обн.	0,00003	—	0,06
Y	—	»	»	—	—	0,003
Ag	0,00001	0,0001	0,003	0,0001	0,0001— 0,0003	0,003
Sn	0,001	0,002	0,03	0,0005	—	0,04
Pb	0,001	0,01	0,06	0,001	0,001— 0,003	0,1—0,2

Содержание элементов в органах растений,

Элемент	Лещина			Рододендрон			Кедр	
	листья	ветви	корни	листья	ветви	корни	хвоя	ветви
Ni	0,003	0,003	0,003	0,001	0,003	0,003	0,01	0,001
Mn	1,0—2,0	0,8	1,0	0,8	1,0—2,0	1,0	1,0	0,3
Pb	0,001	0,002	0,01	0,002	0,01	0,003	—	—
Zn	—	—	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	—
Cu	0,01	0,01	0,005	0,01	0,02	0,01	0,01	0,005
Ag	—	—	0,0003	—	—	—	—	—

ива Радде, лабазник дланевидный, какалия копьевидная, страусопер германский и осока ржавопятнистая. Отдельными экземплярами встречается элеутерококк колючий.

На месторождении было опробовано 8 видов древесных пород, 10 видов кустарников и 8 видов травянистых растений и мхов, т. е. всего 26 видов растений, что составило 730 проб. Помимо широко распространенных видов, таких, как кедр, пихта, ель, береза, актинидия и кочедыжник, опробованы и редко встречающиеся на данном участке, но в целом широко распространенные в зоне кедрово-широколиственных лесов — чубушник, элеутерококк, жимолость, спирея, лещина, бузина и др.

В золе проб растений, отобранных на месторождении, спектральным анализом установлены все основные микроэлементы, характерные для оруденения, т. е. свинец, цинк, олово, серебро, медь, а также другие, обычные для золы растения биогенные элементы — марганец, никель, кобальт.

Из обнаруженных элементов наибольшая (100%-ная) встречаемость характерна для меди — во всех видах растений и их органах. Встречаемость свинца и цинка также довольно высокая, свыше 50%, но особенностью свинца по сравнению с цинком является то, что он не обнаружен в листьях деревьев и кустарников, за исключением актинидии и лещины. Олово и серебро имеют встречаемость не выше 50% и в ряде растений — липе, клене зеленокором, чубушнике и др. — вообще не обнаружены. Наибольшая встречаемость олова отмечена в корнях спиреи (100%) и лещины (50%). При этом листовые виды (например, липа и все виды кленов) характеризуются меньшей встречаемостью в целом, чем хвойные породы. Зеленые мхи и осоки содержат большинство микроэлементов с наибольшей встречаемостью.

Фоновые и аномальные содержания микроэлементов в растениях в сравнении с почвами приведены в табл. 30, из которой следует, что аномальные содержания в растениях резко повышены, а значения фона у большинства элементов зоны минерализации в растениях ниже, чем в почвах. Следовательно, контрастность биогеохимических аномалий в растениях более резкая по сравнению с литогеохимическими аномалиями.

Установлена значительная разница в содержании элементов в растениях, отобранных из одного и того же пункта (табл. 31). Оказалось, что в корнях лещины свинца в 5—10 раз больше, чем в листьях и ветвях, а у рододендрона свинец накапливается в ветвях и его содержание здесь в 3—5 раз выше, чем в корнях и листьях. У кедра свинец накапливается в древесине, а у клена — в ветвях и коре.

С целью выяснения зависимости содержания элементов от возраста растений в одной и той же точке были отобраны пробы кедра, имеющие различный класс возраста (Ефимов, 1955). Выяснилось (табл. 32), что в молодняке кедра содержание никеля, марганца, меди и серебра выше,

отобранных с одной точки наблюдения, %

Кора	Древесина	Клен желтый				Клен мелколистный			
		листья	ветви	кора	древесина	листья	ветви	кора	древесина
0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,005	0,001	0,01	<0,001	0,005
0,3	0,2	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	0,7	1,0	1,0
—	0,002	—	0,002	0,001	—	0,002	—	0,001	0,01
—	—	—	0,05	—	—	0,05	—	—	0,08
0,005	0,01	0,006	0,006	0,005	0,01	0,01	0,01	0,005	0,05
—	0,0003	—	—	—	—	—	—	—	—

чем в органах зрелого кедра. Цинк, накапливающийся у молодняка в хвое и ветвях, у деревьев более зрелого возраста концентрируется в коре. Количество бария, стронция и свинца увеличивается, очевидно, с возрастом. Вероятно, в более старых по возрасту растениях накапливаются преимущественно те элементы, которые образуют в тканях растений труднорастворимые соединения. Те же элементы, которые входят в состав химически неустойчивых, подвижных соединений, могут, очевидно, в результате распада белков возвращаться с обратным током ионов из клеток в наружную среду (Сабинин, 1955).

Ниже остановимся на концентрации растениями основных элементов рудной зоны.

Олово обнаружено не во всех растениях участка опробования. Встречаемость его не превышает 20%, и лишь в лещине разнолистной она достигает 50%, что в целом значительно меньше, чем в почвах. В количестве 0,001—0,003% олово накапливается в хвое и древесине кедра, в хвое, коре и древесине пихты, в ветвях и коре ели, в ветвях березы, в древесине клена желтого, в листьях, ветвях и корнях лещины, в ветвях рододендрона, в корнях спиреи, в ветвях чубушника (табл. 33). Из растений травяного покрова этот элемент обнаружен в страусопере. Накопление олова, равное 0,01—0,3% и достигающее почвенных аномалий, отмечено в хвое и древесине ели, в листьях и древесине березы, в листьях клена желтого и в корнях чубушника. Наибольшие концентрации обнаружены в золе мхов—0,04%; такое количество максимально как для почв, так и для растений участка. Степень концентрации олова в золе мхов в 5—20 раз выше фонового в почвах и более чем в 40 раз выше фона в растениях. Как видно из графиков распределения олова в почвах и растениях по простира-

Таблица 32

Содержание элементов в различных органах кедра в зависимости от возраста, %

Класс возраста	Часть растения	Элемент							
		Ni	Mn	Zn	Cu	Ba	Sr	Ag	Pb
I	Хвоя . . .	0,008	0,5	0,2	0,02	—	—	—	—
	Ветви . . .	0,008	0,2	0,3	0,02	0,01	<0,01	—	—
	Кора . . .	0,002	0,3	—	0,01	—	—	—	—
	Древесина	0,03	0,2	—	0,03	—	—	0,0001	—
VI	Хвоя . . .	0,003	0,1	—	0,01	0,01	0,1	—	—
	Ветви . . .	0,003	0,1	0,3	0,01	0,03	0,2	—	0,001
	Кора . . .	0,002	0,2	0,03	0,003	0,05	0,2	—	0,001
	Древесина	0,002	0,1	—	0,01	0,01	0,03	—	—

Содержание олова в наиболее распространенных растениях

Растение	Орган	Sn, % (верхний предел)	Растение	Орган	Sn, % (верхний предел)
Кедр корейский	Хвоя	0,03	Липа амурская	Древесина	0,001
	Древесина	0,01		Лещина разнолистная	Листья
Пихта белокорая	Хвоя	0,001	Стебель		0,003
	Древесина	0,003	Корни		0,003
	Кора	0,003	Чубушник тонколистный	Стебель	0,004
Ель аянская	Хвоя	0,03		Корни	0,01
	Ветви	0,003		Корни	0,003
	Древесина	0,01	Спирея средняя	Корни	0,003
Кора	0,001	Рододендрон мелколистный			
Береза ребристая	Листья		0,03	Листья	0,001
	Ветви		0,002	Побеги	0,001
	Древесина	0,03	Страусопер германский	Корни	0,002
Клен желтый	Кора	0,001			
	Листья	0,03			
	Древесина	0,003			

нию рудной зоны (профиль I), олово в почвах и растениях образует четкие аномалии (рис. 38).

Обращает на себя внимание резко контрастная аномалия олова в растениях на профиле V (рис. 39) при довольно незначительном (не более 0,0005%) содержании олова в почвах. Однако на этом участке в пределах профиля V отмечается наиболее высокая концентрация олова в первичных рудах, причем большая часть его представлена стanniном, особенно в приповерхностных горизонтах. Как известно, окисление станина в зоне гипергенеза происходит с образованием сульфата, который быстро гидролизуется с образованием гидроокиси $\text{Sn}(\text{OH})_4$ (Вишневский, 1959). Гидроокись олова представляет собой коллоид, способствующий миграции олова. О том, что растворение минералов олова в описываемых условиях происходит достаточно интенсивно, свидетельствует содержание этого металла в сухих остатках рудничных (до 0,06%) и поверхностных (до 0,001%) вод в районе месторождения. Таким образом, можно предположить, что основным источником олова для растений являются водные растворы этого металла в почвогрунтах на площади месторождения. Там, где в рудах преобладает станин как более растворимый минерал олова, в почвогрунтах имеется больше доступного для растений этого металла и меньшее содержание его в почвах вследствие выноса. На участках, где преобладает менее растворимый касситерит, количество олова в почвах больше за счет обломков этого минерала, но меньше такового, доступного для растений. Поэтому биогеохимические аномалии этого элемента не превышают литогеохимические и даже меньше их. Этим и

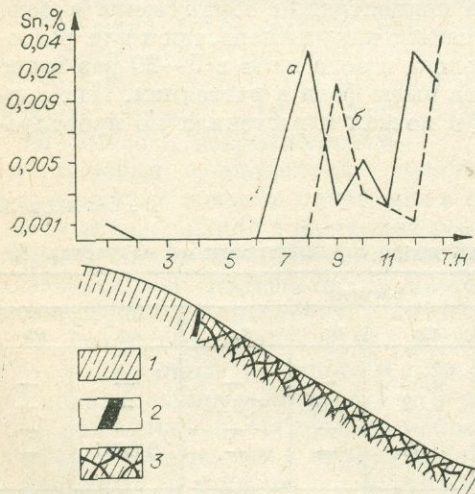


Рис. 38. Распределение олова в почвах (а) и растениях (б) по профилю I.

1 — алевро-песчаники; 2 — рудная жила; 3 — зона минерализации.

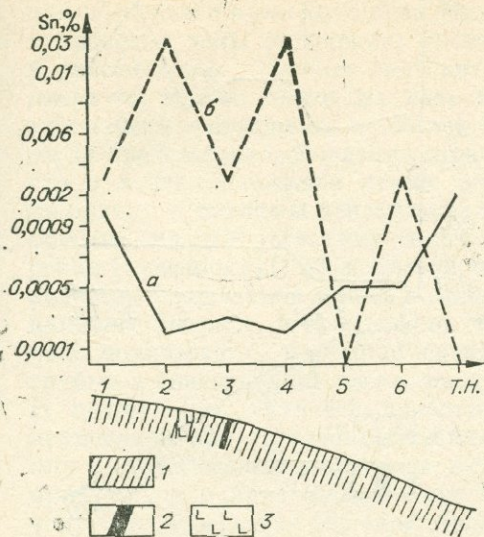


Рис. 39. Распределение олова в почвах (а) и растениях (б) по профилю V.
1 — алевро-песчаники; 2 — дайки порфири-
тов; 3 — рудная жила.

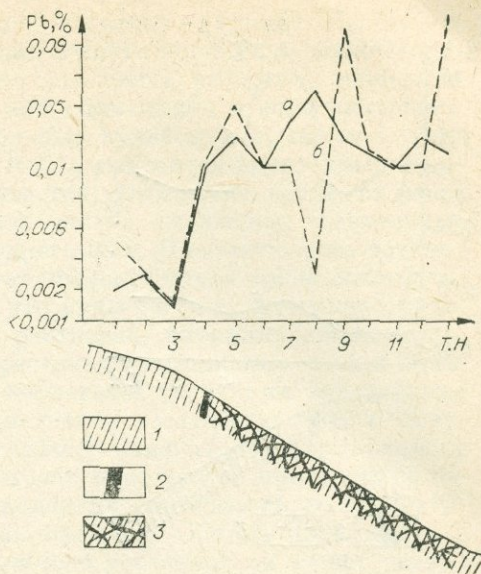


Рис. 40. Распределение свинца в почвах (а) и растениях (б) по профилю I.
1 — алевро-песчаники; 2 — рудная жила; 3 —
зона минерализации.

объясняется тот факт, что по профилю V (см. рис. 39) наблюдается резкая биогеохимическая аномалия олова по сравнению с профилем I (см. рис. 38). В частности, профиль V пересекает рудную зону в наиболее повышенной в рельефе, а следовательно, и меньше эродированной части зоны. В верхней части зоны окисления преобладает станнин, в составе которого олово более подвижно, широко мигрирует в водных растворах, вследствие чего и происходит обеднение этих металлов почв и этой части зоны. Поэтому содержание олова в почвах здесь невысокое. Однако растения, проникая своими корнями в более глубокие части зоны, поглощают олово, образуя контрастные биогеохимические аномалии.

Свинец обнаружен во всех растениях участка опробования. Процент встречаемости его колеблется от 23% в золе листьев березы и до 100% в золе осок. Наиболее низкая встречаемость характерна для папоротников, она не превышает 11%. Интересно отметить, что, как указывалось выше, в листьях широколиственных пород деревьев свинец не обнаружен. Фоновые содержания его составляют в большинстве проб 0,001% и лишь в органах отдельных видов достигают 0,003%. Таким образом, фон свинца в растениях ниже, чем в почвах, в 3—10 раз.

У древесных пород свинец накапливается в ветвях и древесине, а у кустарников — в корнях. В количествах, превышающих в 2 раза и более фоновые содержания, он обнаружен во всех органах пихты, в хвое, ветвях и коре ели, в ветвях и древесине березы, в ветвях и древесине клена желтого, в древесине липы и клена мелколистного, в ветвях ивы, в корнях лещины, в ветвях и корнях рододендрона, в ветвях спирей, в корнях чубушника, в ветвях актинидии и в осоке уссурийской. В максимальной для участка концентрации, достигающей 0,1—0,2%, свинец накапливают корни спирей и мхи. Степень концентрации этого элемента в них в 10—20 раз выше фона в почвах, в 30—200 раз в растениях и более чем в 3 раза выше максимально аномальных содержаний в почвах. В рудах свинец представлен галенитом, одним из основных минералов рудной зоны. Как известно, галенит в водно-воздушной среде довольно быстро окисляется и в конечном итоге замещается церусситом, минералом довольно устой-

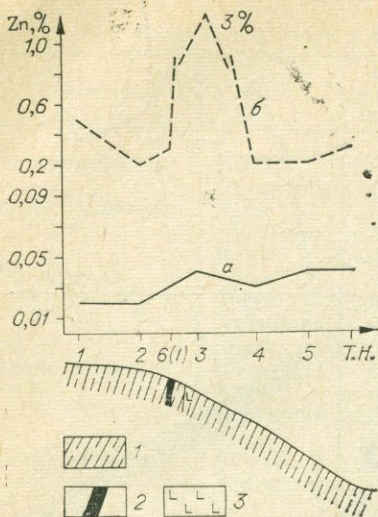


Рис. 41. Распределение цинка в почвах (а) и растениях (б) по профилю III.

1 — алевро-песчаники; 2 — рудная жила; 3 — дайка порфириров.

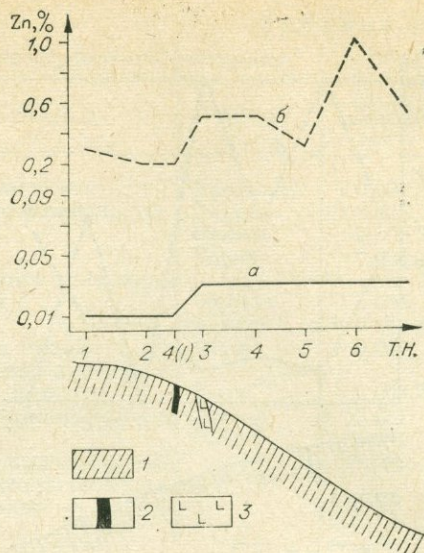


Рис. 42. Распределение цинка в почвах (а) и растениях (б) по профилю II. Усл. обозн. см. на рис. 41. В т. п. 6 возникает «ложная» биогеохимическая аномалия.

чивым и широко распространенным в зоне окисления месторождения. При замещении галенита церусситом в водные растворы переходит, очевидно, достаточное количество свинца, так как в рудничных водах содержание его достигает 0,1%, а в поверхностных 0,03%.

В почвах и растениях образуются довольно контрастные аномалии свинца над рудными телами или иногда смещенные относительно рудных тел (рис. 40). Величина смещения литогеохимических и биогенных аномалий не превышает 20 м. Таким образом, свинец является прекрасным биогеохимическим индикатором и обнаружение его в растениях служит прямым указанием на наличие в подстилающих породах галенитового оруденения, в данном случае совместно с касситеритом и стanniном.

Цинк обнаружен во всех растениях участка опробования. Встречаемость его в среднем составляет 50—60% и равна таковой в почвах. Фоновые содержания в различных видах и органах растений колеблются в широких пределах и составляют 0,03—0,2%, что в 15—10 раз выше фона в почвах. В повышенных количествах (в 3 раза и более превышающих фоновые) цинк накапливается в коре пихты и ели, в ветвях и коре березы, в древесине липы, в листьях рододендрона, в ветвях актинидии и в золе кочедыжника. В деревьях и кустарниках цинка содержится больше, чем в травах и мхах. Максимально аномальные для участка концентрации цинка (1—3%) обнаружены в хвое ели, в ветвях клена желтого, в коре липы, в ветвях спиреи и корнях рододендрона. Степень концентрации цинка в них в 5—30 раз выше фона в растениях. График распределения цинка в растениях и почвах (рис. 41) свидетельствует о том, что биогенные аномалии резко контрастны по сравнению с почвенными и отлично показывают положение рудных тел. Основным минералом рудной зоны, содержащим цинк, является сфалерит, пользующийся в рудах широким распространением. Сфалерит по всем экспериментальным данным и по полевым наблюдениям относится к числу наиболее легко окисляемых сульфидов (Смирнов, 1955). В зоне гипергенеза сфалерит быстро окисляется с образованием сульфата цинка, который обладает высокой растворимостью даже в обстановке, близкой к нейтральной. В этом отношении

цинк резко отличается от своего обычного спутника — свинца. Насколько для последнего ярко выражена тенденция к почти полному задерживанию в пределах зоны окисления, настолько для цинка выражена тенденция к рассеиванию. Большое значение в миграции цинка в зоне окисления имеет то, что он почти не дает вторичных сульфидов и, попав в зону вторичного обогащения, не остается в ней, а выносится грунтовыми водами за пределы месторождения и рассеивается. Этим объясняется тот факт, что в почвах аномалии цинка нечеткие, слабо выражены, «размазаны» по склону и смещены относительно рудного тела. В нашем случае возникновение четких биогеохимических аномалий над рудной зоной месторождения (профиль III) объясняется тем, что руды здесь существенно сфалеритовые, содержание цинка в водных растворах, циркулирующих здесь, наиболее высокое, и естественно, что растения накапливают цинк в больших количествах, проникая своими корневыми системами значительно глубже выщелоченной части зоны окисления, а следовательно, и почв. В целом цинк является довольно слабым индикатором сульфидного оруденения при литогеохимических методах поисков, но при использовании биогеохимического метода индикационная способность его в благоприятных условиях может быть очень высокой. Однако надо иметь в виду, что вследствие высокой биогенности в растениях он может указывать на ложные биогеохимические аномалии, особенно при низких содержаниях его в зоне минерализации. Примером такой «ложной» биогеохимической аномалии может служить аномалия, изображенная на рис. 42, фиксирующая разгрузку грунтовых вод, содержащих цинк, в нижней части склона.

Медь обнаружена во всех растениях участка со 100%-ной встречаемостью. Фоновые содержания ее колеблются в широких пределах и составляют 0,003—0,01%, а в древесине ели даже 0,05%. Повышенные содержания меди, превышающие фоновые в 3 раза и более, обнаружены в подавляющем большинстве видов растений. Этот элемент концентрируется в основном в ветвях и древесине деревьев и в корнях кустарников; в хвое и листьях древесных пород его обычно меньше. Наиболее низкие количества отмечаются в страусопере, осоках и клитонии. В максимальных для участка концентрациях, достигающих 0,1—0,3%, медь накапливается в хвойных породах, в березе, клене желтом, липе, рододендроне, во мхах и кочедыжнике. Степень концентрации меди в золе этих растений-концентраторов в 3—10 раз выше почвенных. Совмещенный график содержания меди в почвах и растениях по профилю I (рис. 43) показывает, что аномалии в растениях более контрастны, чем в почвах. Медь в рудах представлена халькопиритом и блеклыми рудами. В зоне окисления эти гипогенные минералы замещаются халькозином, ковеллином, халькантитом и самородной медью. При дальнейшем окислении конечным продуктом является прекрасно растворимый в водах сульфат меди, и этот элемент приобретает большую подвижность. Накопление меди в почвах связано, очевидно, с адсорбцией ее высокодисперсными веществами, в первую очередь глинистыми продуктами выветривания, лимонитом, гидроокислами железа, марганца и т. д. Таким образом, медь фиксируется в почвах, давая контрастные ореолы, причем в ряде случаев контрастность их выше растительных. Сорбированная медь становится недоступной для растений, и они поглощают ее, вероятно, из обедненных водных растворов, поэтому аномалии меди в растениях иногда слабо контрастны. Несмотря на то, что часть меди теряется на сорбцию, растворы еще достаточно богаты этим элементом. Так, содержание меди в ручье, протекающем в пределах зоны оруденения, составляет 0,006—0,01%, а в рудничных водах на глубине 80—100 м увеличивается до 0,1%. Относительно слабая контрастность аномалий по меди в растениях, например, по сравнению со свинцом зависит в первую очередь, несомненно, от того, что медь является одним из важнейших биогенных элементов, необходимых для жизнедеятельности

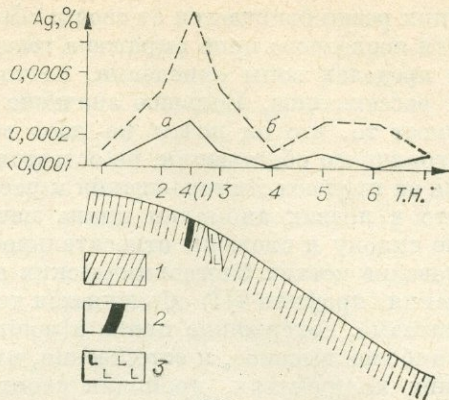
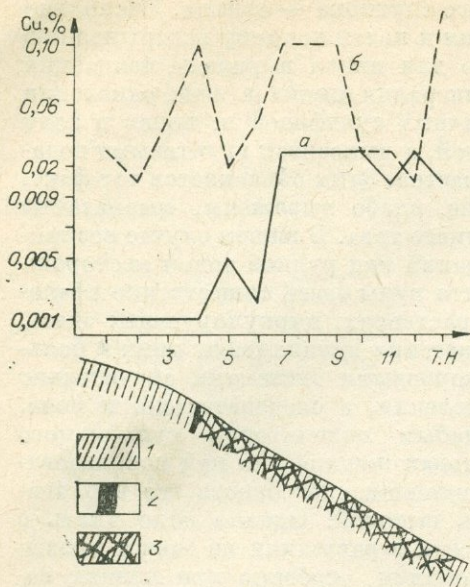


Рис. 44. Распределение серебра в почвах (а) и растениях (б) по профилю II. 1 — алевро-песчаники; 2 — рудная жила; 3 — дайка порфириров.

Рис. 43. Распределение меди в почвах (а) и растениях (б) по профилю I. 1 — алевро-песчаники; 2 — рудная жила; 3 — зона минерализации.

растений. Последние накапливают ее в необходимых им количествах даже на породах, бедных медью. Поэтому в ряде случаев возможны и «ложные» биогеохимические аномалии, например, в местах разгрузки рудничных вод.

Серебро обнаружено не во всех видах растений. Наиболее часто отмечается в древесине хвойных пород, где его встречаемость достигает 60—70%. Интересно отметить, что оно не обнаружено в органах широколиственных пород деревьев и в хвое. Серебро концентрируется в древесине кедра и пихты, в коре и древесине ели, в корнях рододендрона и спиреи и в золе мхов. Совершенно не обнаружено оно в страусопере, вейнике, иван-чае и клитонии. Фоновые содержания составляют 0,0001—0,0003%, причем в древесине пихты даже 0,001%. Максимальные концентрации достигают 0,003% и равны почвенным. Совмещенный график содержания серебра в почвах и растениях (рис. 44) по профилю II свидетельствует о том, что аномалии в почвах и растениях в большинстве случаев совпадают и являются надрудными. По содержанию серебра в растениях, как правило, отмечается два пика: один надрудный или несколько смещенный, а другой — в нижней части склона, связанный, вероятно, с участком вторичного обогащения. В первичных рудах месторождения серебро представлено аргентитом, самородным серебром и серебросодержащим галенитом. В водно-воздушных условиях все эти минералы слабо растворимы, но в присутствии окисленного сульфата железа и серной кислоты — обычных соединений в зоне окисления сульфидных месторождений — образуется сульфат серебра, обладающий сравнительно значительной растворимостью. Однако этот сульфат весьма неустойчив и в зоне окисления восстанавливается до самородного серебра или, что значительно реже, труднорастворимых хлоридов, которые, очевидно, и являются источником серебра в почвах. Не исключена адсорбция серебра глинистыми частицами и окислами марганца. В пользу этого предположения свидетельствует тот факт, что серебро концентрируется в почвах в иллювиальном горизонте, где отмечается накопление глинистых частиц. Источником серебра в растениях служат, очевидно, воды, дренирующие месторождение и содержащие серебро в ионной форме.

Таким образом, проведенными на касситерито-станнино-сульфидном месторождении биогеохимическими исследованиями установлено, что растения содержат в золе все элементы рудной зоны и их спутники. Накопление элементов растениями происходит избирательно, в зависимости

от физиологических особенностей вида. Растениями-концентраторами большинства элементов на месторождении являются зеленые мхи, спирея и рододендрон.

Над рудными телами месторождения большинство растений вынуждено поглощать повышенное количество элементов, вследствие чего и создаются биогенные ореолы рассеяния.

Сравнительное изучение ореолов рассеяния показало, что существующие в почвах и растениях ореолы отличаются для большинства элементов рудной зоны достаточно высокой контрастностью и смещены относительно рудных тел вниз по склону. При этом выяснилось, что элементы, находящиеся в труднорастворимых соединениях и минералах, создают в почвах более контрастные аномалии, и наоборот, в то время как элементы, входящие в состав легкорастворимых соединений и минералов, образуют более контрастные аномалии в растениях. Например, над зонами оруденения, сложенными существенно касситеритовыми рудами, возникают очень интенсивные аномалии олова в почвах и мало контрастные в растениях, а участки зон, сложенные в основном станнином, характеризуются более контрастными ореолами в растениях и слабыми в почвах.

Проведенное сравнительное изучение экзогенных ореолов рассеяния в почвах и растениях показывает некоторое преимущество биогеохимического метода перед литогеохимическим.

Во-первых, контрастные аномалии в растениях образуют не только прямые индикаторы оруденения — олово, свинец, медь, особенно олово в связи с наличием станниновой минерализации. Кроме этих элементов в растениях над рудными телами концентрируются в повышенных количествах цинк и серебро, накопление которых над рудными телами позволяет считать их косвенными элементами — биогеохимическими индикаторами данного оруденения. Это существенно расширяет и обогащает биогеохимический метод поисков руд данного генетического типа, особенно при большой доле участия в них полиметаллов.

Во-вторых, биогеохимическое опробование менее трудоемко, чем отбор литогеохимических проб, поскольку, как было показано выше, только при отборе проб с глубины не менее 40 см литогеохимические поиски могут быть наиболее эффективными для данных ландшафтных условий.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА СУЛЬФИДНО-КАССИТЕРИТОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КОМСОМОЛЬСКОГО РАЙОНА

Общие сведения

Месторождение находится в пределах Комсомольского рудного узла. Непосредственно участок биогеохимических исследований (зона Западная) расположен на абсолютных отметках 700—750 м западного склона ключа. Склон имеет выпукло-вогнутую форму крутизной 25—30° в верхней части и до 3—7° — в нижней. Местность покрыта густым девственным елово-пихтовым лесом.

Оруденение зоны Западной локализовано в мелкозернистых песчаниках и алевролитах и относится к сульфидно-касситеритовому типу. Из рудных первичных минералов установлены касситерит, магнетит, вольфрамит, шеелит, арсенопирит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, киноварь. Гипергенные минералы представлены лимонитом, скородитом, малахитом, церусситом.

На участке биогеохимического опробования развиты зональные буро-таежные почвы (Ливеровский, 1967) под елово-пихтовым лесом с примесью клена желтого. Буро-таежные почвы на участке биогеохимиче-

ских исследований сформированы на разномзернистых песчаниках юрского возраста и их гидротермально измененных разновидностях. Характерной особенностью местного ландшафта является сильное и повсеместное развитие мохового покрова, представленного сфагновыми и зелеными мхами, образующими влажную моховую подушку, напоминающую дернину, мощностью до 30 см и более.

Отличительная черта почвенного профиля на участке — его чрезвычайно высокая щебнистость, незначительная мощность, достаточно высокая влажность и слабая расчлененность на генетические горизонты. Обычно почвенный разрез начинается с моховой подушки, нижняя часть которой представлена слаборазложившимися влажными листьями, хвоей и отмершими растениями, и относится по существу к горизонту A_0 — лесной подстилке. Под этим горизонтом развит гумусовый горизонт A_1 , как правило, коричневатого-черный, бурый и темно-бурый, рыхлый, переплетен корнями растений и мицелиями грибов, влажный, со щебнем песчаников, иногда для горизонта характерна мелкозернистая структура. Мощность его колеблется от 5—8 до 15—18 см.

Под гумусовым горизонтом залегает коричневатого-бурый, охристо-желтый, ржаво-бурый горизонт В, более плотный, влажный, щебнистый, с корнями растений. В некоторых случаях в верхней части этого горизонта отмечаются относительно осветленные участки, представленные серым порошистым суглинком и менее уплотненным. Мощность иллювиального горизонта В достигает 35—40 см. Этот горизонт сменяется щебнисто-глыбистым переходным горизонтом ВС мощностью до 25—40 см — плотным, менее влажным, с редкими корнями растений, в котором мелкозем имеет подчиненное значение и заполняет свободное пространство между глыбами и крупным щебнем песчаников.

По механическому составу почвы относятся к средним и тяжелым суглинкам, почвы кислые с рН от 4,25 до 5,70 (водная вытяжка), высокогумусированные. Характерной особенностью их является наличие второго (кроме в горизонте A_0A_1) максимума содержания гумуса в горизонтах B_2 и ВС до 9,23%. Подвижные гидроокислы алюминия, железа и кремнезема накапливаются в нижних генетических горизонтах описываемых почв.

Изучение минералогического состава почв по шлихам показало, что наибольший выход шлиха (до 15,86 г) приурочен к горизонту ВС, особенно в разрезах над зоной минерализации. Из наиболее распространенных минералов следует отметить лимонит, аксинит, касситерит, турмалин, менее распространены магнетит, гематит, ильменит, эпидот, хлорит, апатит, циркон, анатаз, сфен, гранат, рутил, лейкоксен, пирит, шеслит. Из легких минералов установлены кварц, полевой шпат, мусковит. Таким образом, обнаружены в основном устойчивые минералы, в то время как малоустойчивые и неустойчивые к процессам выветривания не встречены. К таким относятся сульфиды — галенит, сфалерит, арсенипирит, халькопирит, киноварь. Некоторые минералы подвергнуты интенсивным процессам выветривания, в частности такие, как мартитизированный магнетит, лимонитизированный пирит, превращенный, по существу, в псевдоморфозы лимонита по пириту, гидратированный гематит, лейкоксенизированный ильменит и каолинитизированный полевой шпат.

Глинистые частицы мелкозема генетических горизонтов разрезов ТI № 1, ТII № 3 и ТII № 6 подвергались дифференциальному термическому и рентгеноструктурному анализу. Наиболее распространенным глинистым минералом в почвах является монтмориллонит, доказанный как кривыми нагреваниями, так и дифрактограммами (отражения с межплоскостным расстоянием $d=15\text{Å}$). Кроме того, на дифрактограммах отмечены слабые линии каолинита ($d=7,3$; $3,56\text{Å}$), гидрослюда ($d=10\text{Å}$), вермикулита ($d=14,7\text{Å}$). При этом, как правило, в верхнем горизонте A_1 преобладает монтмориллонит, а в горизонтах В и ВС — каолинит и гидрослюда.

Таким образом, вещественный состав мелкозема буро-таежных почв свидетельствует о том, что в данных ландшафтных условиях Дальнего Востока происходят интенсивные процессы выветривания пород и руд, вследствие чего первичный минеральный состав коренных материнских пород значительно изменен.

Геохимия буро-таежных почв

На участке работ было изучено 14 почвенных разрезов, из которых по генетическим горизонтам отобрана 71 проба (горизонт A_1 — 14 проб, горизонт В — 15 проб, горизонт ВС — 12 проб и горизонт С (сильновыветрелые рудовмещающие породы) — 30 проб) по профилям, заложенным вкрест простирания рудной зоны (рис. 45).

Спектральным анализом в почвах установлены все основные элементы оруденения — олово, свинец, цинк, медь, мышьяк, серебро.

Олово — основной элемент как месторождения, так и почв, сформированных на его площади. Местный геохимический фон этого элемента в целом по почвам равен 0,002%, что в 2 раза выше кларка в почвах. Такое же значение геохимического фона характерно и для генетических горизонтов A_1 , В и ВС, а для сильновыветрелых вторичных кварцитов (кварц-хлорит-серицитовые породы), т. е. горизонта С, эта величина составляет 0,003%. Минимальное содержание олова в почвах — меньше 0,001% (т. е. ниже величины кларка), отмечено в единичных пробах из горизонтов A_1 . Максимальное, достигающее 0,4%, зарегистрировано в одной пробе над рудным телом. Однако наиболее часто встречающаяся повышенная концентрация олова (0,3%) характерна для горизонтов В, ВС и С, что в 300 раз больше кларка, причем наибольшее число проб с таким содержанием приходится на горизонт ВС. В целом содержание олова постепенно увеличивается от верхней части разреза к нижней, что достаточно наглядно видно из диаграмм распределения этого элемента по генетическим горизонтам некоторых разрезов (рис. 46, а).

Свинец относится также к основным сульфидным элементам почв. Местный геохимический фон его в целом по почвам, а также в горизонтах A_1 , В и С равен 0,01%, а в горизонте ВС — 0,05%, что соответственно в 10 и 50 раз больше кларка. Минимальное содержание, как правило (меньше 0,001%), отмечается в горизонте A_1 . Максимальное количество, установленное в одной пробе в горизонте A_1 под рудным телом, составляет 0,5%, что в 500 раз больше кларка. В генетических горизонтах В, ВС и С наибольшее содержание этого элемента равно 0,03%, что в 300 раз больше кларка. При этом опять же, как и для олова, наибольшее число проб с указанным содержанием характерно для горизонта ВС. Общей закономерностью распределения свинца в изученных почвах является постепенное увеличение его содержания от верхнего горизонта A_1 к горизонту ВС, хотя в некоторых разрезах наблюдается максимальная концентрация в горизонте В, что видно из рис. 46, б.

Цинк — один из основных сульфидных элементов изучен-

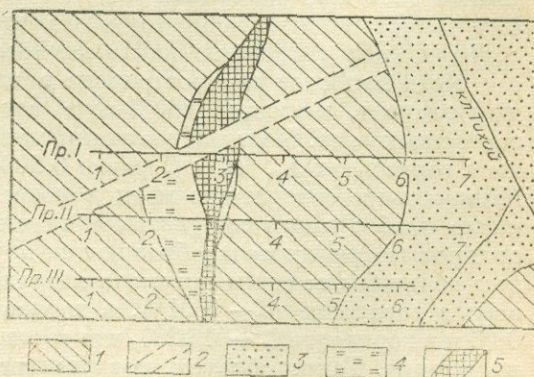


Рис. 45. Геологический план и схема расположения профилей биогеохимического опробования на сульфидно-касситеритовом месторождении.

1 — песчаники; 2 — зона разлома; 3 — аллювий; 4 — кварц-турмалиновые породы; 5 — рудная зона.

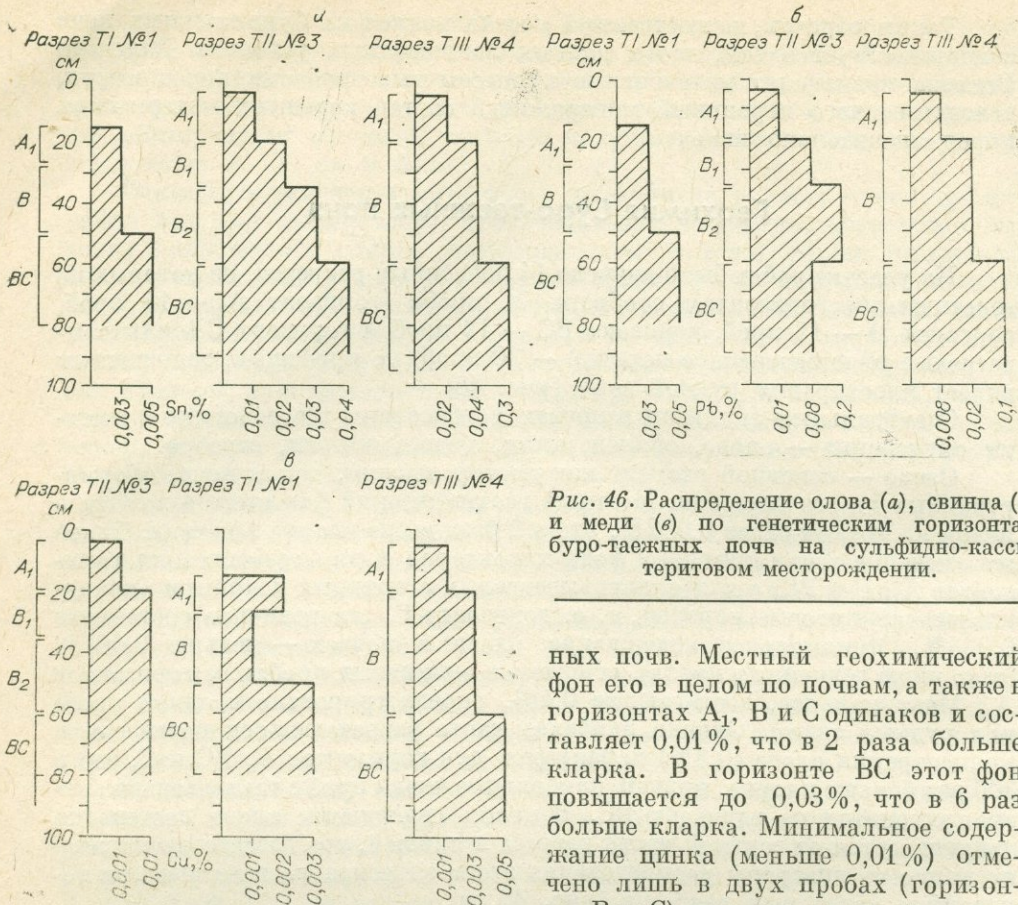


Рис. 46. Распределение олова (а), свинца (б) и меди (в) по генетическим горизонтам буро-таежных почв на сульфидно-касситеритовом месторождении.

ных почв. Местный геохимический фон его в целом по почвам, а также в горизонтах А₁, В и С одинаков и составляет 0,01%, что в 2 раза больше кларка. В горизонте ВС этот фон повышается до 0,03%, что в 6 раз больше кларка. Минимальное содержание цинка (меньше 0,01%) отмечено лишь в двух пробах (горизонты В и С), т. е. по существу, минимальные значения его совпадают с величиной местного геохимического фона. Максимальное содержание, отмеченное в горизонте С в разрезе над рудным телом, достигает 0,1%, что в 20 раз больше кларка. В других генетических горизонтах величины наибольшего содержания цинка следующие: горизонт А₁—0,06%, горизонт В—0,04 и горизонт ВС—0,08%, что соответственно в 12, 8 и 16 раз больше кларка. Судя по количеству проб с аномальным содержанием и величине его местного геохимического фона, цинк обнаруживает тенденцию накапливаться в горизонте ВС.

Медь наиболее распространена в изученных породах. Это единственный элемент, имеющий 100%-ную встречаемость во всех генетических горизонтах почв. Местный геохимический фон ее в целом по почвам, а также в горизонтах А₁, ВС и С равен 0,003%, что в 1,5 раза больше кларка. Минимальное содержание меди в почвах—меньше 0,001%, наибольшее число проб с таким содержанием характерно для горизонта С, т. е. для сильновыветрелых почвообразующих оруденелых песчаников. Максимальные величины содержания этого металла распределены следующим образом: в горизонте А₁—0,01%, в горизонте В—0,03, в горизонте ВС—0,05 и в горизонте С—0,02%, что соответственно в 5, 15, 25 и 10 раз больше кларка. Таким образом, повышенное содержание меди характерно для горизонта ВС, особенно в разрезах в пределах рудной зоны, что наглядно видно на рис. 46, в.

Мышьяк весьма характерен для рассматриваемой сульфидно-касситеритовой зоны минерализации. Однако в почвах он встречается в основном только в разрезах, заложенных непосредственно над рудным телом,

а за пределами оруденения обнаружен лишь в отдельных пробах. Поэтому встречаемость мышьяка в почвах низкая и составляет лишь 16%, а в горизонте A_1 он вообще не установлен. Низкая встречаемость этого металла в почвах, по-видимому, обусловлена его высокой подвижностью в зоне гипергенеза и слабым влиянием биогенного фактора накопления в верхней части почвенного профиля. Местный геохимический фон мышьяка в целом по почвам, а также в горизонте ВС равен, 0,05%, что в 100 раз больше кларка. В горизонтах В и С фон несколько ниже — 0,03%, что, однако, в 60 раз больше кларка. Максимальные концентрации этого элемента достигают 3,0%, отмечены только в разрезах над рудным телом в горизонтах В и ВС. Судя по количеству проб с повышенным содержанием мышьяка, он склонен накапливаться в горизонте ВС — это в 6000 раз больше кларка.

Серебро, присутствуя в минерализации рудной зоны, довольно распространенный металл в почвах. Встречаемость его достигает 32%. Местный геохимический фон в целом по почвам и во всех генетических горизонтах одинаков и равен 0,0001%, что в 2 раза больше кларка. Минимальное содержание — меньше 0,0001% отмечено в двух пробах в горизонте A_1 и В. Максимальное количество серебра, достигающее 0,001%, отмечено в горизонте ВС почвенных разрезов в пределах рудного тела. Такое количество больше кларка в 20 раз. Вне зоны минерализации содержание серебра в почвах не превышает значения геохимического фона.

Изучение особенностей распределения химических элементов в почвах по магистральному профилю вкрест простирания рудного тела показало, что все основные химические элементы оруденения четко фиксируют местонахождение рудного тела (в частности, в точке 3) соответствующим пиком на графике (рис. 47). На этом рисунке дано распределение олова, свинца, цинка, меди и серебра в буро-таежных почвах по профилю II. При этом следует весьма высоко оценить роль мало распространенного сульфидного элемента серебра как индикатора оруденения данного генетического типа.

Судя по распределению содержания в почвах основных элементов оруденения по фракциям мелкозема, видно, что все они концентрируются главным образом в крупных фракциях мелкозема. В качестве примера на рис. 48, а изображена диаграмма распределения олова. Из нее следует: 1) в каждом генетическом горизонте наблюдается постепенное уменьшение содержания олова от крупных фракций к мелким; 2) максимальная концентрация олова отмечена в крупных фракциях мелкозема — 1,0—0,25 и 0,25—0,05 мм, а минимальная — в илистых и глинистых частицах; 3) наибольшее количество олова во всех фракциях характерно для горизонта ВС по сравнению с горизонтами A_1 и В.

Аналогично олову распределены и другие элементы — медь, цинк, свинец и мышьяк. В частности, для мышьяка характерно одинаковое

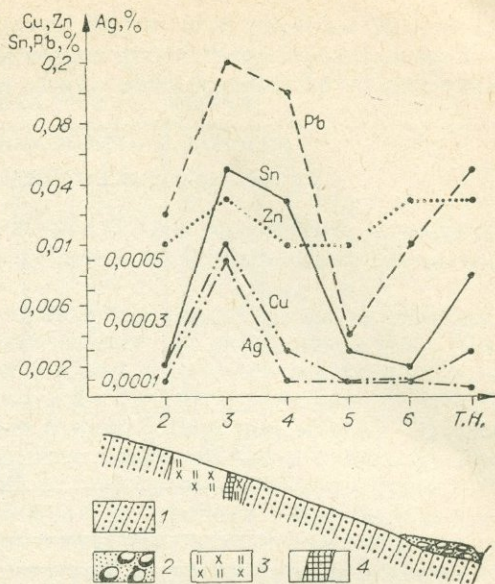


Рис. 47. Распределение микроэлементов в буро-таежных почвах вкрест простирания рудной зоны (профиль II).

1 — песчаники; 2 — аллювиальные отложения; 3 — кварц-хлорито-серицит-турмалиновые породы; 4 — рудное тело.

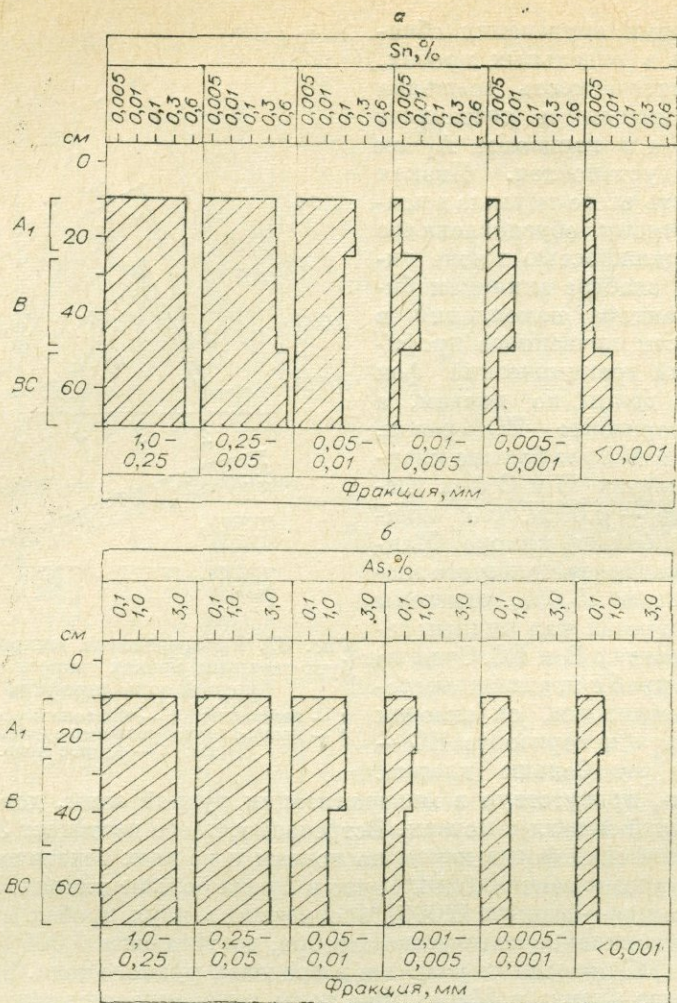


Рис. 48. Распределение олова (а) — разрез ТИ № 4 над рудной зоной и мышьяка (б) — разрез ТИ № 4 по фракциям мелкозема генетических горизонтов буро-таежных почв.

количество этого элемента, достигающее 3,0% для крупных фракций 1,0—0,25 и 0,25—0,05 мм всех генетических горизонтов этого разреза (рис. 48, б). В других фракциях меньшего размера содержание мышьяка постепенно уменьшается и минимальное количество его типично для фракции <0,001 мм практически всех генетических горизонтов. Однако следует отметить, что если накопление олова в крупных фракциях мелкозема почв связано с обломками касситерита, то накопление свинца, меди, цинка и мышьяка обусловлено безминеральной формой этих элементов, а именно сорбцией окислами железа — лимонитом, основным минералом почв по результатам изучения шлихов. Безминеральная форма концентрации в почвах указанных элементов отмечена Н. И. Крицук (1963) в почвах Забайкалья, а согласно А. И. Перельману (1966), это явление вообще присуще для зон окисления сульфидных месторождений в гумидных ландшафтах.

Таким образом, все основные элементы оруденения в почвах накапливаются в горизонте ВС, что имеет большое практическое значение при производстве литогеохимических поисков. В частности, при поисках сульфидно-касситеритовых месторождений в зоне темно-хвойных лесов Дальнего Востока литогеохимическим методом металлометрические про-

бы необходимо отбирать из горизонта ВС, т. е. с глубины 70—80 см. Только в этом случае металлометрические пробы будут представительны, что позволит быстрее выявить контрастную литогеохимическую аномалию.

Особенности накопления малых химических элементов в растениях

По районированию В. А. Розенберга (1963), территория, в пределах которой находится зона Западная, входит в среднюю подзону темнохвойных лесов.

Растительность в районе месторождения представлена елово-пихтовым лесом. Господствующими породами является ель аянская (60—70%) и пихта белокорая (30—40%), изредка к ним примешивается клен желтый. Подлесок очень разрежен, представлен преимущественно подростом хвойных, к которым примешиваются бузина сибирская, малина сахалинская, спирея и ива Бредина. По осыпям в верхней части склона распространены кедровый стланик. По всему склону довольно обычны кустарнички — дерен канадский, линнея северная и брусника. Травяной покров представлен в основном щитовником амурским, осокой ланцетной и кислицей обыкновенной; отдельными пятнами по всему склону встречается вейник Лангсдорфа, иван-чай узколистный и др. Моховой покров образован преимущественно зелеными мхами (хелодиум Бландова и политрихум обыкновенный). По осыпям в верхней части склона обычна кладония альпийская.

В нижней, наиболее увлажненной части склона и в днище долины кл. Тихого в составе растительности происходят изменения. Из подлеска исчезают все другие виды растений и господствует здесь лишь подрост хвойных. Основные виды кустарников, распространенные здесь, — брусника и дерен канадский, появляется багульник болотный. Травяной покров значительно обеднен, папоротники и осока исчезают, уступая место плаунам, среди которых доминирует булавовидный. В моховом покрове господствует сфагнум Руссова, а зеленые мхи занимают лишь наиболее повышенные места.

На участке было опробовано 3 вида деревьев, 7 видов кустарников и кустарничков и 12 видов трав и мхов покрова, т. е. всего 22 вида растений, что составило 310 проб. В золе растений, отобранных на месторождении, спектральным анализом были определены все основные элементы оруденения — медь, свинец, цинк, олово, серебро, за исключением мышьяка, а также молибден.

Установлено, что фоновые содержания большинства элементов в растениях ниже, чем в почвах, но аномальные концентрации многих этих металлов в растениях выше почвенных аномалий. Соответственно резко повышена степень концентрации элементов и в растениях, т. е. контрастность биогеохимических аномалий (табл. 34).

Таблица 34

Степень концентрации элементов

Элемент	В почвах			В растениях		
	фон, %	аномальное содержание, %	степень концентрации	фон, %	аномальное содержание, %	степень концентрации
Mo	0,0001	0,0005	5	0,0001	0,003—0,005	30—50
Pb	0,01	0,3	30	0,001	0,03—0,1	30—100
Sn	0,003	0,3	100	0,001	0,03—0,04	30—40
Zn	0,01	0,30	30	0,005	0,1—2,0	20—400
Cu	0,001	0,05	50	0,001	0,01—0,05	10—50
Ag	0,0001	0,001	10	0,0001	0,001—0,005	10—50

Таблица 35

Содержание олова в растениях средней подзоны зоны темнохвойных лесов Дальнего Востока

Растение	Sn, % (верхний предел)
Ель аянская:	
ветви	<0,001
древесина	0,001
сухая древесина	0,001
Ива Бредина (общая проба)	0,001
Спирей средняя (общая проба)	0,005
Малина сахалинская (общая проба)	0,03
Кипрей узколистный	0,008
Вейник Лангсдорфа	0,001
Осока ланцетная	0,008
Политрихум обыкновенный	0,04
Кладония альпийская	0,003
Сфагнум Руссова	0,001
Хелодиум Бландова	0,03

олова в отмеченных выше растениях в 30—40 раз выше, чем местный геохимический фон в обычных растениях.

На рис. 49 приведен график распределения олова в почвах и растениях по профилю III, из которого видно, что в почвах и растениях образуются четкие и контрастные аномалии. Причем в растениях аномалии надрудные, а в почвах они смещены относительно рудного тела на 20 м.

В рудной зоне олово представлено преимущественно касситеритом. Возможно, что оно в качестве примеси имеется в составе сульфидов. Произрастая в пределах рудной зоны, растения поглощают олово из водных растворов, циркулирующих в зоне окисления, и накапливают его в своих тканях, создавая, таким образом, надрудные аномалии.

Образование аномального пика в нижней части склона на профиле I, вероятно, объясняется тем, что здесь происходит разгрузка грунтовых вод, омывающих зону окисления и естественно обогащенных оловом. Смещение аномального пика в почвах вниз по склону обусловлено, несомненно, механическим рассеянием обломков касситерита вниз по склону, что видно из схемы изоконцентраций олова в почвах и растениях (рис. 50). Это подтверждается также спектральными анализами различных фракций мелкозема почв. Оказалось, что максимальные концентрации олова в почвах, как было показано выше, связаны обычно с крупными фракциями (0,01—1 мм).

Свинец — также основной элемент рудной зоны. Он, как известно, в зоне гипергеза несколько более подвижен, чем олово, и поэтому обнаружен почти во всех растениях участка опробования. Отсутствует этот элемент лишь в щитовнике амурском. Наиболее часто встречается во мхах (100%), значительно реже — в листьях и в хвое деревьев и кустарников. Здесь его встре-

Рассмотрим особенности накопления установленных химических элементов в растениях.

Олово обнаружено преимущественно в растениях травянистого и мохового покрова (табл. 35). Встречаемость его в этих видах растений колеблется от 8% в золе вейника до 100% в золе политрихума. У древесных пород этот элемент обнаружен лишь в одной пробе ветвей и древесины ели в небольших содержаниях. В количестве от 0,001 до 0,008% олово накапливается в золе ивы, спиреи, вейника, осоки, иван-чая, кладонии и сфагнума. В максимальных концентрациях, достигающих 0,03—0,04%, оно обнаружено в золе малины и зеленых мхов (политрихум и хелодиум). Степень концентрации

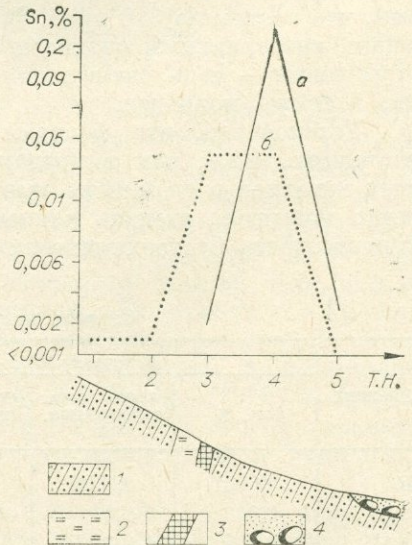


Рис. 49. Распределение олова в почвах (а) и растениях (б) (профиль III). 1 — песчаники; 2 — кварц-турмалиновые породы; 3 — рудная зона; 4 — аллювий.

чаемость колеблется в пределах 12—25% и только в золе хвойной шишки повышается до 62%. В количестве от 0,001 до 0,005% он накапливается большинством растений. У древесных пород свинец концентрируется преимущественно в древесине, а у кустарников — в ветвях. В максимальной для участка концентрации, равной 0,01—0,1%, он обнаружен в древесине пихты, в золе малины, осоки, иван-чая, политрихума и хелодиума. Степень накопления этого элемента в указанных видах в 10—100 раз выше фона в растениях. Максимальные содержания его в золе политрихума равны максимальным почвенным концентрациям, т. е. 0,1%.

В рудной зоне свинец представлен галенитом, который, окисляясь в водно-воздушной среде, замещается церусситом и довольно широко распространен в зоне окисления. Хотя церуссит в зоне окисления и является труднорастворимым минералом, однако несомненно, что какая-то часть свинца находится в почвах в легкоподвижном состоянии. Так, по данным Д. П. Малюги (1963), проводившим биогеохимические исследования на полиметаллическом месторождении в Грузии в сходных с нашими ландшафтно-геохимических условиях, 5% от валового содержания свинца в почвах переходит в водный раствор при $pH \approx 5,5$. Очевидно, этот свинец и поглощается растениями из почвы. Как показывает график распределения свинца по профилю III (рис. 51), в почвах и растениях образуются контрастные аномалии. Причем в растениях они надрудные, а в почвах большей частью смещены вниз по склону. Природа ореолов рассеяния свинца в почвах в верхней части склона обусловлена механическим смещением вторичных минералов, в частности лимонита, сорбировавшим свинец. Растения поглощают ионы свинца из водных растворов, циркулирующих в рудной зоне, и таким образом создаются контрастные надрудные биогеохимические аномалии.

Медь обнаружена во всех растениях участка со 100%-ной встречаемостью. Фоновые содержания большинства видов растений колеблются в пределах 0,001%. В максимальных концентрациях, достигающих 0,01—0,05%, медь накапливается в ветвях и древесине хвойных деревьев, в багульнике, бруслике, плауне и мхах. Степень концентрации в 10—50 раз выше фона в растениях и почвах. Гипогенным минералом меди в рудной зоне является халькопирит, который в зоне окисления дает сульфаты меди и затем под действием углекислоты они переводятся в карбонаты. Гипергенным минералом меди в зоне окисления является малахит. Распределение меди по профилю (рис. 52) в почвах и растениях указывает на четкие контрастные аномалии, причем в растениях они большей частью надрудные,

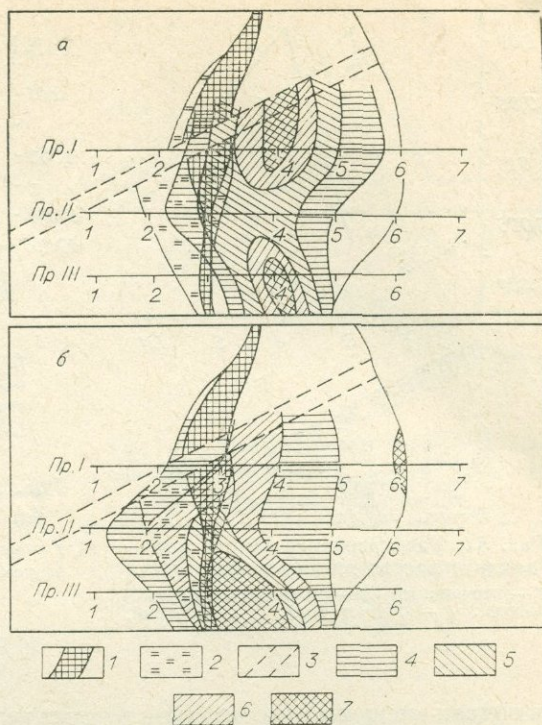


Рис. 50. Схема изоконцентраций олова в почвах (а) и растениях (б).

1 — рудная зона; 2 — кварц-турмалиновые породы; 3 — зона разлома. Содержание олова соответственно в почвах и растениях (%): 4 — 0,005—0,01; 0,001—0,005; 5 — 0,01—0,05; 0,005—0,01; 6 — 0,05—0,1; 0,01—0,03; 7 — больше 0,1; больше 0,03.

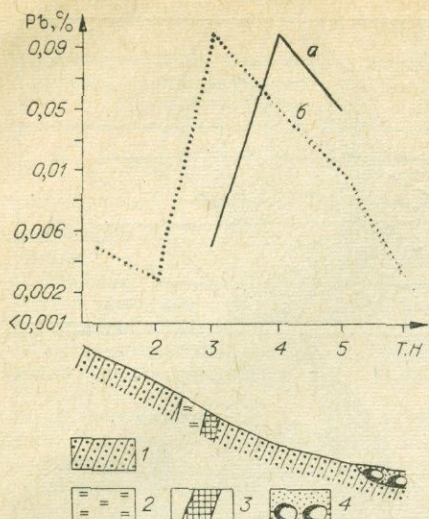


Рис. 51. Распределение свинца в почвах (а) и растениях (б) (профиль III).
1 — песчаники; 2 — кварц-турмалиновые породы; 3 — рудная зона; 4 — аллювий.

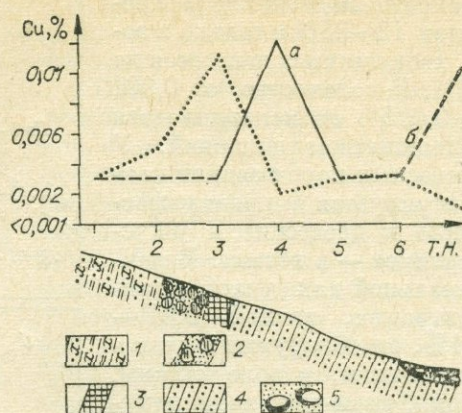


Рис. 52. Распределение меди в почвах (а) и растениях (б) (профиль I).

1 — песчаники хлоритизированные; 2 — зона разлома; 3 — рудная зона; 4 — песчаники; 5 — аллювий.

а в почвах смещены относительно рудных тел. Источником меди в растениях служат, несомненно, водные растворы, в которых сульфаты меди прекрасно растворимы. Естественно, что водные растворы наиболее богаты медью в пределах рудной зоны, и поэтому в растениях возникают надрудные аномалии. Смещение почвенных аномалий обусловлено в первую очередь механическим перемещением обломков лимонита, сорбировавшим медь в процессе выветривания руд и перемещающимся вниз по склону от рудной зоны.

Цинк присутствует в большинстве растений на месторождении — в золе ивы, багульника, линнея, щитовника и дерена, но встречаемость его в отдельных видах не превышает 50—80% и лишь в золе кладонии и политрихума достигает 100%. Фон его в растениях равен 0,005%. В количестве 0,1—0,3% цинк концентрируется ветвями, корой и древесиной ели, листьями и ветвями клена, дереном, плауном, кладонией и зелеными мхами. Максимальные концентрации его обнаружены в золе древесины пихты — до 2%, что в 400 раз выше фона в растениях и в 200 раз выше фона в почвах. Гипогенным минералом цинка в рудной зоне является сфалерит. В зоне окисления он быстро изменяется, образуется сульфат цинка, обладающий высокой растворимостью даже в обстановке, близкой к нейтральной. Поэтому миграционная способность цинка в данных ландшафтных условиях очень высокая. Большое значение в миграции цинка имеет то обстоятельство, что он почти не дает в зоне окисления вторичных минералов, широко рассеивается, и поэтому аномалии его в почвах мало контрастны, плохо выражены, в то время как в растениях образуются четкие контрастные надрудные аномалии (рис. 53). Таким образом, цинк может служить хорошим индикатором оруденения данного типа при биогеохимических поисках.

Серебро обнаружено менее чем в 50% видов растений и встречается в золе ели, пихты, кедрового стланика, ивы, малины, спиреи, вейника, осок, сфагнома и хелоднума. Встречаемость его в этих видах колеблется от 8% в золе вейника до 79% в древесине ели. В максимальной концентрации, достигающей 0,001—0,005%, серебро обнаружено в хвое и древесине ели, в коре пихты, в спирее, что в 10—50 раз выше фона в почвах и растениях. Источником серебра в почвах является, вероятно, галенит, так как,

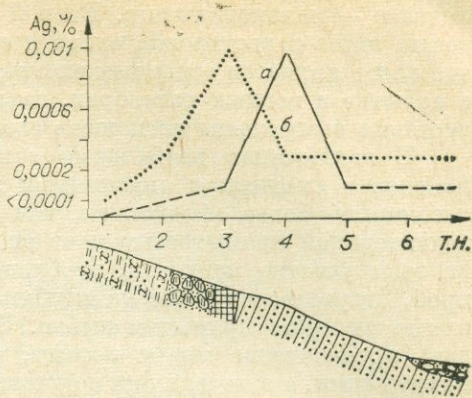
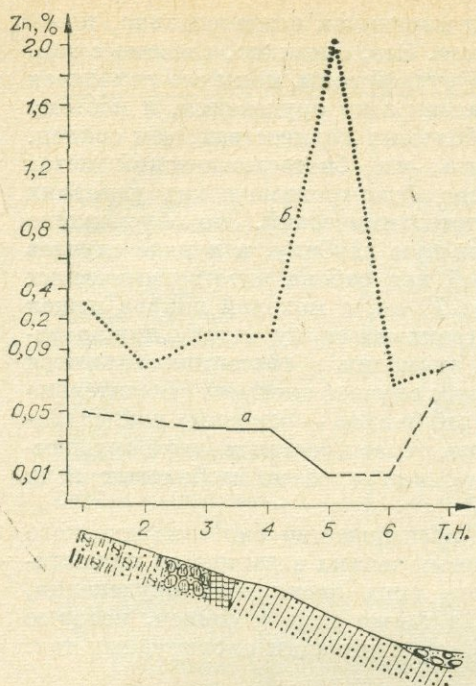


Рис. 54. Распределение серебра в почвах (а) и растениях (б) (профиль I). Усл. обозн. см. на рис. 52.

Рис. 53. Распределение цинка в почвах (а) и растениях (б) (профиль I). Усл. обозн. см. на рис. 52.

по данным спектрального анализа, он содержит до 1% серебра. Распределение этого элемента по профилю I в почвах и растениях дает достаточно контрастные аномалии (рис. 54). Причем в растениях они более четко отбивают рудные тела, что позволяет считать серебро прекрасным индикатором сульфидно-касситеритового оруденения.

Установлено, что коэффициенты биологического поглощения (табл. 36) всех без исключения элементов над рудной зоной в 2—6 раз выше, чем на безрудных участках. Также выше и степень концентрации элементов в растениях, чем в почвах. Причем наиболее высокая она в растениях для олова — основного элемента данного типа минерализации.

Составленные по данным табл. 36 ряды биологического поглощения выглядят так:

для безрудных участков $Zn > Ag > Cu > Pb > Sn$;

для рудной зоны $Zn > Ag > Cu > Sn > Pb$.

Сопоставление показывает, что в первом ряду элементы располагаются по степени уменьшения подвижности в зоне гипергенеза, т. е. в первую очередь растениями поглощаются наиболее подвижные элементы и в пос-

Таблица 36

Коэффициенты биологического поглощения (КБП) и степень концентрации основных элементов зоны минерализации

Элемент	Безрудный участок			Рудная зона			Степень концентрации	
	в почвах, %	в растениях, %	КБП	в почвах, %	в растениях, %	КБП	в почвах	в растениях
Sn	0,002	<0,001	<0,5	0,03	0,03	1,0	.15	>30
Pb	0,02	0,005	0,25	0,08	0,04	0,5	4	8
Zn	0,03	0,08	2,6	0,03	0,5	16	1	6
Cu	0,002	0,002	1	0,01	0,03	3	5	15
Ag	0,0001	0,0002	2	0,0001	0,001	10	1	5

Примечание. Степень концентрации вычислялась как отношение содержания элемента в почвах и растениях над рудной зоной к содержанию за ее пределами.

ледную — малоподвижные. Второй ряд изменился незначительно, прои-зошла лишь перестановка олова и свинца. Это, очевидно, связано с тем, что олово является основным элементом рудной зоны, ионы его находятся в избытке в водных растворах, омывающих зону оруденения, и поэтому растения вынуждены поглощать его в больших количествах, чем свинец.

В заключение необходимо отметить, что биогеохимический метод поисков в сходных с описанными ландшафтно-геохимических условиях несомненно более эффективен, чем литогеохимический. Это обусловлено значительной промытостью почв на большую глубину, и в ряде случаев на этом участке мелкозем, необходимый для отбора литогеохимических проб, отсутствовал даже на глубине до 70 см, а моховой покров лежал прямо на чисто промытом щебне. Биогеохимическому методу нужно отдать предпочтение еще и потому, что аномалии в растениях являются надрудными, а в почвах они в большинстве случаев смещены относительно рудных тел вниз по склону. И, наконец, отбор мхов — основных концентратов элементов рудной зоны, безусловно, более простая и менее трудоемкая операция, чем отбор литогеохимических проб из щебнистых почв с глубины 70—80 см.

Помимо изложенных соображений преимущество биогеохимического метода заключается в том, что над рудными телами в растениях накапливаются и элементы-индикаторы данного типа оловянного оруденения, в частности цинк и особенно серебро, а также медь и свинец, которые можно использовать для биогеохимической индикации оловорудных тел.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ ОЛОВА В ЗОНЕ ЛЕСОСТЕПИ

Для сравнения особенностей накопления олова в растениях в условиях лесостепи в настоящем разделе приведены материалы по опытным биогеохимическим исследованиям, выполненным Р. С. Климовой и др. (1960 г.) на ряде оловянных рудопроявлений, находящихся в зоне лесостепи Дальнего Востока.

В орографическом отношении район работ представляет собой систему невысоких возвышенностей, находящихся в пределах обширной лесостепной равнины.

В климатическом отношении эта территория интенсивно подвергается влиянию муссонного климата, вызванного близостью моря, вследствие чего для нее характерна сухая осень, суровая малоснежная зима и туманное дождливое лето. Среднегодовое количество осадков колеблется от 500 до 600 мм, причем за летний период и начало осени выпадает 65—70% их годового количества. Наиболее высокие среднемесячные температуры приходятся на июль — сентябрь — до $+21,8^{\circ}\text{C}$, наиболее низкие — на декабрь — февраль — до минус $18,3^{\circ}\text{C}$.

Растительность района типичная лесостепная, свойственная для лесостепи Дальнего Востока.

Биогеохимические исследования Р. С. Климовой и др. (1960 г.), заключающиеся в установлении особенностей содержания микроэлементов в золе растений, выполнены на трех рудопроявлениях, оловянная минерализация которых представлена касситеритом, и на одном рудопроявлении со станин-касситеритовой минерализацией.

На месторождениях с касситеритовой минерализацией олово установлено в дубе монгольском, березе даурской, спирее средней, иве ползучей, леспедеце двуцветной, полыни и в других растениях. Наибольшее содержание олова обнаружено в папоротнике луговом (0,003—0,006%) и орляке обыкновенном (0,006—0,01%).

В зоне со станин-касситеритовой минерализацией олово от следов до 0,001% обнаружено в мискантусе сахароцветном, одуванчике мон-

Содержание олова в растениях лесостепи Дальнего Востока на станциях касситеритовой и касситеритовой зонах минерализации (по Р. С. Климовой и др., 1960 г.)

Растение	Sn, %	Растение	Sn, %
Дуб монгольский	0,003	Мискантус сахароцветный	0,001
Береза даурская	0,003	Кохия вечнозеленая	0,001
Леспедеца двуцветная	0,003	Осока пузырчатая	0,001
Лещина разнолистная	0,003	Майник двулистный	0,001—0,003
Спирея средняя	0,003	Лабазник дланевидный	Сл.
Клевер ползучий	0,003	Лапчатка земляничковидная	»
Вика приятная	0,01	Полынь жертвенная	0,03
Земляника восточная	0,003	Камыш трехгранный	Сл.
Орляк обыкновенный	0,01	Одуванчик монгольский	0,001
Спорыш	0,003	Хлорант японский	Сл.
Мята даурская	0,001	Василистник китайский	»
Чемерица уссурийская	0,001	Шалфей сорный	»
Подмаренник настоящий	0,001	Многоножка обыкновенная	»
Софора желтеющая	0,001	Ландыш маньчжурский	»

гольском, дурнишнике зобатом, мяте даурской, кохии вечнозеленой, полыни обыкновенной, клевере ползучем и др.

Растения, распространенные в пределах указанных рудопоявлений и содержащие олово, приведены в табл. 37. Олово содержится в основном в травянистых растениях, что, вероятно, обусловлено растительными ассоциациями данной ландшафтной зоны. В то же время и степень накопления этого элемента незначительна, что, однако, в 10 раз выше кларка в растениях по А. П. Виноградову (1954). В целом отмеченные растения, содержащие олово, весьма характерны для зоны лесостепи Дальнего Востока.

Р. С. Климовой и др. (1960 г.) указывается, что ореолы биогеохимического рассеяния рудных элементов совпадают с расположением рудных тел или незначительно сдвинуты вследствие смещения механических и солевых ореолов вниз по склону пологих сопок. Вместе с тем этими исследователями отмечено, что незначительное накопление олова в золе растений объясняется слабой общей минерализацией поверхностных вод и глубиной залегания рудных тел.

На одном из рудопоявлений с касситеритовой минерализацией нами были выполнены дополнительные биогеохимические исследования с целью установления особенностей накопления олова в растениях.

Оказалось, что содержание металла в почвах колеблется в пределах 0,001—0,003%. Помимо указанных в табл. 37, были выявлены виды, распространенные в пределах оруденения и содержащие олово (%): гравилат аллепский — от 0,001 до 0,004; порезник жабрицевидный — 0,001; осока гладконосная — 0,001; полынь Аржи — от 0,001 до 0,004; кровохлебка аптечная — от 0,001 до 0,005; крапива узколистная — до 0,003; купена душистая — 0,001; герань — от 0,001 до 0,003; клевер люпиновидный до 0,005; хвощ лесной — 0,002; вероника сибирская — 0,001; ива козья (листья) — до 0,001. При этом следует отметить, что по нашим данным в некоторых растениях олова накапливается больше, чем по данным Р. С. Климовой и др. (1960 г.). Например, по материалам Р. С. Климовой и др. (1960 г.) содержание олова в осоке пузырчатой равно 0,001%, а по нашим данным — от 0,002 до 0,05%, т. е. в максимальных количествах для зоны лесостепи; в подмареннике настоящем соответственно 0,001 и 0,003%. В целом в зоне лесостепи основными видами, накапливающими олово от 0,005 до 0,05%, являются осоки, вика, полыни, папоротники, клевер, кровохлебка.

Е. Д. Астрахан, Л. И. Грабовская и др. (1960 г.), проводившие биогеохимические исследования на рудных месторождениях лесостепи Дальнего Востока, указывают, что олово до десятых долей процента содержится в ветках дуба монгольского и леспедецы двуцветной. Установлено также, что травы концентрируют олово больше, чем древесные растения. Например, по данным этих исследователей, в золе папоротника орляка содержание олова достигает 0,3—1,0%.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ КАССИТЕРИТ-СИЛИКАТНО-СУЛЬФИДНОЙ ФОРМАЦИИ

Особенностью этих рудопроявлений олова является то, что они относятся к турмалиновому типу касситерит-силикатно-сульфидной формации (Радкевич, 1968). Рудопроявления по своим генетическим особенностям близки к оловорудным месторождениям Южно-Болливийской оловорудной провинции и складчатой области Северных Аппалачей (Канищева, 1970).

Биогеохимические исследования выполнены на двух рудопроявлениях олова, расположенных в пределах Сихотэ-Алиня, на участках Лучистом и Нижнем.

Участок *Лучистый* расположен на абсолютных отметках, колеблющихся от 900 до 1000 м. Рудопроявление приурочено к минерализованным зонам дробления среди осадочных пород мелового возраста. Оруденение представлено кварцевыми турмалинитами с высоким содержанием олова в виде крупнокристаллического касситерита и полным отсутствием сульфидов. Участок находится в пределах южной подзоны зоны темнохвойных лесов и непосредственно расположен в долине реки, склоны которой достигают крутизны 30—35° и покрыты преимущественно каменной березой с редким подростом ели аянской, сихты белокурой и отдельными куртинками кедрового стланика. Кроме каменной березы, значительное участие в древостое принимают березы ребристая и маньчжурская и клен желтый. В подлеске господствует спирей березолистная, а в травяном покрове — дерен канадский, осока мечевидная, вейник Лангсдорфа и др.

Следует отметить, что на данном участке современная кора выветривания представлена щебнистым элювиально-делювиально-пролювиальным материалом с подчиненным значением мелкозема вследствие выноса его в нижнюю часть склона. Почвенный покров как таковой на участке выражен слабо из-за крутого склона. Кроме того, почвенная толща нарушена поисково-разведочными работами, поэтому при биогеохимических исследованиях она не опробовалась, поскольку места отбора представительных литогеохимических проб практически отсутствовали, особенно в пределах зоны минерализации.

Всего на рудопроявлении олово было обнаружено в 21 виде растений (древесных — 7 видов, кустарниковых — 3, травянистых — 11) — в более чем 100 пробах. Встречаемость олова в растениях, распространенных в пределах рудной зоны, составляет свыше 70—80%. Виды растений и их органы, накапливающие олово, приведены в табл. 38. Местный геохимический фон элемента в растениях составляет 0,001%.

На данном участке наибольшие содержания олова обнаружены в древесных растениях, особенно в хвойных — до 0,02—0,1%, что в 20—100 раз больше геохимического фона. Из кустарников наибольшие концентрации отмечены в листьях (до 0,01%) и ветвях (до 0,02%) спирей березолистной. Из трав повышенное количество этого металла содержит брусника (0,05%), кипрей узколистный (0,02%), валерьяна заенсейская (0,01%), осока мечевидная (0,005%) и др. Естественно, что все наибольшие содержания олова в растениях отмечены в пределах рудной

Содержание олова в растениях южной подзоны зоны темнохвойных лесов (турмалин-кварц-касситеритовое рудопроявление участка Лучистого)

Растение	Орган	Sn, % (верхний предел)	Растение	Орган	Sn, % (верхний предел)
Ель аянская	Хвоя	0,005	Осина	Листья	0,001
	Ветви	0,004		Ветви	0,001
	Кора	0,001		Кора	0,001
	Древесина	0,020		Древесина	0,003
Пихта белокорая	Хвоя	0,100	Ива сухолюбивая	Листья	0,020
	Ветви	0,002		Ветви	0,003
	Кора	0,002	Спирея березолистная	Листья	0,010
	Древесина	0,003		Ветви	0,020
Кедровый стланик	Хвоя	0,003	Рябинолистник рябинолистный	Листья	0,001
	Ветви	0,001		Ветви	0,002
	Кора	0,003	Бузина сибирская	Листья	0,002
	Древесина	0,001			
Береза маньчжурская	Листья	0,007	Кочедыжник красночерешковый		0,001
	Ветви	0,001	Вейник Лангсдорфа		<0,001
	Кора	0,001	Осока мечевидная		0,005
	Древесина	0,002	Валерьяна заенсейская		0,010
Береза ребристая	Листья	0,003	Щитовник буковый		0,002
	Ветви	0,002	Кипрей узколистный		0,020
	Кора	0,002	Клинтония удская		<0,001
	Древесина	0,003	Плаун можжевелниковый		0,002
Клен желтый	Листья	0,005	Клопогон даурский		<0,001
	Ветви	0,002	Брусника		0,050
	Кора	Не обн.			
	Древесина	»			

зоны. Выше по склону от рудного тела, в пределах первичного ореола рассеяния встречаемость металла в растениях не превышает 20%, а содержание его достигает лишь 0,004%.

Весьма любопытно отметить накопление олова растениями, распространенными в днище долины ручья, пересекающего рудную зону. Содержание олова в растениях здесь достигает 0,001—0,003% в травах и 0,01—0,02% в древесных растениях, в частности в древесине ели аянской. Эти данные свидетельствуют о том, что и в субстрате, на котором поселились растения, имеется доступное для них олово. Скорее всего, накопление олова в растениях здесь обусловлено одной из следующих причин: во-первых, связано с наличием коренного оруденения, перекрытого аллювием 3—4-метровой мощности; во-вторых, обусловлено богатой россыпью касситерита в долине ручья или, в-третьих, вызвано высоким содержанием олова в водах ручья, размывающего рудоносные породы выше по течению и дренирующего аллювиальную песчано-галечниковую толщу русловых и пойменных осадков долины.

На участке Нижнем рудопроявление залегает в туфо-эффузивных образованиях верхнего мела и также относится к турмалиновому типу касситерит-силикатно-сульфидной формации. Рудные тела располагаются в минерализованных зонах дробления. Как и на участке Лучистом, они представлены метасоматическими турмалинитами. Однако минералогический состав руд здесь иной: он отличается тонко рассеянным касситеритом и обилием сульфидных минералов, представленных сфалеритом, пирротином, арсенопиритом и галенитом. За счет значительного распространения сульфидов рудные зоны с поверхности сильно изменены и превращены в сильно лимонитизированные зоны окисления. Рудные тела обнажаются в нижней части склона крутизной от 15 до 30°. На поверхности

Содержание олова в растениях северной подзоны зоны смешанных хвойно-широколиственных лесов (турмалин-касситерит-сульфидное рудопроявление участка Нижнего)

Растение	Орган	Sn, % (верхний предел)	Растение	Орган	Sn, % (верхний предел)	
Ель аянская	Ветви	0,010	Береза маньчжурская	Ветви	0,001	
	Кора	0,003		Кора	0,03	
	Древесина	0,010		Древесина	0,001	
Кедр корейский	Ветви	0,002	Клен желтый	Листья	0,001	
	Кора	0,005		Ветви	0,001	
	Древесина	0,003		Кора	0,001	
Пихта белокорая	Хвоя	0,003	Осина	Древесина	0,001	
	Ветви	0,001		Ива сухолюбивая	Ветви	0,002
	Кора	0,001			»	0,001
Лиственница даурская	Древесина	0,010	Малина сахалинская	»	0,001	
	Хвоя	0,030	Кипрей узколистный	»	0,001	
		Кора	0,003	Щитовник Линнея	»	0,002
			Осока мечевидная	»	0,002	
			Вальдштейния тройчатая	»	0,003	
			Хилокомиум	»	0,002	

склона распространены делювиальные накопления, достигающие 3—5 м мощности. Более низкие абсолютные высоты участка (700—800 м) обусловили развитие здесь иного, чем на участке Лучистом, растительного покрова.

На площади рудного поля распространены елово-пихтовые леса со значительным участием кедра корейского, березы маньчжурской и ребристой, клена желтого и мелколистного. На склонах северной экспозиции в древостое присутствует лиственница даурская.

Здесь почвенный покров не опробовался по тем же причинам, что и на участке Лучистом.

Биогеохимические опробования на участке Нижнем показали, что олово содержится в 7 видах деревьев, в 2 видах кустарников и в 5 видах трав и мхов, т. е. всего в 14 видах растений. Все эти виды содержат олово, особенно в повышенных количествах, над зоной минерализации (табл. 39). Встречаемость в растениях составляет свыше 50%. Местный геохимический фон так же, как и на участке Лучистом, равен 0,001%.

Весьма характерно, что как и на участке Лучистом, наибольшие содержания олова отмечаются в древесных, особенно хвойных растениях (%): ели аянской — 0,01, пихты белокорой — 0,01, лиственницы даурской — 0,03; в коре березы маньчжурской накопление достигает 0,03%. Максимальные концентрации в растениях отмечаются только под рудным телом. Они составляют 0,005—0,003%, что в 5—30 раз больше фона в растениях. За пределами оруденения в местах распространения «стерильных» вулканитов олово в растениях не обнаружено.

Следует отметить, что в отличие от участка Лучистого здесь в связи с иным минералогическим составом оруденения зола растений богата такими халькофильными элементами, как свинец, цинк и серебро. Содержание их в растениях под зоной оруденения достигает соответственно 0,1; 1,0 и 0,003% (при фоне 0,001; 0,01; 0,0001%), т. е. эти элементы являются биогеохимическими индикаторами оруденения данного типа.

В качестве доказательства были обработаны результаты биогеохимического опробования растений на свинец на обоих участках. Оказалось, что на том и другом участке свинец содержится в растениях (в 151 пробе — уч. Лучистый; в 208 пробах — уч. Нижний). На обоих участках местный геохимический фон свинца в растениях, рассчитанный с учетом флангов оруденений и безрудных пород, составляет 0,001%, что

Содержание свинца в растениях и их органах под зоной касситерит-сульфидной минерализации участка Нижнего (верхний предел), %

Растение	Хвоя (листья)	Ветви	Кора	Древесина
Кедр корейский	0,001	0,030	0,020	0,01
Пихта белокорая	0,020	0,030	0,010	0,05
Ель аянская	0,003	0,050	0,002	0,08
Береза маньчжурская	0,003	0,050	0,030	0,10
Клен желтый	0,005	<0,001	0,001	0,05
Осина	0,005	0,030	0,004	0,10
Ива сухолюбивая	0,003	0,005		
Малина сахалинская	0,001	0,050		
Спирея березолистная	0,001	0,010		
Щитовник Линнея	0,010			
Хилокомиум	0,010			
Ветреница теневая	0,002			
Осока ланцетная	0,003			
Чистотел большой	<0,001			
Польнь побегоносная	0,001			
Кипрей узколистный	0,005			
Майник двулистный	0,002			
Вейник Лангедорфа	0,001			

соответствует кларку этого металла в растениях (Малюга, 1963). Однако наибольшие количества свинца в растениях на участках резко отличаются. Если на участке Лучистом максимальные количества свинца составляют всего лишь 0,005—0,007% (в 10 пробах независимо от зоны оруденения), то на участке Нижнем аномальные содержания этого металла достигают 0,01—0,1% (в 33 пробах и только под рудной зоной), т. е. в 100 раз больше местного геохимического фона и кларка в растениях.

Таким образом, на участке Нижнем свинец дает контрастные истинные биогеохимические аномалии и может являться хорошим биогеохимическим индикатором касситерит-сульфидных месторождений, что, естественно, было отмечено и на других оловорудных месторождениях и рудопроявлениях с сульфидной минерализацией. На участке Лучистом имеют место только слабоконтрастные «ложные» биогеохимические аномалии свинца, не связанные с зоной оловянного оруденения. Следовательно, для турмалин-кварц-касситеритового оруденения свинец не может быть биогеохимическим индикатором.

Весьма характерно, что общей биогеохимической чертой свинца является его наибольшая концентрация (над рудной зоной участка Нижнего) в деревьях, особенно в древесине (до 0,08—0,1%), в кустарниках (до 0,05%), в папоротниках и мхах (до 0,01%). В травянистых растениях содержание превышает местный геохимический фон только в 2—3, реже в 5 раз (табл. 40).

Аналогичные закономерности характерны и для серебра. Как указывалось выше, на обоих участках фон этого металла в растениях равен 0,0001%, однако накопление разное. На участке Лучистом наибольшие количества серебра в растениях достигают лишь 0,0003%, что только в 3 раза выше фона, причем они отмечены в растениях (хвойные породы) в точках наблюдения выше по склону от рудного тела, в то время как на участке Нижнем наибольшие содержания серебра обнаружены в растениях, распространенных только над рудной зоной. Максимальные накопления этого металла в древесине хвойных растений (ель аянская, пихта белокорая, кедр корейский, лиственница даурская) достигают 0,001—0,003%, что в 10—30 раз больше местного геохимического фона.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОЛОВОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЯХ БАДЖАЛЬСКОГО ХРЕБТА

Постановка биогеохимических исследований в указанном районе обусловлена тем, что проявления оловянной минерализации здесь находятся в условиях резко расчлененного горного рельефа и приурочены по вертикальной поясности к верхней границе растительного покрова среднетаежной подзоны зоны хвойных лесов (Колесников, 1969). Непосредственно район биогеохимических исследований расположен в бассейне р. Прав. Суюгачан (приток Ярапа) с абсолютными отметками местности до 2060 м и относительными превышениями порядка 400—500 м. Ландшафтной особенностью местности описываемого района является господствующее распространение светлохвойных лесов, представленных главными древесными породами — лиственницей даурской и кедровым стлаником. Подчиненное значение имеют ель аянская и береза каменная. Главные представители кустарников — рододендрон золотистый и багульник; кустарничков — брусника; травяно-лугового покрова — дерен канадский, сфагнум, хелодидум, ягель и др.

Весьма характерно здесь почти полное отсутствие почвенного покрова как такового, особенно на участках биогеохимических работ. Вместо него склоны покрыты каменными осыпями или крупноглыбовыми образованиями с размером отдельных глыб до $1,5 \times 2$ м и более. На участках выше границы леса глыбы покрыты накипными лишайниками, а в пределах лесной полосы прикрыты подушкой зеленых мхов. В расщелины между глыбами проникают мощные корни древесных растений — лиственницы даурской, кедрового стланика, ели аянской и др. Корни обнимают, переплетают каменные глыбы, проникают на глубину, где находят необходимые для растений питательные вещества и влагу. В этой местности развиты мощные древесные насаждения лиственницы и заросли кедрового стланика без видимого мелкозема и почвенного покрова.

Если говорить об условиях применения геохимических методов поисков рудных месторождений в описываемых ландшафтах, то здесь возможно только использование сколкового и биогеохимического методов. По мнению геологов-поисковиков, проводивших в районе поисковые работы, копушение в таких ландшафтах с целью отбора шлиховых проб не всегда дает положительные результаты, так как делювий исключительно крупноглыбовый, имеет большую мощность, и промывочный рыхлый материал, необходимый для шлиховых проб, в большинстве случаев отсутствует. По этой же причине затруднено и применение литогеохимического метода по вторичным ореолам рассеяния.

В указанном районе биогеохимические исследования были выполнены на двух участках. *Первый участок* расположен на крутом склоне до 30° , в верховьях кл. Крутого, на абсолютных отметках 1500—1600 м, где ранее геологами-съемщиками была обнаружена зона гидротермально измененных турмалинизированных пород в составе светло-серых биотитовых гранитов, контактирующих с кислыми эффузивами мелового возраста. Турмалинизация выражена довольно четко и представлена в виде массивных скоплений турмалина до 20—30 см в поперечнике, а также турмалинового солнца. В ассоциации с турмалином находится касситерит, для которого характерны единичные мелкие буровато-коричневые кристаллики размером до 0,5—1,0 см. Кроме турмалина и касситерита в составе минерализации имеется мелкокрапленный вольфрамит, а также включения молибденита, арсенопирита, галенита, сфалерита, висмутин и базобисмутита. Весьма характерен для зоны минерализации висмутин, который встречается вместе с халькопиритом и самородным висмутом. Базобисмутит, имеющийся в составе зоны оруденения, развивается по висмутину и самородному висмуту. Таким образом, кварц-турмалиновые жилы — основной тип минерализации на участке. Надо отметить,

что в этих жилах касситерит находится в подчиненном значении по сравнению с вольфрамитом, шеелитом и висмутовыми минералами, а также молибденитом, галенитом и сфалеритом, и концентрация олова в штучных породах колеблется от 0,01 до 0,1%. В штучных пробах из кварц-турмалиновых жил содержание вольфрама достигает 1,25%, молибдена 0,09, свинца и цинка — 1, серебра до 1%.

В целом зона минерализации на участке с поверхности выражена чрезвычайно слабо, хотя ранее выполненными поисковыми работами, предшествовавшими биогеохимическому опробованию*, была сделана попытка вскрыть зону серией канав (№ 7, 8, 9, 11, 13 и др.), которые практически не были добыты до коренных пород. Однако судя по отвалам, наибольшая минерализация (турмалинизация) была характерна для канавы 7, поэтому местоположение последней предположительно принималось за эпицентр зоны оруденения участка.

Вкрест простирания предполагаемой рудной зоны был заложен биогеохимический профиль; верхняя часть его, расположенная гипсометрически выше по склону, уходила за пределы зоны, в поле распространения кислых эффузивов. На профиле было заложено 20 точек наблюдения (т. н.) — пунктов опробования растительного покрова, через 20 м друг от друга. В общей сложности на профиле было отобрано свыше 200 биогеохимических проб. Канавы 7 на профиле биогеохимического опробования соответствовала т. н. 12.

Обработка результатов биогеохимического опробования показала, что вследствие слабой оловянной минерализации олово обнаружено в т. н. 8 в бруснике (0,001%) и сфагнуме (0,001%). Однако зона коренного оруденения прекрасно отбивается по содержанию в растениях других элементов, сопровождающих рудопроявление олова, в частности, свинца, серебра, висмута, скандия и вольфрама.

Так, например, свинец в наибольшем количестве (до 0,02%) отмечен в растениях, распространенных в т. н. 7, 8, 9 при фоновых содержаниях 0,001%. За пределами этих точек содержание его в растениях не превышает 0,002—0,004%.

Серебро при фоновых содержаниях 0,0001% в наибольшем количестве (до 0,001—0,005%) обнаружено в растениях, в частности в древесине ели аянской в т. н. 5, 6, 7, 8, что в 10—50 раз больше фона. На других точках наблюдения содержание серебра не превышает 0,0001—0,0002%.

Весьма интересно распределение висмута в растениях по биогеохимическому профилю. Этот металл появился в растениях от начала профиля в т. н. 5 (0,001%) в коре и древесине ели аянской и в хвое кедрового стланика. В т. н. 6 и 7 его содержание достигает 0,001—0,003% (древесина ели аянской). В максимальном количестве (0,1%) висмут обнаружен в хвое кедрового стланика и т. н. 8, что в 100 раз превышает его фон (0,001%) в растениях на участке. Ниже по склону висмут в фоновых количествах (0,001%) обнаружен только в т. н. 9 и 10 (ветви рододендрона золотистого и кедрового стланика, а также в т. н. 15 (древесина ели аянской) и т. н. 20 (дерен канадский). В остальных точках этот металл в растениях не отмечен. Таким образом, висмут — прекрасный биогеохимический индикатор зоны минерализации данного генетического типа.

Также хорошим биогеохимическим индикатором оруденения является скандий. Как известно, этот элемент — спутник олова — сопровождает оловянную минерализацию, находясь в качестве изоморфной примеси в касситерите. По биогеохимическому профилю скандий обнаружен в т. н. 6 и 7 в зеленых мхах (хелодиум и сфагнум — до 0,002%). Наибольшее количество его (0,003%) установлено в хвое ели аянской и сфагнуме (тоже в т. н. 8). Ниже по склону этот металл содержится только в зеленых мхах—0,001—0,002% (т. н. 9, 10, 11, 12). В остальных точках наблюдения на профиле скандий в растениях не обнаружен.

* Биогеохимическое опробование проводилось в июле 1970 г.

Вольфрам в растениях установлен только в единичных пробах: в двух растениях т. н. 5 — в древесине ели аянской (0,05%) и в листьях рододендрона золотистого (0,01%); в двух растениях т. н. 8 — в хвое кедрового стланика (0,05%) и в бруснике (0,03%) и в т. н. 9 — в ветвях рододендрона (0,03%). Выше и ниже по склону от этих точек вольфрам в растениях на биогеохимическом профиле не зафиксирован.

Таким образом, по всем главным химическим элементам оруденения — олову, серебру, висмуту, вольфраму и скандию — биогеохимические аномалии появляются на профиле в районе т. н. 8. Вероятно, местоположение т. н. 8 на профиле биогеохимического опробования можно принять за истинный эпицентр основного рудного тела зоны минерализации, а не т. н. 12 (канавка 7), как предполагалось ранее, до биогеохимического опробования, т. е. на 80—90 м выше по склону. Мощность зоны минерализации по данным содержания металлов в растениях достаточно велика: с т. н. 5 по т. н. 9 биогеохимического профиля, т. е. в пределах 80—100 м. Следовательно, биогеохимическое опробование позволило уточнить местоположение зоны оруденения, обнаруженной по результатам шлихового опробования, примерно на 80 м вверх по склону. Иными словами, биогеохимическая индикация дает возможность более точно установить местоположение эпицентров рудных зон, чем шлиховое опробование. Учитывая трудоемкость шлихового опробования в сравнении с биогеохимическим, можно представить себе исключительную перспективность биогеохимического метода в предварительных поисках в аналогичных описанным выше сложных ландшафтных условиях.

Второй участок биогеохимического опробования был расположен в бассейне кл. Вольфрамового (левого притока р. Прав. Суйгачан). В геологическом строении участка принимают участие контактово-измененные верхнемеловые кварцевые порфириды и прорывающие их биотитовые граниты. Рудная минерализация этого участка аналогична описанной выше (кл. Крутой), т. е. представлена касситеритом, вольфрамитом, шеелитом, галенитом, висмутином, базобисмутитом и другими минералами, однако здесь содержание вольфрама преобладает над касситеритом. Из второстепенных минералов отмечены турмалин, циркон, топаз, корунд и др. Основной минерал — вольфрамит образует массивные кристаллы до 10—12 см в кварце белого и светло-серого цвета. Рудная зона сложена главным образом вторичными кварцитами, для которых характерно наличие щеток и одиночных кристаллов горного хрусталя, раухтопаза, мориона. В делювиальных глыбах размером до 1,5×2 м, представленных вторичными кварцитами, встречаются многочисленные занорыши, пустоты и каверны, выполненные щетками горного хрусталя. Непосредственно зона оруденения расположена на склоне крутизной до 30° и более, примерно на абсолютных отметках 1400 м. Частично оруденение вскрыто в осыпи, сложенной глыбами до 2 м в поперечнике. Растительный покров аналогичен таковому кл. Крутого.

На предполагаемом фланге рудной зоны был заложен биогеохимический профиль, на котором с 10 точек наблюдения было отобрано около 100 биогеохимических проб. Оказалось, что растения фиксируют предполагаемую минерализацию (т. н. 23) по содержанию в них всех основных химических элементов оруденения.

Вольфрам обнаружен в ягеле (до 0,02%), олово — в древесине ели и ягеле (<0,001%), серебро — в древесине ели (0,001%), висмут — в ветвях багульника, древесине ели и бруснике (<0,001%), скандий — в зеленых мхах (<0,001%). Как видим, содержание указанных элементов в растениях невелико и обусловлено общей слабой минерализацией. Однако учитывая, что все главные химические элементы оруденения обнаружены в растениях только в т. н. 23, а в остальных точках встречаются спорадически, то можно говорить о положительных результатах биогеохимической индикации зон минерализаций аналогичного типа в охарактеризованных выше ландшафтных условиях Баджалского хребта.

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИГРАЦИИ И НАКОПЛЕНИЯ ОЛОВА В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ НА ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ И РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ

Закономерности миграции и накопления олова в почвах

Проведенные биогеохимические исследования на оловорудных месторождениях и рудопроявлениях разного генетического типа в различных ландшафтных зонах Дальнего Востока позволили установить определенные закономерности миграции и накопления основного элемента оруденения — олова в почвах и в растениях.

Прежде всего следует отметить, что на всех изученных объектах почвы относятся по общепризнанной классификации (Ливеровский, 1969) к бурым лесным, бурым горно-лесным и буро-таежным, развитым в пределах зон хвойно-широколиственных и темнохвойных лесов.

Следовательно, при поисках рудных месторождений литогеохимическим методом в пределах этой территории металлометрические пробы фактически отбираются из бурых лесных, бурых горно-лесных и буро-таежных почв. Опыт изучения этих почв показывает, что они, в первом приближении, состоят из трех генетических горизонтов: верхнего горизонта А, нижележащего иллювиального горизонта В и переходного горизонта ВС.

Верхний гумусированный генетический горизонт А — наиболее рыхлый, в зависимости от генетических особенностей почвенных разрезов индексируется различно: A_1 — собственно гумусовый горизонт; A_0A_1 — гумусовый горизонт совместно с лесной подстилкой. Иногда под гумусовым горизонтом встречается относительно осветленный (наиболее выщелоченный) горизонт, обозначающийся A_2 .

Иллювиальный горизонт В наиболее уплотнен и содержит повышенное количество глинистых и илистых частиц. В зависимости от характера уплотнения и морфологических особенностей он подразделяется на V_1 , V_2 , V_3 и т. д.

Переходный горизонт ВС, находящийся в нижней части почвенного профиля, на границе почвообразующих пород, несет в себе те же признаки мывания минеральных частиц, что и горизонт В, но из-за его непосредственной близости к почвообразующим породам он более щебнист. Мелкозем в нем имеет подчиненное значение, заполняя пространство между глыбами выветрелых пород.

При изучении геохимии указанных почвенных генетических горизонтов на оловорудных месторождениях установлено, что в каждом из них в максимальном количестве содержатся лишь определенные химические элементы. Так, малоподвижные и геохимически инертные редкие и рассеянные химические элементы — олово, цирконий, бериллий, скандий, хром и др. накапливаются в нижней части почвенного профиля, т. е. в горизонте ВС, находясь там преимущественно в составе обломков устойчивых минералов — касситерита, циркона, берилла, хромита и др. В этом же генетическом горизонте отмечается наибольшее количество и полиметаллов — цинка, меди и свинца. Но эти элементы содержатся в максимальном количестве в горизонте ВС в безминеральной форме (Крицук, 1963), благодаря сорбции гидроокислами марганца и железа. Кроме того, в этом же генетическом горизонте цинк, медь, свинец частично сорбируются глинистыми частицами.

Довольно большая группа химических элементов — никель, кобальт, ванадий, галлий, барий и др. обнаруживают тенденцию накапливаться в иллювиальном горизонте В, содержащем наибольшее количество

глинистых и илистых частиц, которые охотно сорбируют указанные химические элементы в почвах гумидных ландшафтов (Перельман, 1966). Марганец в силу его высокой биогенности склонен накапливаться в верхнем гумусовом горизонте А, на что в свое время указывали А. П. Виноградов (1957) и Д. П. Малюга (1963).

Установленные геохимические особенности накопления редких и рассеянных химических элементов, а также цветных металлов в бурых лесных, бурых горно-лесных и буро-таежных почвах рудных районов прослеживаются во всех ландшафтных зонах Дальнего Востока — в зоне темнохвойных лесов, в зоне хвойно-широколиственных лесов и в зоне лесостепи. Это свидетельствует о том, что отбор металлометрических проб при поисках рудных месторождений литогеохимическим методом необходимо проводить дифференцированно, исходя из особенностей накопления металлов в изученных почвах. Например, при поисках оловорудных месторождений отбор наиболее представительных металлометрических проб рациональнее производить из горизонта ВС, содержащего, как правило, максимальное количество олова (табл. 41). Например, содержание олова в верхней части почвенных разрезов в гумусовом горизонте А в 12—14 раз меньше, чем в наиболее богатом переходном к коре выветривания генетическом горизонте ВС. Эта особенность максимального накопления олова в горизонте ВС бурых лесных почв сохраняется во всех современных корах выветривания, сформированных на различных рудовмещающих породах — на эффузивных, интрузивных, осадочных и т. д.

Таблица 41

Содержание олова в генетических горизонтах почв в зависимости от почвообразующих пород и типа оловянного оруденения в различных ландшафтных зонах Дальнего Востока*

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Sn, %	Тип оловянного оруденения	Место заложения почвенного разреза
VI №5	A ₁	5—10	Сл.	Касситеритово-полиметаллическое рудопроявление в гранодиоритах	Верхняя часть склона (участок широколиственных лесов)
	B ₁	22—27	0,005		
	B ₂	38—45	0,004		
	BC	66—75	0,015		
VI №10	A ₁	3—10	0,0009	То же	Нижняя часть склона сопки (участок широколиственных лесов)
	B ₁	20—26	0,0048		
	B ₂	48—56	0,0048		
	BC	87—92	0,0130		
KI №10	A ₀ A ₁	0—3	0,027	Кварц-касситеритовое оруденение в кислых эффузивах	Нижняя часть склона сопки (зона кедрово-широколиственных лесов)
	B ₁	8—12	0,280		
	B ₂	25—30	0,030		
	BC	40—45	0,360		
KI №27	A ₀ A ₁	0—10	Сл.	То же	Верхняя часть склона сопки (зона кедрово-широколиственных лесов)
	B ₁	10—22	»		
	B ₂	22—35	»		
	BC	35—55	0,36		
TI №1	A ₁	17—25	0,0009	Сульфидно-касситеритовое оруденение в алевритовых и песчаных породах	Средняя часть склона сопки (зона темнохвойных лесов)
	B	35—50	0,0020		
	BC	65—80	0,0120		

* Определение выполнено количественным спектральным анализом в Центральной лаборатории Уралгеолуправления, г. Свердловск.

Содержание олова в иллювиальном горизонте В имеет промежуточное значение относительно горизонтов А и ВС.

Глубина залегания генетического горизонта ВС во всех ландшафтных зонах оловорудных районов Дальнего Востока различная и зависит в первую очередь от крутизны склона сопок и характера почвообразующих (корообразующих) пород. Так, в почвах и в современной коре выветривания, сформированных на кислых эффузивных породах в низкогорном рельефе с крутизной склонов сопок до 30° , глубина залегания горизонта ВС колеблется от 25 до 55 см (кварц-касситеритовое месторождение), а в таких же ландшафтных условиях, но в почвах и в современной коре выветривания, сформированной на гранодиоритах (оловянно-полиметаллическое рудопроявление), глубина залегания этого горизонта колеблется от 40 до 70 см и более. При прочих равных условиях в водораздельной части сопок глубина залегания горизонта ВС в почвах, сформированных на гранодиоритах, значительно меньше, чем в нижней, выложенной части склонов. Дифференцированный отбор металлометрических проб из наиболее представительных генетических горизонтов современной коры выветривания при литогеохимических поисках рудных месторождений на территории Дальнего Востока дает возможность установить контрастные литогеохимические аномалии и вскрыть рудные тела при минимальных затратах поисковых горных работ.

Следует отметить, что до сих пор геологи-поисковики слабо обращают внимание на генетическую сторону рыхлых отложений (почв), опробуемых в процессе геохимических поисков, и тем самым сводят поиски к формальному выполнению инструкции не только на Дальнем Востоке, но и на других регионах нашей страны. В большинстве случаев современную кору выветривания и сформированные на ней почвы в рудных районах они рассматривают в генетическом аспекте как рыхлые элювиально-делювиальные отложения, а всю совокупность текстурно-структурных и минерало-геохимических особенностей заменяют одним емким словом «суглинок». Отсюда становится понятно, что существующая методика литогеохимического метода поисков базируется на формальном подходе к современной коре выветривания и почвам. Эта методика не заостряет внимания на генетической сущности тех образований, которые опробуются в процессе литогеохимических поисков. С другой стороны, до сих пор бытует ошибочное мнение, что изучение вещественного состава почв и теории почвообразовательных процессов — это область только почвоведов, агрохимиков и биологов. Между тем почва, равно как и современная кора выветривания, — это прежде всего объект изучения литологии и геохимии, т. е. наук геологического профиля, дающих возможность установить как общие закономерности формирования современных рыхлых осадков, так и направленность гипергенных геохимических процессов, протекающих в них.

Поэтому не случайно крупнейший специалист в нашей стране по корам выветривания В. П. Петров (1967) отметил, что «в современном почвоведении главное внимание уделяется биолого-хозяйственным вопросам, геологическое значение почвы часто отходит на второй план» (Петров, 1967, с. 10).

Таким образом, при разработке биогеохимического метода были получены материалы, позволяющие совершенствовать методику применения литогеохимических поисков в оловорудных районах Дальнего Востока.

Для установления степени накопления олова в почвах в зависимости от почвообразующих пород был применен метод изоволюметрии или метод абсолютных масс (Лисицина, 1966). С этой целью весовые процентные содержания элементов пересчитывались с учетом объемного веса образцов почв каждого генетического горизонта. Результаты пересчетов на содержание олова (в $\text{мг}/\text{см}^3$) приведены в табл. 42. Оказалось, что общая

Оценка степени накопления олова в почвах, образованных на различных породах с учетом плотности (объемного веса) генетических горизонтов

Разрез	Почвообразующие породы	Горизонт	Глубина, см	Sn, %	Плотность, г/см ³	Sn, мг/см ³
К1 № 21	Кислые магматические	A ₁	0—10	0,002	1,05	0,021
		B ₁	10—25	0,008	1,15	0,092
		B ₂	25—35	0,010	1,24	0,124
		BC	35—55	0,030	1,50	0,450
В1 №21	Средние магматические	A ₁	0—10	0,002	1,10	0,0220
		A ₂	10—20	0,030	1,15	0,3450
		B	20—40	0,002	1,24	0,0248
		BC	50—60	0,030	1,40	0,4200
		C	60—70	0,001	1,65	0,0165
А1 № 13	Терригенные	A ₁	0—5	0,001	1,05	0,0105
		B	5—12	0,008	1,24	0,0992
		BC	12—35	0,010	1,50	0,1500
Т11 № 3	Терригенные	A ₁	5—20	0,01	1,05	0,105
		B ₁	20—35	0,02	1,10	0,220
		B ₂	35—60	0,03	1,15	0,345
		BC	60—90	0,04	1,50	0,060

Примечание. Величина плотности дана по материалам В. А. Махинина (1970 г.)

тенденция накопления олова в нижних горизонтах почвенных разрезов, установленная на основании весовых процентов, сохраняется и в пересчете на объемный вес (плотность). Однако с учетом объемного веса содержание олова в генетических горизонтах, вероятно, более реальное. Это можно проследить на примере разреза В1 № 21, где в горизонтах A₂ и BC содержание олова в весовых процентах одинаково и равно 0,03%. С учетом плотности указанных горизонтов содержание олова в горизонте A₂ равно 0,345 мг/см³, а в горизонте BC — 0,42 мг/см³, т. е. несколько больше. Действительно, сравнивая природу генетических горизонтов A₂ и BC, можно заметить, что они имеют различную генетическую сущность: горизонт A₂ — рыхлый, наиболее выщелочен, осветлен, содержит относительно мало глинистых частиц; горизонт BC имеет преимущественно иллювиальную природу, в нем накапливаются глинистые частицы и подвижные гидроокислы железа, алюминия и кремнезема, вследствие чего он более уплотнен. Следовательно, по генетической сущности горизонт BC более предрасположен к накоплению в нем редких элементов, в частности олова, чем горизонт A₂.

Следует отметить, что поскольку тенденция накопления олова в нижней части почвенных разрезов на разных породах хорошо выявляется как по весовым, так и объемным содержаниям, то, вероятно, при металлометрических поисках нет надобности делать пересчеты весовых процентов на объемный вес. Очевидно, такие пересчеты необходимо проводить при специальных тематических исследованиях, когда нужно изучить геохимический баланс минерального вещества в современной коре выветривания и в почвах.

Закономерности накопления олова в растениях

Результаты биогеохимических исследований с целью разработки биогеохимического метода поисков показали, что в каждой из указанных ландшафтных зон олово, несмотря на его весьма слабую геохимическую подвижность в условиях гипергенеза (Ферсман, 1959), дает в растениях устойчивые биогенные ореолы рассеяния с четко выраженными в пределах ореолов биогеохимическими аномалиями. Для указанных выше ландшафтных зон Дальнего Востока установлены локальные растения-концентраторы олова, не считая тех, которые содержат этот металл в пределах местного геохимического фона, равного 0,001%. Однако имеются некоторые свои особенности накопления элемента в растениях каждой ландшафтной зоны.

Так, в северной подзоне зоны хвойно-широколиственных лесов (кварц-касситеритовое с сульфидами месторождение Малого Хингана и турмалин-касситерит-сульфидное рудопроявление участка Нижнего) от 0,006 до 0,06% олова концентрируют древесина, ветви и хвоя ели аянской, органы пихты белокорой и лиственницы даурской, кора березы ребристой, ветви и ствол ивы Бредина, корни аралии маньчжурской, малины сахалинской и рябинолистника рябинолистного. Наилучшими концентраторами являются полынь побегоносная, осоки (горная маньчжурская, ланцетная, уссурийская и мечевидная) и зеленые мхи (политрихум обыкновенный и мниум остроконечный), в золе которых содержится от 0,1 до 0,3% олова. Степень накопления олова в золе растений-концентраторов, например осоках, в 300 раз выше местного геохимического фона (т. е. содержания в обычных растениях на месторождениях в данной ландшафтной зоне), равного 0,001%. По сравнению с кларком в растениях по А. П. Виноградову (1954), равным 0,0005%, степень накопления олова в растениях-концентраторах на месторождениях в северной подзоне зоны хвойно-широколиственных лесов составляет 600 единиц, т. е. концентрация его в 600 раз больше среднего содержания (кларка) в растениях в целом для всей наземной растительности. Особенностью накопления олова в растениях данной подзоны зоны хвойно-широколиственных лесов является преобладание акропетального поглощения (Сабинин, 1955), т. е. накопления в старых органах растений, иными словами, наибольшее содержание этого элемента в древесных растениях и кустарниках отмечается в коре и древесине, в частности в коре березы ребристой, кедра корейского, лиственницы даурской, липы амурской, тополя душистого, ивы Бредина, бархата амурского.

В средней подзоне зоны хвойно-широколиственных лесов (касситерит-станнино-сульфидное месторождение) от 0,01 до 0,04% олова содержит хвоя кедра корейского, древесина ели аянской, листья и древесина березы ребристой, листья клена желтого, корни чубушника тонколистного и зеленый мох — политрихум обыкновенный и др. Эти растения — хорошие концентраторы олова для данной подзоны. Степень накопления в них в 40 раз выше местного геохимического фона, также равного 0,001%, как и в северной подзоне, и в 80 раз больше кларка в растениях по А. П. Виноградову (1954). Для данной подзоны характерно преобладание базипетального поглощения олова в древесных и кустарниковых видах растений (Сабинин, 1955), т. е. накопление его в молодых и репродуктивных органах, например в хвое кедра корейского, в листьях березы ребристой, в листьях клена желтого, в листьях лещины разнолистной.

Сравнивая список растений, содержащих олово, северной и средней подзон зоны хвойно-широколиственных лесов, приходим к выводу, что, по существу, этот химический элемент содержится в одних и тех же растениях. Из древесных это кедр корейский, ель аянская, береза ребри-

стая, липа амурская; из кустарников — актинидия коломикта, спирея средняя и чубушник тонколистный; из травянистых растений — осоки, страусопер германский и зеленые мхи, в частности политрихум обыкновенный. В некоторых растениях этих подзон металл накапливается даже в одних и тех же органах. Например, из кустарников олово накапливают корни чубушника тонколистного, корни спиреи средней, листья и побеги актинидии. Такая идентичность особенно характерна для политрихума обыкновенного, который максимально накапливает этот элемент и является наиболее типичным растением-концентратором олова.

Некоторые закономерности в накоплении олова наблюдаются и у древесных и кустарниковых растений этих двух подзон. Как указывалось выше, в северной подзоне зоны хвойно-широколиственных лесов у древесных растений и кустарников преобладает акропетальное поглощение, т. е. накопление в старых органах, в то время как в средней подзоне преобладает базипетальное, т. е. накопление в молодых и репродуктивных органах. Чем обусловлена такая особенность, нам не совсем ясно и пока объяснить это природное явление не представляется возможным. По-видимому, это связано со спецификой природных условий указанных подзон, и в частности с муссонным климатом.

В южной подзоне зоны темнохвойных лесов (сульфидно-касситеритовый Комсомольский рудный узел и турмалин-кварц-касситеритовое рудопроявление участка Лучистого) от 0,005 до 0,04% олова накапливают органы ели аянской, пихты белокорой, березы маньчжурской, а также ива сухолюбивая, спирея средняя, малина сахалинская, кипрей, осоки и зеленые мхи. В зеленых мхах, в частности в политрихуме обыкновенном, концентрируется максимальное количество этого элемента — до 0,04%, что в 40 раз выше местного геохимического фона и в 80 раз больше кларка в растениях по А. П. Виноградову (1954). Из хвойных пород к растениям-концентраторам олова как и в зоне хвойно-широколиственных лесов относится также и ель аянская.

Сравнивая растения, содержащие олово, зоны хвойно-широколиственных лесов и южной подзоны зоны темнохвойных лесов, также обнаруживаем общие растения-концентраторы. Из древесных пород — это ель аянская, из кустарников — ива Бредина, спирея средняя и малина сахалинская, из трав —вейник Лангсдорфа, кипрей, осоки и, как правило, зеленые мхи. При биогеохимических поисках олова в данных ландшафтных зонах отбор проб из этих растений-концентраторов даст положительные результаты.

В зоне широколиственных лесов (оловянно-полиметаллическое рудопроявление) в древесных видах олово обнаружено в березе даурской, ильме крупноплодном и бархате амурском. В кустарниках оно содержится в органах ивы Бредина, леспедецы двуцветной, лещины разнолистной, спиреи средней, чубушника тонколистного, малины сахалинской. Из травянистых растений олово установлено в полыни побегоносной, в щитовнике, в землянике восточной и осоке узколистной. Во всех этих видах элемент содержится от 0,001 до 0,003%, что в 3 раза выше местного геохимического фона и в 6 раз больше кларка в растениях по А. П. Виноградову (1954). По сравнению с растениями зон темнохвойных и хвойно-широколиственных лесов олова здесь меньше, что, однако, объясняется слабой оловянной минерализацией рудопроявления и незначительным содержанием его в рудах. Но тем не менее можно отметить, что и в зоне широколиственных лесов металл содержит в основном те же растения, как и в зоне хвойно-широколиственных лесов. Такими растениями являются, например, березка даурская, ива Бредина, бархат амурский, спирея средняя, малина сахалинская, папоротники и осоки. Но и здесь есть свои, характерные для данной ландшафтной зоны растения, накапливающие олово, — это леспедеца двуцветная, лещина разнолистая, земляника восточная и др.

В зоне лесостепи (станции-касситеритовые и касситеритовые рудопроявления) олово также дает хорошие биогенные ореолы рассеяния в растениях: от 0,003 до 0,01% оно обнаружено в листьях и ветвях дуба монгольского, березы даурской, леспедецы двуцветной, лещины разнолистной, в спирее средней, а также в травянистых растениях — клевере ползучем, вике приятной, землянике восточной, орляке обыкновенном и др., что в 10 раз выше местного геохимического фона и в 20 раз больше кларка в растениях по А. П. Виноградову (1954). Кроме этих растений, олово в пределах местного геохимического фона содержат мята даурская, чемерица черная, подмаренник настоящий, мискантус сахароцветный, кохия венечная, осока пузыреватая и др., т. е. травянистые растения, достаточно характерные для зоны лесостепи Дальнего Востока.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что для зон широколиственных лесов и лесостепи присуща большая встречаемость и накопление олова в травянистых растениях, что, собственно, обусловлено спецификой растительных ассоциаций указанных ландшафтных зон. Однако и для этих зон имеются одни и те же растения-концентраторы: из древесных видов — это дуб монгольский и береза ребристая, из кустарников — спирея средняя, леспедеца двуцветная, лещина разнолистая, из трав — земляника восточная, орляк обыкновенный, полыни и осоки. Перечисленные растения можно с успехом использовать при биогеохимических поисках олова в зонах широколиственных лесов и лесостепи.

В целом для всех ландшафтных зон юга Дальнего Востока выявляются некоторые общие растения-концентраторы: из кустарников — ива Бредина, спирея средняя, из трав — полыни, осоки, папоротники, а также зеленые мхи. При этом следует особо подчеркнуть большое значение в накоплении олова зеленых мхов (сфагнум, хелодиум и т. д.), и в частности политрихума обыкновенного. По нашим данным, практически во всех ландшафтных зонах Дальнего Востока, где проводились биогеохимические исследования, это растение накапливает повышенное количество олова по сравнению с другими растениями-концентраторами. Более того, данное растение за пределами Дальнего Востока концентрирует олово даже там, где нет оловянной минерализации, т. е. накапливает его из пород и почв с кларковым содержанием последнего. Так, по данным Г. А. Парибок и др. (1967), 0,003% олова обнаружено только во мхах, и в частности в политрихуме обыкновенном, произрастающем на породах с кларковым содержанием этого металла и зоне европейской лесотундры. По данным Р. Г. Ибламинова и А. М. Кропачева (1966), зеленые мхи, в частности политрихум обыкновенный, накапливают олово на Северном Урале, где, как известно, оловянной минерализации пока не отмечено. Ю. А. Нечаев и Б. С. Финкель (1963) до 0,05% олова обнаружили в золе торфяников Пермской области, в составе которых есть и зеленые мхи. Е. И. Тараканова (1968) установила наличие этого элемента в зеленых мхах Среднего Урала и Среднего Зауралья.

Таким образом, политрихум обыкновенный, как, впрочем, и остальные зеленые мхи, является региональным растением-концентратором металла, или, по терминологии В. В. Ковальского и Н. С. Петруниной (1965), привычным растением-концентратором, по крайней мере, во всех ландшафтных зонах умеренного климата северного полушария. В этом плане значение зеленых мхов, а также ягеля чрезвычайно велико для биогеохимических поисков олова в северной части Дальнего Востока, в зонах тайги и лесотундры, где сосредоточены основные месторождения олова в нашей стране и имеются многочисленные перспективные участки.

Степень накопления олова в золе растений-концентраторов, например в осоках, в 600 раз выше кларка в растениях по А. П. Виноградову (1954), равному 0,0005% (табл. 43).

Коэффициенты биологического поглощения олова (расчет по методике А. И. Перельмана, 1966) как частное от деления процентного содер-

Растения-концентраторы олова на оловорудных месторождениях и рудопроявлениях Дальнего Востока

Растение	Орган	Sn, % (макс.)	Степень кон- центрации по сравнению с кларком в растениях по А. П. Вино- градову, 1954 (0,0005 %)	Степень кон- центрации по сравнению с местным ге- химическим фоном (0,001 %)
1	2	3	4	5
Кедр корейский	Хвоя	0,030	60	30
	Ветви	0,002	4	2
	Кора	0,005	10	5
	Древесина	0,010	20	10
Ель аянская	Хвоя	0,020	40	20
	Ветви	0,010	20	10
	Кора	0,003	6	3
	Древесина	0,020	40	20
Пихта белокорая	Хвоя	0,100	200	100
	Ветви	0,002	4	2
	Кора	0,003	6	3
	Древесина	0,010	20	10
Береза ребристая	Листья	0,030	60	30
	Ветви	0,002	4	2
	Кора	0,030	60	30
	Древесина	0,030	60	30
Клен желтый	Листья	0,030	60	30
	Ветви	0,002	4	2
	Древесина	0,003	6	3
Аралия маньчжурская	Корни	0,006	12	6
Спирея средняя	Листья	0,010	20	10
	Ветви	0,020	40	20
	Корни	0,003	6	3
Рябинолистник рябинолист- ный	Корни	0,060	120	60
Ива Бредина	Листья	0,020	40	20
	Ветви	0,030	60	30
	Древесина	0,030	60	30
Малина сахалинская	Листья	0,030	60	30
	Корни	0,060	120	60
Чубушник тонколистный	Листья	0,002	4	2
	Стебель	0,004	8	4
	Корни	0,010	20	10
Брусника	Надземная часть	0,050	100	50
Польнь побегоносная » жертвенная	Надземная часть	0,100	200	100
	» »	0,030	60	30
Орляк обыкновенный	» »	0,010	20	10
Вика приятная	» »	0,010	20	10
Кипрей узколистный	» »	0,020	40	20
Валерьяна записейская	» »	0,010	20	10

1	2	3	4	5
Осока пузырятая	Надземная часть	0,050	100	50
» горная маньчжурская	» »	0,300	600	300
» ланцетная	» »	0,300	600	300
» уссурйская	» »	0,300	600	300
» мечевидная	» »	0,300	600	300
Политрихум обыкновенный	» »	0,100	200	100
Мниум острокопечный	» »	0,100	200	100
Хелодиум Бландова	» »	0,030	60	30
Хилокомиум блестящий	» »	0,030	60	30

жания олова в золе растений на процентное содержание в почвах в пределах оловорудных проявлений во всех ландшафтных зонах Дальнего Востока больше единицы и колеблются от 1,3 до 10, что свидетельствует о достаточно высокой степени биологического поглощения этого металла растениями. Иными словами, максимальные содержания олова в золе растений, распространенных над рудными телами, в 1,3—10 раз больше самого высокого содержания в почвах также в пределах рудных зон, т. е. растения более чувствительны к фиксации олова. За пределами оловянного оруденения КВП меньше единицы.

Повышенные содержания олова в растениях-концентраторах, или так называемые биогеохимические аномалии, на всех изученных оловорудных месторождениях каждой ландшафтной зоны в общих чертах соответствуют эпицентрам залегания рудных тел. Однако в пределах биогенного ореола рассеяния отмечается некоторое смещение биогеохимических аномалий относительно рудных тел вниз по склону сопкок вследствие смещения солевых и механических ореолов. Так, в зоне хвойно-широколиственных лесов это смещение по древесным растениям и кустарникам при крутизне склона до 27° колеблется от 40 до 60 м, в то время как литогеохимическая аномалия смещается во вторичном ореоле рассеяния в почвах свыше 100 м, т. е. почти в 2 раза больше (оловорудное месторождение Малого Хингана). В данном случае незначительное смещение биогеохимических аномалий относительно рудных тел объясняется тем, что растения накапливают олово непосредственно из рудных тел и околорудных пород благодаря хорошо развитой корневой системе у древесных растений и кустарников, в то время как делювиальный снос образующегося обломочного материала современной коры выветривания значительно смещает литогеохимические аномалии вниз по склону сопкок относительно рудных тел.

Получены интересные материалы: в нижней части склона сопкок большинство растений содержит олово, особенно травы, благодаря тому, что они поселились в местах разрузки грунтовых вод, выходящих на поверхность и содержащих в повышенном количестве ионы олова. На водоразделах же, где в основном в питании растений преобладают атмосферные воды, содержащие незначительное количество ионов олова вследствие небольшой площади, которую они дренируют, растения слабее накапливают олово. Поэтому биогеохимические аномалии олова по травянистым растениям-концентраторам более смещены. Так, по данным Р. С. Климовой и др. (1960 г.), в зоне лесостепи такое смещение по травянистым растениям достигает 150 м.

Однако в любом случае биогенные ореолы рассеяния олова в растениях четко оконтуривают участки с оловянным оруденением на всех изученных оловорудных месторождениях в указанных выше ландшафтных зонах при полном отсутствии «ложных» биогеохимических аномалий.

Выяснение зависимости содержания олова в растениях от его количества в почвах производилось на ЭВМ «Мир» путем обработки спектральных анализов вариационно-статистическим методом. Полученные результаты свидетельствуют о том, что между содержанием олова в почвах

и растениях наблюдается очень слабая корреляционная связь с коэффициентом корреляции 0,1. Это, очевидно, объясняется тем, что растения поглощают олово не столько из почв, где олово присутствует в виде труднорастворимого касситерита, сколько из трещинных вод, циркулирующих в зонах оруденения и содержащих в повышенных количествах ионы этого металла. Вероятно, в данном случае нельзя ограничиваться только парной корреляцией, необходима множественная корреляция, учитывающая минералогический состав рудных зон, содержание олова в рудоносных породах и грунтовых водах, уровень залегания грунтовых вод, крутизну склонов, степень дренированности почвенных разрезов и т. д.

В качестве примера можно указать, что в зависимости между содержанием свинца в почвах и растениях корреляционная связь более тесная (коэффициент корреляции 0,37). Это говорит о том, что растения поглощают свинец не только из грунтовых вод зон оруденения, но и частично из почв, где данный металл образует относительно легко растворимые сульфаты и карбонаты и присутствуют в почвенных растворах.

На наш взгляд, значения парных коэффициентов корреляции в системе почвы — растения могут являться показателями степени подвижности химических элементов в зоне гипергенеза. Для металлов, находящихся в почвах преимущественно в составе механических ореолов рассеяния, величины коэффициентов корреляции низкие, приближаются к нулю, а для металлов, образующих в почвах солевые ореолы рассеяния, значения коэффициентов корреляции ближе к значимым.

Таким образом, полученный опыт в процессе разработки теоретических основ биогеохимического метода поисков оловорудных месторождений свидетельствует о том, что биогеохимические поиски могут с успехом применяться на всей территории лесной области Дальнего Востока, т. е. во всех ландшафтных зонах. При этом результаты поисков по эффективности будут несколько не хуже, чем поиски другими геохимическими методами, в частности наиболее распространенным металлометрическим методом, особенно в тех случаях применительно к условиям Дальнего Востока, когда биогеохимический метод, по существу, является единственным для проведения поисков олова (например, на заболоченных пространствах и участках с крупноглыбовым элювиоделювием, где использование других геохимических методов практически бесполезно).

Экспериментальным путем установлено, что биогеохимический метод поисков оловорудных месторождений в пределах Дальнего Востока рациональнее всего применять ранней осенью до листопада. В это время растения-концентраторы олова содержат наибольшее количество элемента. На наш взгляд, использование метода в пределах Дальнего Востока по сравнению с другими геохимическими методами, в частности литогеохимическим, предпочтительнее по следующим причинам.

1. Наличие достаточного числа растений-концентраторов олова, что значительно расширяет диапазон применения метода.

2. Содержание олова в золе растений значительно выше, чем в почвах, при этом характерно образование только истинных четких малосмещенных (надрудных) биогеохимических аномалий.

3. Высокая контрастность биогеохимических аномалий как частное от деления аномального содержания олова в золе растений к фону, достигающая 300 единиц, в то время как контрастность литогеохимических аномалий не превышает 30 единиц, т. е. биогеохимические аномалии резко фиксируют наличие рудных тел.

4. Смещение биогеохимических аномалий в биогенных ореолах рассеяния вниз по склону сопки относительно рудных тел значительно меньше, чем литогеохимических, т. е. биохимические аномалии четче отбивают местоположение оловорудных тел, что имеет большое значение при проведении поисков олова и вскрытия рудных тел во всех ландшафтных зонах лесной области Дальнего Востока.

Глава V

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ И РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

В пределах советского сектора Тихоокеанского рудного пояса помимо оловорудных месторождений широкое развитие получили месторождения, рудопроявления и перспективные участки различных металлов. Среди них профилирующими являются полиметаллы (медь, цинк, свинец), цветные легирующие металлы (никель и кобальт), связанные с гипербазитовыми и серпентинитовыми массивами, вольфрам и молибден и др. Интерес представляют пегматитовые поля и участки грейзенизации как возможные источники рудопроявлений редкометальной минерализации. Поэтому проведение биогеохимических исследований на рудопроявлениях с различным оруденением имеет большое значение для выяснения вопроса о возможности постановки биогеохимических поисков на указанные рудные химические элементы.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Общие сведения

Полиметаллическое месторождение расположено на западной окраинной части горных отрогов хр. Сихотэ-Алинь, занимая северо-западный склон хр. Синего, являющегося водоразделом рек Кабарги и Бириозовки. Район представляет собой горно-таежную местность с резко расчлененным среднегорным рельефом. Абсолютные отметки участка работ колеблются в пределах 600—700 м, а на восточной окраине достигают 1050 м. Относительные превышения составляют 250—300 м, достигая нередко 450—500 м. Склон хребта сравнительно пологий, крутизной не более 20°. Он расчленен долинами левых притоков р. Кабарги на ряд более мелких отрогов. Участок исследований находился на одном из таких отрогов второго порядка в верховьях руч. Магнитного. Среднегодовое количество осадков в районе работ равно 800—850 мм в год, причем 70% их выпадает в период с июня по сентябрь.

Полиметаллическое оруденение скарнового типа приурочено к контакту гранитов с мраморизованными известняками. Полиметаллическая минерализация представлена галенитом и сфалеритом с подчиненным значением халькопирита. Главными минералами скарнов являются пироксен, гранат и везувиан. Кроме них, присутствуют волластонит, ильваит, кальцит, флюорит, кварц, хлорит, эпидот, апатит, сфен, циркон, актинолит и графит, а также арсенопирит и пирит.

Руды месторождения — это в различной степени оруденелые скарны. Главные минералы руд — сфалерит, галенит, пирротин и магне-

тит. Из гипергенных минералов отмечены церуссит и лимонит. В прото-лочках из первичных руд обнаружены халькопирит, пирит, марказит, мушкетовит, гематит, арсенопирит, гётит, валлериит, шеелит, ильменит и хромит.

На участке месторождения развиты бурые лесные почвы. Они характеризуются незначительной мощностью, щебнистые, имеют легкий и средний механический состав, с рН (водной вытяжки) от 5,0 до 6,7. В нижней части склона сопки, где мощность современной коры выветривания достигает 2—5 м, почвенный профиль выражен наиболее четко, с хорошо заметной дифференциацией на генетические горизонты. В целом по всему участку месторождения почвенный покров хорошо дренирован, и переувлажнение почв отмечается только в период летне-осенних муссонных дождей. Для почвенного профиля характерен рыхлый гумусированный горизонт A_1A_2 мощностью до 10—12 см. Под ним залегает иллювиальный горизонт В мощностью до 40 см, имеющий бурый цвет. Этот горизонт подстилается переходным горизонтом ВС светло-бурой окраски и типичным для него щебнистым и древеснистым почвенным материалом. Мощность почвенного покрова достигает 90—100 см.

Результаты изучения минералогического состава почв по шлихам показывают, что в бурых лесных почвах на месторождении встречаются в основном только устойчивые минералы. При этом подавляющее большинство минералов и их процентное содержание находится в горизонте ВС, как и выход основных фракций из шлихов — электромагнитный и немагнитный. Например, в разрезе 4 (под рудной зоной) выход шлиха из горизонта В составляет 5,96 г, а в горизонте ВС — 18,32 г, т. е. больше чем в 3 раза. Аналогичные соотношения характерны и для отдельных устойчивых минералов. Так, в разрезе 4 содержание циркона в горизонте В равно 15%, а в горизонте ВС — 21% от веса немагнитной фракции. В этом же разрезе содержание минералов группы эпидота в горизонте В составляет 30%, а в горизонте ВС — 65% от веса электромагнитной фракции.

Что касается неустойчивых тяжелых минералов, таких как сфалерит, галенит, пирит, халькопирит и др., то в почвах они не обнаружены, хотя в рудах и в коренных рудовмещающих гидротермально измененных породах являются основными. Очевидно, такие минералы, в частности сульфиды, в данных ландшафтно-климатических условиях полностью разрушаются под влиянием процессов механического раздробления и последующего растворения.

Среди тяжелых минералов в почвах установлены магнетит, лимонит, ильменит, псиломелан, эпидот, клиноцоизит, роговая обманка, гранат, циркон, апатит, лейкоксен, сфен, хлорит. Легкие минералы почв представлены кварцем, полевым шпатом, биотитом и мусковитом.

Как тяжелые, так и легкие минералы почв характеризуются общей особенностью — весьма слабой окатанностью. Другой важной особенностью минералогического состава почв является значительное выветривание неустойчивых и малоустойчивых минералов. Выше указывалось, что сульфиды, как наиболее неустойчивые минералы, в почвах полностью разрушены. Другие малоустойчивые минералы бурых лесных почв в данных ландшафтно-климатических условиях также подверглись интенсивному выветриванию, вследствие чего кристаллический эпидот начал превращаться в землистую разность, из свежих зерен полевого шпата возникли интенсивно каолинизированные обломки, пирит полностью превратился в псевдоморфозы лимонита, магнетит затронут процессами мартитизации, базальтическая роговая обманка начала превращаться в хлорит, биотит подвергся интенсивному гидратированию, в результате чего возникла гидрослюда. Все эти факты свидетельствуют о том, что в изученных бурых лесных почвах, сформированных на современной коре выветривания полиметаллического месторождения Дальнего Востока,

протекают интенсивные процессы выветривания порообразующих минералов и руд, в результате которых создаются солевые ореолы рассеяния химических элементов в генетических горизонтах почв.

Надо сказать, что интенсивное выветривание первичных минералов в бурых лесных почвах Дальнего Востока отметили в свое время Ю. А. Ливеровский и И. И. Карманов (1961), изучавшие вещественный состав указанных почв.

Глинистая фракция генетических горизонтов почвенных разрезов № 2, 4, 16 на месторождении исследовались термическим и рентгеноструктурным анализами, в результате чего установлено, что глинистые частицы почв представлены в основном гидрослюдой и реже — каолинитом (эндоэффект 540—550°, экзоэффект 930—950°). Кроме того, в незначительных количествах встречается монтмориллонит (эндоэффекты 110 и 910°), доказанный рентгенографически ($d=14,5$ и $4,50 \text{ \AA}$). Как по данным термического (эндоэффект 120°), так и рентгеноструктурного анализа ($d=14,4$ и $4,79 \text{ \AA}$) в некоторых пробах отмечаются вермикулит и гидрохлорит, а также, возможно, аллофан (эндоэффект 105°, экзоэффект 1040°).

Таким образом, минералогический состав и химические свойства описываемых бурых лесных почв свидетельствуют о том, что в условиях юга Дальнего Востока формируется сиаалитно-глинистая современная кора выветривания (по классификации К. И. Лукашева, 1958), возникающая при среднетермических и средневлажных условиях выветривания и активной роли органических гумусовых кислот. Для данного типа коры характерна нисходящая миграция почвенных растворов, среди которых колеблется от слабо- до сильнокислотной. Особенностью геохимических процессов, протекающих в коре (по данным химического анализа почв), является образование смесей гидратов кремнезема, глинозема и окислов железа, т. е. силикатов, накопление кремнезема в верхнем горизонте почв, вынос полуторных окислов в нижележащие горизонты, интенсивное выщелачивание щелочных и щелочноземельных элементов. Типоморфными элементами данной коры выветривания являются водород, алюминий и железо, а типоморфными соединениями — смеси гидратов глинозема, кремнезема и железа и их производных, т. е. гидрослюда, каолинит, монтмориллонит, аллофан и др.

Геохимия бурых лесных почв

По магистральному почвенно-биогеохимическому профилю, заложенному вкрест простирания рудной зоны, было изучено 12 почвенных разрезов, из которых отобрано по генетическим горизонтам 39 образцов почв. Это количество распределилось следующим образом: горизонт A_1A_2 — 12 образцов, горизонт В — 11, горизонт ВС — 12 и горизонт С (выветрелая коренная рудовмещающая порода) — 4 образца. В почвах обнаружены такие микроэлементы: марганец, медь, барий, свинец, цирконий, галлий, никель, ванадий, хром, цинк, иттрий, бериллий, скандий, иттербий, олово, серебро.

Наиболее часто встречающиеся микроэлементы в почвах — это рудные: медь, цинк, свинец, а также второстепенные, сопровождающие рудную минерализацию, — марганец, барий, галлий, никель, хром, встречаемость которых составляет почти 100%, особенно в горизонте ВС. Другие микроэлементы, такие как иттрий, бериллий, скандий, иттербий, отмечаются реже, особенно олово и серебро, встречаемость которых в горизонте ВС не превышает 5—10%, а в горизонтах A_1A_2 и В олово и серебро вообще не обнаружены.

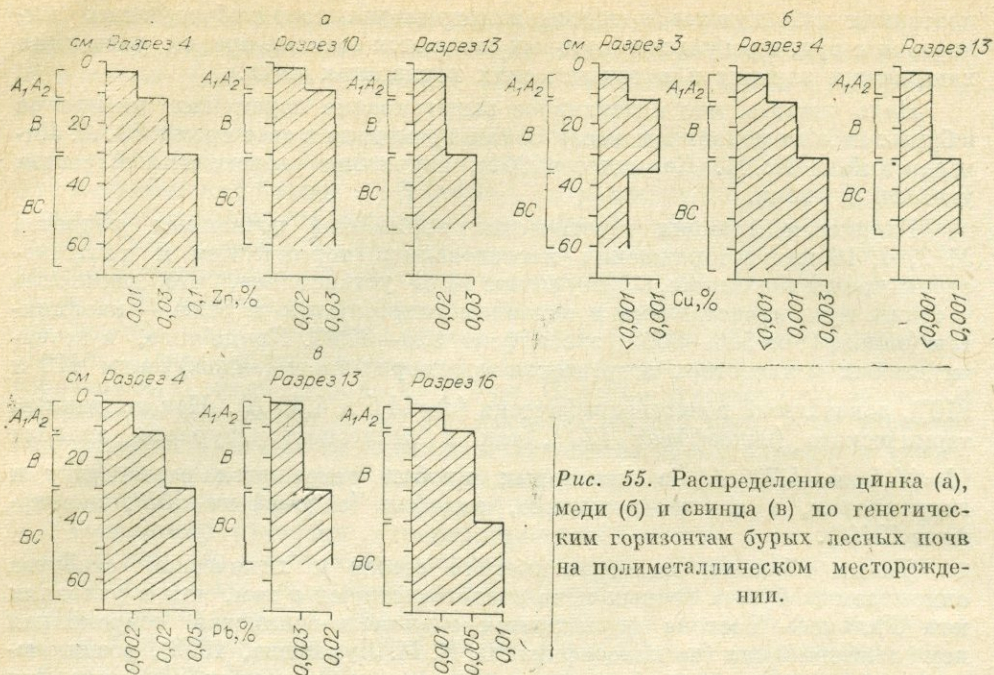


Рис. 55. Распределение цинка (а), меди (б) и свинца (в) по генетическим горизонтам бурых лесных почв на полиметаллическом месторождении.

Местный геохимический фон почти всех малых химических элементов как в целом, так и по генетическим горизонтам меньше или равен кларку в почвах, исключение составляют только цинк, серебро и скандий — в 2—3 раза выше кларка.

Кратко остановимся на характеристике особенностей распределения микроэлементов в генетических горизонтах по всем изученным почвенным разрезам.

Цинк — основной элемент как месторождения, так и почв, сформированных на рудном участке. Местный геохимический фон его в бурых лесных почвах на месторождении составляет 0,01%, что в 2 раза больше кларка в почвах вообще. Минимальное содержание цинка меньше 0,01% отмечается в горизонте A_1A_2 , причем в ряде разрезов в этом горизонте он не обнаружен. Максимальное содержание этого элемента (до 0,1 и 1,0%) отмечено соответственно в горизонтах BC и C (разрез 4), что в 10 и 100 раз выше кларка, а максимальное содержание в горизонте B промежуточное и составляет 0,04% (разрез 3). Общей закономерностью в распределении цинка в почвах на месторождении является постепенное увеличение его встречаемости и содержания от верхнего горизонта A_1A_2 к нижним горизонтам BC и C, что достаточно четко видно из диаграмм (рис. 55, а).

Медь также относится к одному из основных микроэлементов как для месторождения, так и почв. Для нее характерна 100%-ная встречаемость во всех генетических горизонтах. Местный геохимический фон меди в почвах меньше 0,001% (в пределах кларка). Минимальное содержание ее (меньше 0,001% — в пределах кларка и фона) отмечается в большинстве разрезов горизонта A_1A_2 , а максимальное — 0,003% обнаружено в горизонте BC (разрез 4), что в 1,5 раза больше кларка в почвах. Максимальное количество меди в горизонте B подавляющего большинства разрезов равно 0,001%. В целом для этого элемента, как и для цинка, характерно увеличение содержания от верхнего горизонта A_1A_2 к нижнему горизонту BC (рис. 55, б).

Свинец — основной элемент месторождения и почв. В последних встречается его достигает почти 100% в каждом генетическом горизонте. Местный геохимический фон в почвах составляет 0,001%, т. е. равен кларку. Минимальное количество (0,001%) отмечается в большинстве разрезов в горизонте A_1A_2 , что равно кларку и местному геохимическому фону. Максимальные содержания свинца по генетическим горизонтам распределяются следующим образом (%): в горизонте A_1A_2 — 0,005, в горизонте В — 0,02, в горизонте ВС — 0,05, в горизонте С — 0,3, что соответственно в 5, 20, 50 и 300 раз выше кларка в почвах. Таким образом, для этого элемента наиболее характерно закономерное увеличение степени накопления от верхнего горизонта A_1A_2 к горизонтам ВС и С, особенно над рудным телом (разрез 4) (рис.55, в).

Цирконий — типичный акцессорный элемент как на месторождении, так и в почвах. Местный геохимический фон его в почвах составляет 0,03%, что равно кларку в почвах. Минимальное количество циркония (0,005%) характерно для горизонта A_1A_2 некоторых разрезов. Минимальные содержания его в горизонте В достигают 0,04, а в горизонте ВС — 0,06, что соответственно в 1,3 и 2 раза больше кларка в почвах. Для циркония так же, как и для основных рудных элементов, характерно увеличение содержания от верхнего горизонта A_1A_2 к горизонту ВС.

Никель — типичный второстепенный элемент в рудах и рудовмещающих породах, сопровождавший полиметаллическую минерализацию месторождения. Подчиненную роль он играет и в почвах, хотя и имеет в них почти 100%-ную встречаемость. Местный геохимический фон этого элемента в почвах равен 0,001%, что, однако, ниже кларка. Минимальное содержание (<0,001%) отмечается в горизонте A_1A_2 ряда почвенных разрезов, а аномальные (до 0,005%) установлены в единичных пробах в горизонте В и в большинстве проб в горизонте ВС, что только в 1,3 раза больше кларка. Таким образом, никель в повышенном количестве накапливается в горизонте ВС.

Хрома содержится в почвах на месторождении значительно ниже кларка. Местный геохимический фон его равен 0,003% во всех генетических горизонтах почв, что почти в 7 раз меньше кларка. Минимальное содержание — 0,002%, что ниже кларка в 10 раз, отмечается в горизонте A_1A_2 . Повышенные содержания элемента во всех генетических горизонтах почв достигают только 0,005%, но в большинстве разрезов это содержание отмечается в горизонте ВС, что, однако, все равно в 4 раза меньше кларка в почвах.

Ванадий также относится к второстепенным элементам в почвах, где содержание его ниже кларка, хотя встречаемость достаточно высокая и достигает почти 100%. Местный геохимический фон в целом в почвах и по генетическим горизонтам равен 0,003%, что в 3,3 раза меньше кларка. Минимальное содержание (0,001%) характерно для горизонта A_1A_2 большинства разрезов, максимальное (до 0,005%) отмечается в горизонте ВС, хотя это количество в 4 раза меньше кларка. Для данного элемента в целом характерно постепенное увеличение содержания от верхнего горизонта A_1A_2 к нижнему горизонту ВС.

Барий — акцессорный элемент как месторождения, так и почв, где содержание его меньше кларка. Этот элемент, несмотря на его низкое содержание, обнаружен в каждом генетическом горизонте всех изученных почвенных разрезов. Местный геохимический фон бария по всем генетическим горизонтам одинаков и равен 0,03%, что в 1,6 раза меньше кларка в почвах. Минимальное содержание (до 0,01%) отмечено в горизонте A_1A_2 большинства почвенных разрезов, максимальное (до 0,04%) установлено в горизонте В ряда разрезов, в то время как в горизонте ВС наибольшее содержание достигает только 0,03%, т. е. равно величине местного геохимического фона. Это свидетельствует о том, что барий в отличие от всех других химических элементов изученных почв обнаружи-

вает тенденцию накапливаться в иллювиальном горизонте В, хотя содержание его в этом горизонте все равно ниже кларка.

Марганец относится к акцессорным элементам месторождения и почв, хотя для него характерна 100%-ная встречаемость во всех генетических горизонтах. Содержание его в почвах в пределах кларка. Местный геохимический фон марганца в целом в почвах и в горизонте A_1A_2 равен 0,08%, а в горизонтах В и ВС — 0,06%, что даже несколько меньше кларка в почвах (0,085%). Максимальное содержание этого элемента (0,2%) установлено только в одном разрезе, в горизонте ВС, т. е. в 2 с лишним раза выше кларкового. Однако, судя по величине местного геохимического фона и числу проб с относительно аномальным содержанием, марганец имеет тенденцию накапливаться в верхнем горизонте A_1A_2 .

Галлий имеет в почвах на месторождении 100%-ную встречаемость, но содержание его в генетических горизонтах значительно ниже кларкового, так как этот элемент является акцессорным для рудовмещающих пород и почв, сформированных на участке месторождения. Местный геохимический фон и минимальные содержания галлия одинаковы и составляют меньше 0,001% во всех генетических горизонтах. Максимальные количества также во всех генетических горизонтах одинаковы и достигают всего лишь 0,001%, что в 3 раза меньше кларка в почвах.

Бериллий обнаружен в почвах далеко не во всех разрезах; особенно в горизонте A_1A_2 встречаемость его наименьшая и не превышает 10%. Местный геохимический фон равен 0,0001%, что в 6 раз меньше кларка в почвах. Минимальное содержание бериллия в почвах также равно 0,0001% и типично для горизонта A_1A_2 . В некоторых разрезах в горизонте A_1A_2 этот элемент не обнаружен. Для него характерно относительное накопление в горизонте ВС.

Иттербий обнаружен в почвах в единичных разрезах. Местный геохимический фон его и минимальное количество во всех генетических горизонтах почв равны 0,0001%. Аномальное содержание иттербия достигает 0,001% и установлено в горизонте ВС.

Иттрий присутствует в почвах как акцессорный элемент в количествах, значительно ниже кларка, хотя встречаемость его в почвах достаточно высокая и достигает 80% в горизонте ВС. Содержание иттрия во всех генетических горизонтах почв однозначно и равно 0,001%, что в 5 раз меньше кларка в почвах. Однако наибольшее число проб с таким содержанием отмечено в горизонте ВС, на основании чего можно, в какой-то степени, утверждать, что этот элемент, по-видимому, склонен накапливаться в горизонте ВС.

Скандий — типичный акцессорный элемент как месторождения, так и почв, сформированных на нем. Местный геохимический фон скандия в почвах, а также минимальное и максимальное содержания совпадают и равны 0,002%, что более чем в 3 раза больше кларка. Такое же содержание элемента характерно для всех генетических горизонтов почв. Однако наибольшее число проб с присутствием скандия отмечено для горизонта ВС, а наименьшее — для горизонта A_1A_2 .

Олово обнаружено в двух пробах в горизонте ВС (разрезы 4 и 10) и содержание его составляет 0,001%, т. е. находится в пределах кларка в почвах.

Серебро отмечено в почвах только в одной пробе в горизонте ВС (в разрезе 4, заложенном непосредственно над рудным телом) в количестве до 0,0001%, что в 2 раза выше кларка в почвах.

Таким образом, почти все элементы, содержащиеся в бурых лесных почвах на полиметаллическом месторождении, накапливаются в горизонте ВС. Исключение составляют лишь марганец, накапливающийся преимущественно в горизонте A_1A_2 , и барий, максимальные количества которого отмечаются в горизонте В. Наибольшие содержания микроэле-

ментов и особенно основных рудных — цинка, свинца, меди — отмечаются в горизонтах ВС и С почвенных разрезов, располагающихся непосредственно над рудными телами, на глубине 50—60 см.

На рис. 56 приведено распределение цинка по генетическим горизонтам почв (профиль заложен вкрест простирания рудных тел), из которого видно, что максимальное количество цинка отмечено в горизонте ВС непосредственно над рудным телом (разрез 4). Иными словами, литогеохимическая аномалия цинка в почвах четко фиксируется пиком, при этом контрастность ее как частного от деления величины аномального содержания на величину местного геохимического фона составляет 10 единиц.

Аналогичное распределение по профилю вкрест простирания рудных тел отмечается и для свинца (рис. 57). Контрастность литогеохимической аномалии свинца в почвах под рудным телом (разрез 4) составляет 50 единиц.

Установлено, что наибольшее количество в горизонте ВС полиметаллов и второстепенных элементов, сопровождающих полиметаллическое оруденение, обусловлено: 1) механическим рассеянием обломков первичных и вторичных минералов, особенно лимонита, содержащего в сорбированном состоянии свинец, цинк, медь, серебро и др.; 2) сорбцией полиметаллов глинистыми частицами, минеральными и органическими коллоидами почв.

Особенности накопления малых элементов в растениях

Месторождение расположено в средней подзоне зоны смешанных хвойно-широ-

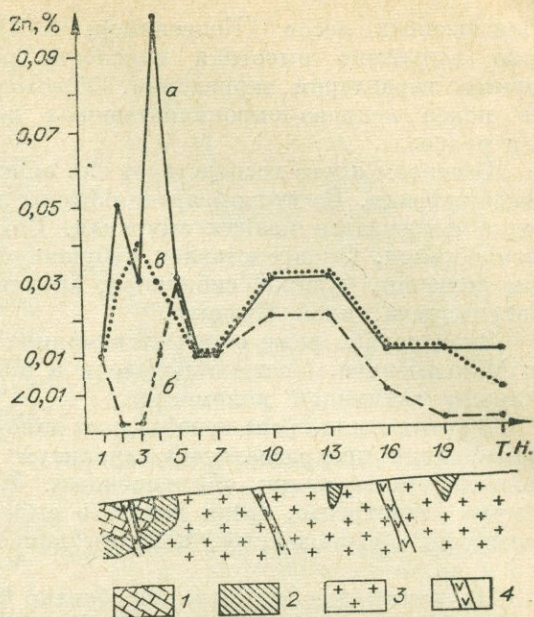


Рис. 56. Распределение цинка в бурых лесных почвах на полиметаллическом месторождении по профилю вкрест простирания рудной зоны.

1 — мрамор; 2 — сланцы; 3 — гранит; 4 — дайки кварцевых порфиров. Кривые содержания: а — по горизонту ВС; б — по горизонту A_1A_2 ; в — по горизонту В.

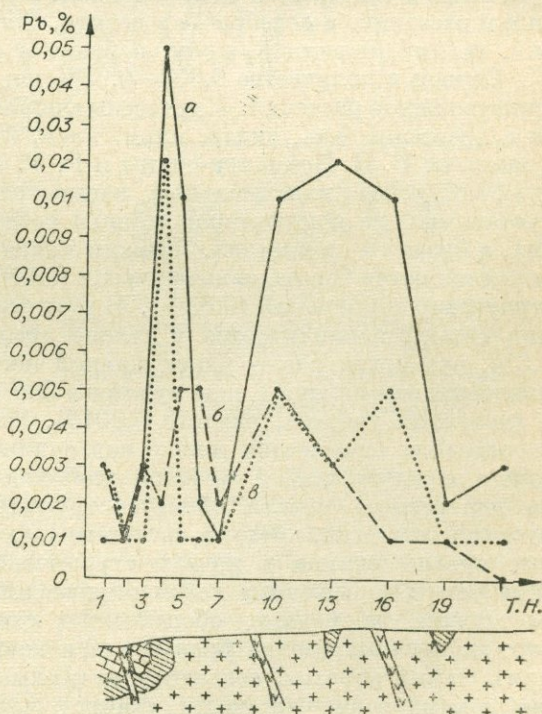


Рис. 57. Распределение свинца вкрест простирания рудной зоны. Усл. обозн. см. на рис. 56. Кривые содержания: а — по горизонту A_1A_2 ; б — по горизонту ВС; в — по горизонту В.

колиственных лесов (Колесников, 1961). В пределах месторождения ярко выражена высотная поясность растительности, обусловленная горным характером территории. Участок опробования находится выше пояса кедрово-широколиственных лесов, в елово-широколиственном поясе.

В первом ярусе господствует ель аянская, пихта белокорая и береза маньчжурская. Во втором ярусе обычны липа амурская и клен желтый. Редко встречается маакия амурская. Подлесок очень богат и довольно разнообразен. Он представлен чубушником тонколистным, элеутерококком колючим, бузиной сибирской, аралией маньчжурской, жимолостью Максимовича, ивой Бредина.

Значительно реже отмечается малина боярышниковлистная, смородина Максимовича. Местами подлесок и подрост хвойных густо перевиты лианами актинидии коломикты.

В травяном покрове преобладают папоротники — щитовник амурский, многорядник трехраздельный, адриантум стоповидный, страусопер германский, реже орляк обыкновенный. Кроме папоротников, довольно обычно разнотравье, среди которого выделяется лабазник дланевидный, бальзамин обыкновенный, какалия коньевидная, шпороцветник вырезной и др.

На месторождении было опробовано 6 видов древесных пород, 9 видов кустарников и 7 видов растений травяного покрова, принадлежащих к 15 семействам. Таким образом, всего опробовано 22 вида растений, что составило 409 растительных проб.

В золе растений обнаружены следующие микроэлементы: свинец, медь, цинк, молибден, серебро, никель, ванадий, галлий, бериллий, хром, кобальт и олово. Наиболее часто встречающимися элементами являются свинец, медь и никель; они обнаружены во всех растениях. Цинк отсутствует лишь в бальзамине обыкновенном. Молибден не обнаружен в четырех видах растений, а серебро — в девяти. Наиболее редко отмечаются ванадий, галлий, бериллий, хром, кобальт и олово.

Свинец в количестве 0,003—0,03% накапливает преобладающее большинство видов растений. У древесных пород он в основном концентрируется в древесине (ель, пихта, ильм, клен, береза), что хорошо согласуется с данными В. В. Поликарпочкина и Р. Т. Поликарпочкиной (1964). У маакии амурской максимальные концентрации отмечены в ветвях. Все кустарники, за исключением бузины сибирской, накапливают его в ветвях, а бузина — в листьях. Лучшим концентратором свинца из древесных пород является береза маньчжурская (0,01%), из травянистых растений — страусопер германский (0,03%). В максимальной для участка концентрации свинец накапливается в стволе аравии маньчжурской — достигает 0,3%, что почти равно максимальной концентрации в почвах. Степень концентрации свинца в золе аравии в 300 раз выше фонового содержания в растениях участка, равного 0,001%. Максимальные концентрации его в растениях отмечаются только над рудными телами. Это, очевидно, связано с довольно слабой миграционной способностью этого элемента. В зоне гипергенеза металл образует труднорастворимые соединения — церуссит и англезит, которые легко выпадают из раствора, поэтому вторичные ореолы свинца в почвах ограничены. Вследствие этого в почвах образуются повышенные количества соединений свинца. Растения, произрастающие на почвах, обогащенных свинцом, вынуждены поглощать этот элемент в пределах рудных тел в повышенных количествах. В растениях, таким образом, создаются истинные контрастные (до 300 единиц) биогеохимические аномалии свинца, четко отображающие положение рудных зон, обогащенных этим элементом.

Цинк накапливается в подавляющем большинстве (0,03—0,2%) видов растений. Ель, пихта и береза концентрирует его в древесине, маакия и ильм — в ветвях, а клен — в листьях. Лучшим концентратором из

древесных пород является ель аянская (0,6%). Кустарники накапливают цинк в ветвях. Из них лучший концентратор — чубушник тонколистный (0,3%). Однако в наибольших количествах цинк обнаружен в золе лабазника дланевидного. Содержание цинка в нем достигает 1% и равно максимальным почвенным концентрациям. Степень концентрации элемента в золе лабазника в 16—100 раз выше фона в остальных растениях участка. Распределение цинка по профилю (рис. 58) свидетельствует о том, что максимальные концентрации его в растениях отмечаются не только над рудными телами, но и за пределами рудных тел (например, в золе чубушника, т. н. 23). Аномалии цинка в растениях менее контрастны, чем свинца. Очевидно, это объясняется высокой подвижностью цинка в зоне гипергенеза. По данным многих исследователей (Моррис, Ловеринг, 1954; Розыбакиева, 1958; и др.), он наиболее подвижный в зоне окисления полиметаллических месторождений. Л. Л. Герман-Русакова (1962) считает, что этот элемент может выноситься на глубину 50—100 м. Таким образом, вследствие высокой растворимости соединений цинка (сернокислая форма) он легко вымывается из зоны окисления; происходит разубоживание рудной зоны, и цинк более равномерно перераспределяется в окружающих зону почвах и породах. С этим, вероятно, связана и относительно низкая контрастность (по сравнению со свинцом) биогеохимических аномалий его вообще и на описываемом участке в частности. Кроме этого, он является одним из важных элементов в жизни растений. Очевидно, в зависимости от избирательной способности растения могут накапливать цинк в больших количествах даже на почвах, бедных этим элементом, чтобы обеспечить нормальное течение всех физиологических процессов. Контрастность биогеохимических аномалий металла достигает 100 единиц.

Медь обнаружена во всех растениях, накапливаясь в них от 0,002 до 0,05%. Во многих древесных породах наибольшее содержание меди отмечено в древесине, у клена желтого — в коре, у маакии амурской — в ветвях. Все кустарники в максимальных количествах накапливают медь в ветвях. Лучшими концентраторами этого металла (до 0,05%) является

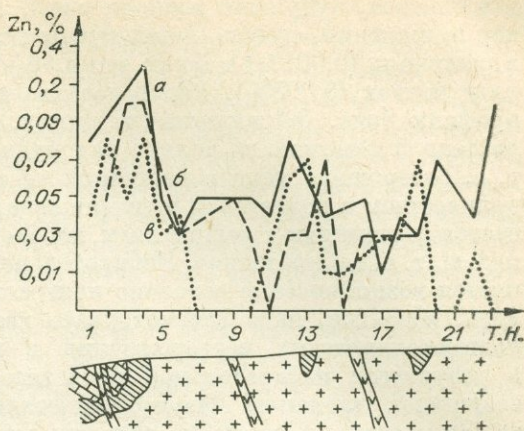


Рис. 58. Распределение цинка в золе растений по профилю вкостр простираания рудной зоны. Усл. обозн. см. на рис. 56.

Кривые содержания: а — в ветвях чубушника тонколистного; б — в стволе аралии маньчжурской; в — в стравопере германском.

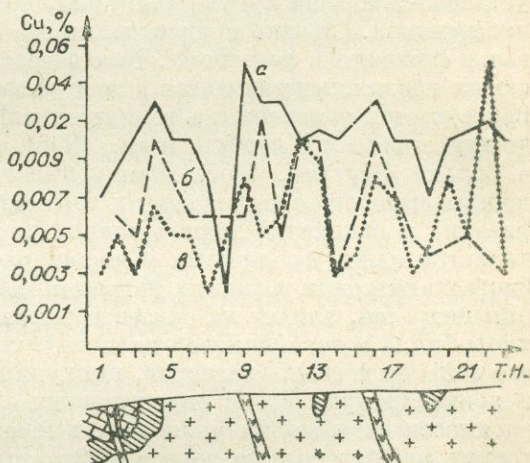


Рис. 59. Распределение меди в золе растений по профилю вкостр простираания рудной зоны. Усл. обозн. см. на рис. 56.

Кривые содержания: а — в ветвях чубушника тонколистного; б — в стволе аралии маньчжурской; в — в стравопере германском.

ель аянская, чубушник тонколистный, актинидия коломикта и страусопер германский, степень концентрации в которых в 50 раз выше фонового в растениях (0,001%) и более чем в 16 раз выше максимального количества в почвах (0,003%). Распределение содержания меди в растениях по профилю (рис. 59) аналогично цинку. Максимальное накопление ее в растениях отмечено не только над рудными телами, но за их пределами, т. е. содержание меди в растениях часто не совпадает с ее повышенным количеством в почвах над рудными телами. Следовательно, медь накапливается растениями в количествах, необходимых им даже на почвах, бедных медью, т. е. избирательно. Избирательной способностью растений и объясняется возникновение довольно контрастных аномалий. Вследствие этого медь, вероятно, надо рассматривать как слабый индикатор рудных тел полиметаллических месторождений в гумидных ландшафтах, так как в результате избирательной поглотительной способности в растениях возникают «ложные» биогеохимические аномалии (с контрастностью до 50 единиц), которые не связаны с высоким содержанием этого металла над эпицентрами рудных залежей.

Молибден, находясь в почвах в количествах за пределами чувствительности анализа, обнаружен во многих видах растений и отсутствует лишь в пихте белокорой; фоновые содержания в растениях равны 0,0001—0,0003%. В большинстве деревьев и кустарников он накапливается в листьях. В максимальной для участка концентрации (0,001—0,002%) установлен в золе чубушника тонколистного, клена желтого и какалии копьевидной. Степень концентрации его в золе этих растений в 6—20 раз выше фонового в растениях. Как известно, молибден является одним из самых подвижных элементов в зоне гипергенеза. Молибденит в этой зоне подвергается окислению и выщелачиванию (вероятно, в форме MoO_2SO_4) до глубины 10 м (Гинзбург и др., 1966), а в зонах трещиноватости до 50 м и больше (Чухров, 1955). Ввиду высокой подвижности, молибден полностью выщелочен из почвенных горизонтов и верхней части коры выветривания и находится лишь в водных растворах. Поскольку этот элемент является одним из важных в жизни растений (он принимает участие в биогеохимических реакциях фиксации молекулярного азота и восстановления нитратов, влияет на синтез и передвижение углеводов, образование хлорофилла и аскорбиновой кислоты), то растения, очевидно, поглощают его ионы из водных растворов, циркулирующих в районе месторождения, и концентрируют его в определенных органах. Поэтому нет прямой зависимости содержания молибдена в почвах и растениях в определенных точках наблюдения по почвенно-биогеохимическому профилю, расположенному в пределах месторождения.

Никель обнаружен во всех растениях, отобранных на месторождении (<0,001—0,01%). В древесных растениях он накапливается преимущественно в древесине, а в кустарниках — в ветвях. Лишь ива Бредина содержит его в максимальных количествах в листьях. Лучшими концентраторами является пихта белокорая и бузина сибирская (0,06%). Эта величина максимальная для всех растений участка. Травянистые растения накапливают значительно меньше никеля, чем деревья и кустарники. Так, в золе лабазника дланевидного, как лучшего концентратора среди трав, содержание не превышает 0,005%, что в 12 раз меньше, чем в бузине и пихте. Степень накопления никеля в золе растений-концентраторов в 60 раз выше фона в растениях (0,001%) и в 12 раз выше аномального количества в почвах (0,005%).

Серебро установлено более чем в 50% видов проанализированных растений. У кустарников оно концентрируется в ветвях, а у древесных пород — в древесине, особенно хвойных. Большинство трав также накапливает серебро. Содержание его колеблется от 0,0001 до 0,01%. Максимальные концентрации отмечены в хвойных породах — ели и пихте — 0,001—0,01%, что в 100 раз больше фона (0,0001%). Во многих видах

растений наблюдается тесная связь накопления серебра с рудной зоной. Как в почвах, так и в большинстве растений оно накапливается только над рудными телами. Известно, что сульфидное серебро в полиметаллических месторождениях тесно ассоциирует со свинцом. Ввиду значительно меньшей миграционной способности серебра по сравнению с цинком этот элемент не выносится далеко за пределы месторождения и сорбируется в почвах над рудными телами, где и концентрируются растениями. Таким образом, серебро является косвенным индикатором полиметаллических месторождений данного типа и может быть использовано при биогеохимических поисках.

Ванадий в количестве меньше тысячной доли процента обнаружен в листьях аралии маньчжурской, в ветвях чубушника тонколистного, в золе щитовника амурского, лабазника дланевидного, орляка обыкновенного. Содержание ванадия в золе этих растений не достигает фоновых значений в почвах (0,003%).

Галлий (< 0,001%) обнаружен лишь в золе побегов аралии, в ветвях чубушника и в древесине ильма. Содержание его в этих органах указанных видов растений равно фоновому в почвах участка. Вследствие низкого содержания галлия в почвах трудно сказать что-либо определенное о связи между концентрациями его в растениях и в почве.

Бериллий отмечен в золе ветвей березы маньчжурской и орляка обыкновенного. Количество его (0,0001—0,0003%) равно фоновому содержанию в почвах и, по крайней мере, раза в три меньше почвенных аномалий.

Хром встречен лишь в трех пробах — в двух пробах ветвей чубушника тонколистного и маакии, причем проба маакии и одна проба чубушника отобрана в т. н. 13, т. е. над рудным телом. Накопление хрома в растениях не связано с высоким его содержанием в почвах. По-видимому, как и большинство других элементов, он накапливается избирательно.

Кобальт определен в золе ветвей чубушника тонколистного и в древесине березы маньчжурской (< 0,001%). В почвах кобальт не обнаружен. Вероятно, этот металл, являясь биогенным элементом, поглощается корневыми системами из водных растворов и накапливается в определенных органах растений.

Олово обнаружено в ветвях чубушника тонколистного, ивы Бредина и листьях маакии амурской. Концентрации его не превышают 0,001%, т. е. равны почвенному содержанию.

Титан отмечен в золе страусопера германского, аралии маньчжурской, чубушника тонколистного от 0,001 до 0,05%. У чубушника максимальные концентрации элемента зафиксированы в ветвях, а у аралии — в стволе; в листьях содержание его обычно низкое.

Барий присутствует в количествах 0,05—0,6% в чубушнике и аралии. Распределение его по органам чубушника аналогично титану, а в аралии он в равной степени концентрируется в побегах и стволе.

Иттрий встречен только в аралии и страусопере. В аралии он обнаружен в пробе ствола, отобранной над рудной зоной, а в остальных пробах отсутствует. Содержание его не превышает 0,001%. В золе страусопера германского он обнаружен в четырех пробах из шести — от 0,001 до 0,005%. В максимальных концентрациях иттрий установлен только в пробе из рудной зоны. В пробах с остальных точек содержания его не превышают 0,001%. Поскольку накопление иттрия в растениях в отличие от других акцессорных элементов отмечается только в пределах рудной зоны, то он, по-видимому, может служить косвенным индикатором полиметаллических месторождений рассматриваемого типа.

Коэффициенты биологического поглощения полиметаллов над рудной зоной месторождения, как правило, больше единицы и достигают 30 единиц.

Над рудной зоной содержание основных элементов в растениях в 2—10 раз и более выше, чем за пределами рудной зоны. Так, например, количество свинца и цинка за пределами рудной зоны в аралии маньчжурской равно соответственно 0,001 и 0,01%, а над рудной зоной достигает 0,3 и 0,05%. Чубушник тонколистный над рудной зоной концентрирует 0,03% свинца и 0,3% цинка, а за пределами ее соответственно 0,001 и 0,05%. Такой же порядок величин в страусопере германском и других видах растений.

Однако даже и над рудными телами не все растения в одинаковой степени концентрируют элементы. В качестве примера приведем величины накопления свинца над рудной зоной в т. н. 4. Здесь были опробованы береза маньчжурская, клен желтый, чубушник тонколистный, элеутерококк колючий, актинидия коломикта, ива Бредина, бузина сибирская, аралия маньчжурская, лабазник дланевидный, бальзамин обыкновенный, страусопер германский и орляк обыкновенный. Содержание свинца в золе этих растений колеблется от 0,003% у бальзамина обыкновенного и клена желтого, до 0,1—0,3% у березы маньчжурской и аралии маньчжурской. Следовательно, относительное содержание свинца в золе березы и аралии в 30—100 раз выше, чем в остальных видах растений в данном пункте биогеохимического опробования. Это, очевидно, объясняется различной избирательной способностью отдельных видов растений по отношению к свинцу и различной глубиной проникновения корневых систем. По нашим наблюдениям, корни березы маньчжурской и аралии маньчжурской проникают в горизонт С вплоть до коренных пород, тогда как корни клена желтого не проникали глубже иллювиального горизонта В. Однако несмотря на различную избирательную способность растений по отношению к определенному элементу, над рудной зоной растения накапливают элементы в максимальных концентрациях, чутко реагируя на изменение химического состава коренных пород и точно отображая положение рудных тел под почвенным покровом.

Таким образом, выполненные биогеохимические исследования на полиметаллическом месторождении показали, что наилучшими биогеохимическими индикаторами руд является свинец, менее четки в этом отношении цинк и особенно медь в силу ее высокой биогенности. Серебро как спутник свинца в полиметаллическом оруденении также является прекрасным индикатором рудных тел, особенно по повышенному содержанию его в хвойных породах, в частности в древесине ели аянской, с контрастностью биогеохимических аномалий до 100 единиц.

Следует отметить, что серебро как химический элемент имеет четко выраженную тенденцию накапливаться хвойными породами вообще — кедром корейским, кедровым стлаником, елью аянской, пихтой белокорой, лиственницей даурской. Это отмечалось выше при описании результатов биогеохимических исследований на всех касситерито-сульфидных зонах минерализации, где распространены хвойные виды. При этом наибольшие его содержания, превышающие в 100 раз местный геохимический фон и кларк в растениях (0,0001%), отмечаются в хвойных древесных породах, распространенных над рудными телами.

Более того, даже при отсутствии полиметаллического оруденения серебро практически всегда встречается в древесине хвойных, особенно ели аянской, в величинах, превышающих кларк в растениях в 2—3 раза. Эта чрезвычайно интересная биогеохимическая черта серебра, вероятно, указывает на то, что хвойные виды могут считаться локально универсальными концентраторами названного металла. Смысл этого понятия заключается в том, что при наличии полиметаллического оруденения хвойные породы максимально накапливают серебро (до 100 раз и более выше кларка его в растениях); при отсутствии руд полиметаллов они концентрируют этот элемент в величинах в 2—3 раза выше кларка в растениях.

Итак, поиски полиметаллических месторождений в подобных ландшафтных условиях можно проводить и литогеохимическим, и биогеохимическим методом. Однако последний более эффективен вследствие высокой контрастности биогеохимических аномалий по основным элементам оруденения — цинку и особенно свинцу, а также серебру, сопровождающему полиметаллическое оруденение. Что касается меди, то она наименее пригодна в качестве индикатора руд данного типа, поскольку в силу своей высокой биогенности накапливается в необходимых для растений количествах независимо от ее почвенного содержания, создавая в ряде случаев «ложные» биогеохимические аномалии.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА НИКЕЛЕНОСНОМ СЕРПЕНТИНИТОВОМ МАССИВЕ

Общие сведения

Район биогеохимических исследований расположен в лесостепной зоне Приморского края. В геоморфологическом отношении это слабо-расчлененная волнистая равнина с возвышающимися над ней отдельными холмами высотой до 300 м. Участок биогеохимического опробования располагался на одном из холмов, абсолютная высота которого 271 м, относительная — около 180 м. Склоны холма вогнутые, крутизна их в верхней части составляет 20—22°, в нижней уменьшается до 5—7°. На вершине холма интрузивные и осадочные породы выходят на поверхность в виде скальных обнажений. В нижней части склоны перекрыты толщей делювиальных отложений мощностью 5—7 м, постепенно выколаживаются и переходят в окружающую равнину.

Климат района умеренно континентальный с умеренно холодной зимой и теплым влажным летом. Среднегодовое количество осадков достигает 600 мм, основная часть которых выпадает в теплое время года в виде ливневых дождей. Снежный покров незначительный. В отдельные годы он почти полностью сдувается ветрами. Из-за незначительной мощности снежного покрова глубина промерзания почвы превышает 1 м.

Участок исследований в геологическом отношении расположен в поле развития основных и ультраосновных пород, приуроченных к северо-восточному крылу Дмитриевского антиклинория, находящегося на юго-восточной окраине Уссури-Ханкайского срединного массива.

По данным С. А. Коренбаума и С. А. Щеки (1962), Дмитриевский антиклинорий сложен осадочными породами нижнего и среднего кембрия, представленными известняками и переслаиванием известняков, туфов и туфогенно-осадочных пород.

Осадочные породы кембрия прорваны небольшими интрузиями габбро и перидотитов. Массив габбро подходит с юга и распространен на небольшой площади участка исследований.

Перидотиты занимают большую часть участка работ, образуют небольшое линзовидное тело площадью до 0,2 км². Массив их нацело серпентинизирован, и перидотитовый состав устанавливается лишь по реликтово-псевдоморфным структурам. Среди серпентинитов выделяются разнообразные типы — хризотилловые, антигоритовые и хризотил-антигоритовые, связанные постепенными переходами. Антигоритовые серпентиниты встречаются вокруг тальково-магнезитовых залежей, образующихся вследствие дальнейшей метаморфизации серпентинитов и располагающихся в их пределах в зонах повышенной трещиноватости.

Почти повсеместно в серпентинитах встречается карбонат, образующий в большинстве случаев хорошо ограненные кристаллы. Нередко в

зонах смятия развивается тальк и брусит, а около контактов с известковистыми породами встречается актинолит. Кроме этих минералов обнаружены хром-шпинель и магнетит (Коренбаум, Шека, 1962).

Тальк-магнезитовые породы на участке работ представлены мелкокристаллическим карбонатом и тальком с незначительной вкрапленностью магнетита и пирита. Кроме того, имеют место маломощные прожилки магнезита, а также чистого зеленоватого талька и очень редко кварца. По данным С. А. Коренбаума и С. А. Шеки (1962), тальк образует мелкочешуйчатые скопления размером 0,2—3 мм. Оптические константы его характерны для железистых разновидностей. Карбонат встречается в виде удлиненных или изометрических зерен, часто образующих скопления размером 3—5 мм. Судя по оптическим константам, карбонат представлен магнезитом (брейнерит). Такой же состав имеет карбонат, повсеместно распространенный в серпентинитах. Из рудных минералов наиболее часто встречаются магнетит и гематит, причем последний преобладает вблизи поверхности. В породах присутствуют также зерна красновато-бурой хром-шпинели, замещающиеся по трещинам магнетитом. Около контакта с осадочными образованиями в тальк-магнезитовой породе отмечены хлорит, доломит и реже кальцит.

Спектральным анализом в породах установлены титан, ванадий, кобальт, галлий, никель, хром, цинк, свинец и олово.

Первые шесть элементов характерны для основных и ультраосновных пород, а цинк, свинец и олово типичны для даек и жил кварца, приуроченных к зонам трещиноватости. Содержание никеля в серпентинитах достигает 0,1%.

На серпентинитах и тальк-магнезитовых породах развита глинистая кора выветривания различной мощности. В верхней части склона мощность ее не превышает 1,5 м, а в нижней, за пределами участка, увеличивается до 20 м. В нижней части склона никеленосная кора выветривания смещена и перекрывает осадочные породы кембрия, а в верхней части на серпентинитах иногда встречаются участки делювия, перемещенного с прилегающих возвышенных участков, сложенных слабоминерализованными осадочными породами. Поэтому содержание никеля в этих осадках делювия незначительно.

Соединения никеля концентрируются в глинистой коре выветривания, образовавшейся за счет выветривания серпентинитов и тальк-магнезитовых пород. Очень часто кора обогащена никелем не на полную мощность. Как правило, в верхней ее части наблюдается резко пониженное его содержание. Количество никеля в коре выветривания равно 0,1%, нередко достигая 1%. В выветрелых серпентинитах изредка встречаются примазки нонтронита, содержащие до 0,1% кобальта.

Биогеохимическое опробование растений и изучение почв проводилось по трем профилям, расположенным вкрест простирания перидотитовых пород. Расстояние между профилями составляло 40 м, между точками отбора — 20 м. Отдельные точки наблюдений в начале профилей находятся на габброидных породах, основная часть профилей проходит над серпентинизированным перидотитовым массивом, кроме этого, одна точка наблюдений располагалась в пределах развития известняков.

На участке работ развиты бурые лесные почвы, сформированные на серпентинизированных перидотитовых, а также на габброидных и тальк-магнезитовых породах и известняках. Вследствие того, что мощность коры выветривания на участке незначительная, почвенный профиль отличается небольшой мощностью, особенно в местах выхода скальных обнажений, где развиты примитивные (фрагментарные) скелетные почвы. В нижней части склона сопки, где мощность коры выветривания достигает 3—4 м и более, почвенный профиль выражен более четко с достаточно хорошо заметными генетическими горизонтами. Почвы на сопке хорошо дренированы, переувлажняются только во время муссонных дождей.

Для почвенного профиля в средней и нижней частях сопки характерен порошисто-комковатый гумусовый горизонт A_1A_2 темно-бурого цвета мощностью до 10 см, в нижней части которого визуально отмечается снижение гумусированных растительных остатков и некоторое уменьшение интенсивности окраски. Под этим горизонтом залегает ржаво-бурого цвета иллювиальный горизонт В, для которого характерно наибольшее оглинивание и уплотнение, мощность его достигает 25 см. Иллювиальный горизонт В подстилается переходным горизонтом ВС коричневатого-бурого цвета и с присущим для него преимущественно щебнистым почвенным материалом.

Мощность почвенного покрова достигает в нижней части сопки 1 м. В водораздельной части сопки она наименьшая и нередко почвенный профиль состоит только из верхнего горизонта A_0/A_1A_2 и подстилающего его горизонта ВС. В местах выхода скальных обнажений почвы вообще не развиты, и на породах, особенно габброидных — наиболее устойчивых к процессам выветривания, отмечается только корочка загара, покрытая местами лишайниками.

По механическому составу почвы сложены в основном средними и тяжелыми суглинками. Наибольшие количества фракции «физической глины» во всех разрезах отмечены в горизонтах В и ВС.

По данным валового химического состава величины молекулярного отложения кремнезема к сумме полуторных окислов наибольшие в горизонте A_1A_2 (11,51) и наименьшие в горизонте ВС (4,43). Это свидетельствует об общем выносе из верхнего гумусированного горизонта A_1A_2 полуторных окислов, особенно железа, и относительном накоплении в этом горизонте кремнезема.

Почвенная среда по значению рН (водной вытяжки) почти нейтральная (рН=6,75—7,35). Наибольшая величина рН, равная 7,55 (горизонт A_1A_2), отмечена в разрезе, заложенном на известняках. Рассматриваемые почвы чрезвычайно насыщены поглощенными катионами (до 99%). Из поглощенных катионов наиболее характерен кальций, поскольку почвообразующие породы содержат этот элемент в повышенном количестве.

Почвенные гидроокислы кремнезема, алюминия и железа накапливаются преимущественно в горизонте ВС.

Результаты изучения минералогического состава показывают, что в бурых лесных почвах, сформированных на серпентинитовом массиве, находятся в основном только устойчивые минералы. При этом были установлены некоторые особенности минерального состава почв в зависимости от подстилающих материнских пород. Так, в почвенных разрезах ДІ № 1, ДІІ № 7, заложенных на никеленосном серпентинитовом массиве, набор минералов в шлихах наиболее полный, и в почвах содержатся в повышенном количестве гематит, хромит, группа эпидота, лейкоксен, тальк, серпентин.

В почвах, образовавшихся на габброидных породах сложного состава (разрез ДІІ № 1), отмечается особенно бедный набор минералов. Основными здесь являются хромит, брейнерит, серпентин. Другие минералы, такие как гематит, лимонит, рутил, лейкоксен, встречаются в единичных зернах.

В почвах, сформированных вблизи контакта известняков и габброидов (разрез ДІІІ № 1), характерно присутствие хромита, лейкоксена, кальцита и других аксессуарных минералов.

В общей сложности, в бурых лесных почвах на участке исследований установлены (по шлихам) следующие тяжелые минералы: магнетит, гематит, лимонит, хромит, пирит, эпидот, группа амфибола (базальтическая роговая обманка и гастингстин), пироксен, брейнерит, циркон, рутил, лейкоксен, анатаз, сфен, апатит, кианит. Из легких минералов определены хлорит, кальцит, серпентин, тальк, кварц, полевой шпат.

Особенностью тяжелых минералов описываемых почв является их значительное выветривание, о чем свидетельствует сильно измененный магнетит, нацело лимонитизированный пирит, аморфный эпидот, превратившийся из кристаллического в землистую разновидь, и т. д.

Глинистая фракция генетических горизонтов почвенных разрезов ДІ № 1, ДІІ № 1, ДІІІ № 1, ДІІ № 9, ДІ № 7 исследовалась термическим и рентгеноструктурными анализами. В результате установлено, что глинистые частицы почв представлены каолинитом (эндоэффект 610°), неразбухающим монтмориллонитом (эндоэффект 120 и 880° , данные рентгенографии $d=14,9 \text{ \AA}$), возможно аллофаном (эндоэффект 110° , экзоэффект 1030°), тальком (эндоэффект 690°), кальцитом (эндоэффект $980-1000^\circ$), а также примесью магнезита (эндоэффект 815°).

Таким образом, минералогический состав и химические свойства изученных бурых лесных почв свидетельствуют о том, что на рассматриваемом серпентинизированном перидотитовом массиве Дальнего Востока формируется сиаллитно-карбонатная насыщенная кора выветривания (по классификации К. И. Лукашева, 1958), возникающая при среднетермических и средневлажных условиях и активной роли карбонатных нейтральных вод.

Особенностью геохимических процессов, протекающих в рассматриваемой современной коре выветривания, является образование смесей гидратов кремнезема, глинозема и окислов железа, т. е. сиаллитов, накопление в верхнем горизонте толщи почвогрунтов кальция и магния, но главным образом кальция, поэтому современная кора выветривания здесь насыщенная. Типоморфными элементами коры выветривания данного типа являются кальций и магний, а типоморфными соединениями — смеси карбонатов кальция и магния с окисью железа и глинозема и их производными — группа монтмориллонита и каолинита. Основные минералы типа коры — кальцит, магнезит, каолинит, монтмориллонит и др.

Следует отметить, что описываемый минералого-геохимический тип выветривания Дальнего Востока обусловлен в основном подстилающими ультраосновными породами, содержащими в повышенном количестве ионы кальция и магния.

Геохимия бурых лесных почв на серпентинитовом массиве

Изучение геохимии бурых лесных почв на серпентинитовом массиве было выполнено по 78 образцам, отобранным из генетических горизонтов 30 почвенных разрезов. Почвенные разрезы анализируются по трем магистральным почвенно-биогеохимическим профилям, заложенным вкострости простирания серпентинитового массива. Это количество распределилось следующим образом: из горизонта A_1A_2 — 29 образцов, из горизонта В — 24, из горизонта ВС — 25 образцов.

В почвах были обнаружены такие микроэлементы: марганец, медь, никель, хром, ванадий, кобальт, барий, галлий, цирконий, бериллий, скандий, иттрий, иттербий, цинк. Наиболее часто в почвах отмечаются те микроэлементы, которые характерны для серпентинизированных ультраосновных пород, т. е. никель, кобальт, ванадий, хром, медь, марганец, имеющие 100%-ную встречаемость, особенно в горизонтах В и ВС. Некоторые аксессуарные элементы ультраосновных пород, например галлий, барий, цирконий, в какой-то степени бериллий и скандий, имеют в почвах также повышенную встречаемость. Иттрий, иттербий и цинк встречаются редко.

Кратко остановимся на характеристике особенностей распределения микроэлементов в генетических горизонтах почв по всем изученным почвенным разрезам.

Никель — основной элемент как коренных пород, так и сформированных на них бурых лесных почв. Местный геохимический фон этого элемента в почвах составляет 0,1%, что в 25 раз выше кларка в почвах. Минимальное его содержание ($<0,001\%$) отмечается в горизонте A_1A_2 , максимальное, достигающее 0,3%, — в горизонтах BC и C, что в 75 раз больше кларка. Для никеля характерно постепенное увеличение его встречаемости и содержания от верхнего горизонта A_1A_2 горизонту BC почти во всех изученных почвенных разрезах (рис. 60, а).

Кобальт также относится к основным элементам почв. Местный геохимический фон его в целом в почвах равен 0,003%, что в 3,7 раза больше кларка. Минимальное содержание (0,001%) отмечается в большинстве разрезов в горизонте A_1A_2 , максимальное распределяется по генетическим горизонтам следующим образом: в горизонте A_1A_2 оно не превышает местный геохимический фон, т. е. 0,003%, а в горизонтах В и BC соответственно достигает 0,005 и 0,01%, что в 6,2 и 12,4 раза больше кларка. Для кобальта характерно постепенное увеличение встречаемости и содержания от верхнего горизонта A_1A_2 к горизонту BC, что достаточно отчетливо видно из рис. 60, б.

Хром — один из основных элементов почв. Местный геохимический фон его в почвах составляет 0,05%, что в 2,5 раза выше кларка. Минимальное содержание (0,003%) отмечено в ряде разрезов в горизонте A_1A_2 , в других горизонтах нижний предел содержания хрома значительно выше. Максимальное количество по генетическим горизонтам распределено так (%): в горизонте A_1A_2 — 0,1, в горизонте В — 0,8, в горизонте BC — 0,3, что соответственно в 5, 4 и 15 раз выше кларка в почвах, равного 0,02%. Таким образом, этот элемент обнаруживает тенденцию накопления в горизонте BC (рис. 60, в).

Медь — один из наиболее широко распространенных элементов в почвах, хотя присутствует в них в незначительном количестве. Местный геохимический фон его составляет 0,001%, что в 2 раза ниже кларка. Наибольшие содержания по генетическим горизонтам распределены следующим образом (%): в горизонте A_1A_2 максимальное количество достигает 0,003%, в горизонте В — 0,002, т. е. равно кларку, в горизонте BC —

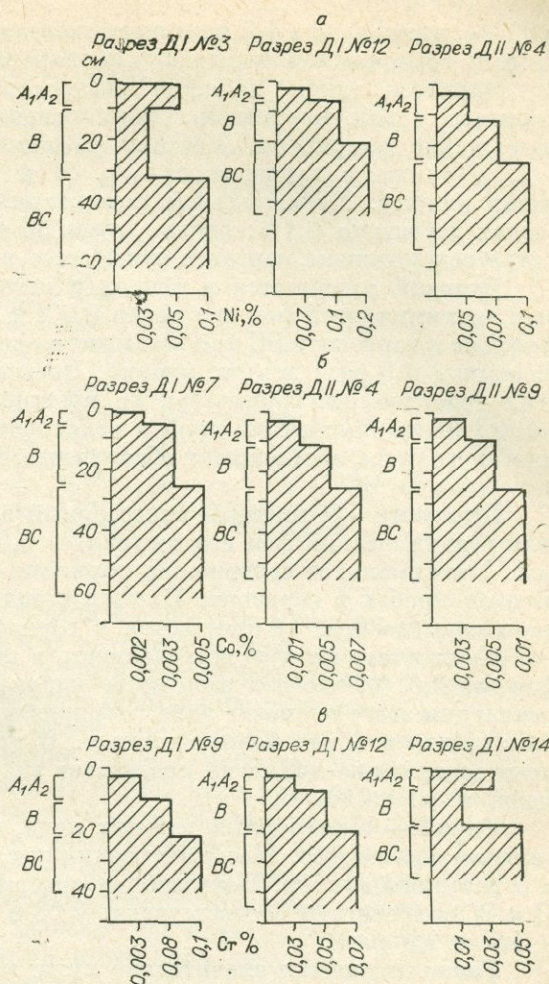


Рис. 60. Распределение никеля (а), кобальта (б) и хрома (в) по генетическим горизонтам бурых лесных почв на серпентинитовом массиве.

0,003%, что только в 1,5 раза выше кларка. По соотношению проб с указанным содержанием медь склонна накапливаться в горизонте ВС.

Марганец также является распространенным элементом как для коренных пород, так и почв, сформированных на них, хотя в почвах его содержание кларковое. Местный геохимический фон в целом в почвах, а также в горизонтах A_1A_2 , В и ВС равен 0,08%, что почти равно кларку. Максимальные содержания во всех генетических горизонтах достигают 0,1%; однако, судя по соотношению количества проб с этим содержанием, марганец чаще всего накапливается в горизонте ВС.

Ванадий содержится в почвах в незначительном количестве. Местный геохимический фон его равен 0,001%, что в 10 раз меньше кларка; и только в горизонте ВС фон повышается до 0,003%, хотя и это количество более чем в 3 раза меньше кларка. Повышенные содержания ванадия во всех генетических горизонтах не превышают 0,005%; однако, судя по соотношению количества проб и некоторому повышению местного геохимического фона, этот элемент обнаруживает тенденцию концентрироваться в горизонте ВС.

Цирконий — типичный акцессорный элемент изученных почв. Местный геохимический фон его составляет 0,03%, т. е. равен кларку в почвах. Максимальное содержание циркония (до 0,05%) установлено в единичных пробах в горизонте В, хотя в большинстве проб повышенное содержание (до 0,03%) отмечается в горизонте ВС.

Цинк имеет низкую встречаемость в почвах. Местный геохимический фон его 0,01%, что в 2 раза выше кларка. Несколько повышенная концентрация этого элемента зарегистрирована в горизонте A_1A_2 и достигает 0,03%, что в 6 раз больше кларка. В других генетических горизонтах почв содержание цинка не превышает значение местного геохимического фона, т. е. 0,01%.

Барий — акцессорный элемент почв, присутствует в них в незначительном количестве. Местный геохимический фон его равен 0,01%, что в 5 раз ниже кларка. Повышенные содержания отмечаются в горизонтах В и ВС и достигают соответственно 0,03 и 0,02%, что также ниже кларка в 1,5 и 2,5 раза.

Галлий в почвах значительно ниже кларка. Несколько повышенное содержание этого элемента (0,003%) отмечено в горизонте С (коренная выветрелая серпентинизированная порода), т. е. почти равно кларку.

Скандий имеет в почвах довольно высокую встречаемость (до 75% в горизонте ВС). Местный геохимический фон его составляет 0,002%, что более чем в 3 раза выше кларка. Такое количество скандия находится и в горизонте A_1A_2 , в горизонтах В и ВС несколько повышенное — до 0,003%.

Бериллий во всех генетических горизонтах почв присутствует в пределах кларка (0,0006%), при этом наибольшее число проб, содержащих этот элемент, характерно для горизонта ВС.

Иттрий обнаружен в почвах в количестве 0,0001%. Наибольшее число проб с таким содержанием отмечено для горизонта ВС.

Таким образом, все микроэлементы бурых лесных почв на серпентинитовом массиве накапливаются в горизонте ВС, особенно основные — никель, кобальт, хром. При этом четко отбиваются коренные почвообразующие серпентинизированные ультраосновные породы по наиболее высокому содержанию в горизонте ВС никеля, хрома, кобальта по сравнению с другими породами. Распределение максимальных концентраций никеля, кобальта и хрома в изученных бурых лесных почвах в зависимости от подстилающих пород приведено в табл. 44, из которой видно, что наиболее рудоносные серпентиниты содержат никеля в 300 раз больше, чем известняки, и почти в 8 раз больше, чем габброиды. В серпентинитах кобальта в 10 раз больше, чем в габброидах, а в известняках он вообще не установлен. Максимальное количество хрома в серпентинитах в 16 раз

Распределение максимальных концентраций никеля, кобальта и хрома в бурых лесных почвах (горизонт ВС) в зависимости от подстилающих пород, %

№ т. н.	Ni	Co	Cr	Коренные породы, на которых сформированы почвы	Ni:Co
1	0,06	0,003	0,06	Серпентиниты	20
2	0,08	0,010	0,08	»	8
3	0,10	0,010	0,10	»	10
4	0,08	0,005	0,06	»	16
5	0,10	0,003	0,05	»	33
6	0,30	0,010	0,08	»	30
7	0,08	0,005	0,05	»	16
8	0,10	0,003	0,08	»	33
9	0,10	0,005	0,10	»	20
10	0,10	0,003	0,08	»	33
11	0,20	0,005	0,08	»	40
12	0,20	0,002	0,07	»	100
13	0,20	0,003	0,05	»	60
14	0,10	0,005	0,05	»	20
21	0,04	0,001	0,04	Габброиды	40
31	0,001	—	0,006	Известняки	—

больше, чем в известняках, и в 2,5 раза больше, чем в габброидах. Приведенные данные указывают на то, что по профилю никеленосные серпентиниты с кобальтом и хромом четко отделяются от вмещающих габброидов и известняков на основании резкого повышения указанных элементов в почвах. Особенно наглядно это иллюстрируется на диаграммах распределения максимальных концентраций никеля, кобальта и хрома в горизонте ВС по профилю I, заложенному вкрест простирания серпентинизированной зоны (рис. 61—63). Из рисунков видно, что основные элементы — никель, кобальт, хром в максимальных количествах содержатся только в почвенных разрезах, которые находятся в пределах серпентинитов. За пределами никеленосной зоны содержания элементов в почвах резко падают. Этот факт имеет важное значение для поисков указанных элементов литогеохимическим методом по вторичным ореолам рассеяния.

Изучение особенностей содержания основных элементов серпентинитового массива во фракциях мелкозема почвенных генетических горизонтов позволило выяснить причины накопления никеля, кобальта и хрома в бурых лесных почвах.

Концентрация никеля в горизонте ВС обусловлена первичными и вторичными минералами, что характерно для кор выветривания ультраосновных пород (Гинзбург и др., 1966). Так, по данным Е. Н. Куземкиной (1965), в корах выветривания основная масса никеля связана главным образом с серпентином, частично с магнетитом и другими реликтовыми первичными минералами ультраосновных пород, содержащими никель, а гипергенные минералы, образовавшиеся в коре выветривания, почти все содержат никель.

Выше указывалось, что большинство минералов в изученных почвах концентрируется в горизонте ВС, поэтому в какой-то степени они и обусловили повышенное содержание никеля в этом горизонте.

По данным Д. П. Малюги (1963), для никеля не исключена возможность вхождения в решетки силикатов переменного состава (монтмориллониты, галлуазиты), в которых он замещает ионы магния и железа.

Кроме того, повышенная концентрация этого элемента в горизонте ВС бурых лесных почв, по-видимому, зависит от вымывания в данный горизонт илстой фракции и обломков минералов гидроокислов марганца и железа, содержащих никель. Так, по А. И. Перельману (1966), главная масса никеля в ландшафте, в частности в почвах гумидных зон, мигрирует

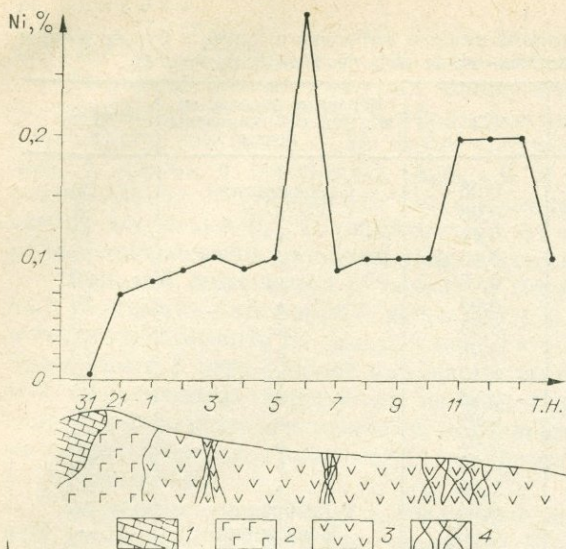


Рис. 61. Распределение максимального содержания никеля в бурых лесных почвах (горизонт ВС) в зависимости от почвообразующих пород (профиль I):

1 — известняки; 2 — габброиды; 3 — серпентиниты; 4 — кварцевые прожилки.

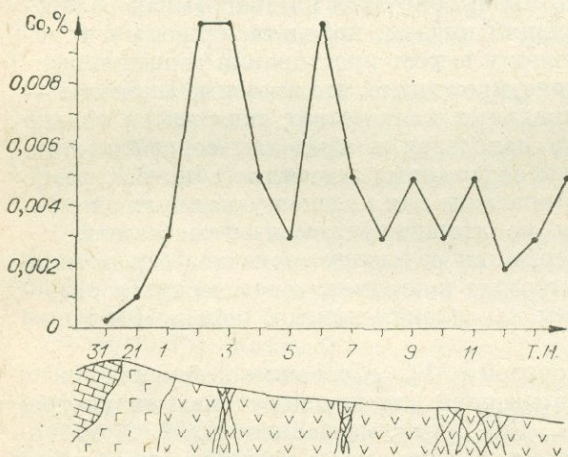


Рис. 62. Распределение максимального содержания кобальта (горизонт ВС) (профиль I). Усл. обозн. см на рис. 61.

не в растворенном состоянии, а механическим путем вместе с глинистыми и илистыми частицами. Кроме того, в нашем случае накопление элемента в горизонте ВС следует связывать с сорбцией его гидроокислами марганца и железа (Перельман, 1965), повышенное содержание которых характерно для горизонта ВС изученных почв.

По данным А. И. Перельмана (1966), осадителем никеля являются подвижные гидроокислы кремнезема, которые в бурых лесных почвах обнаруживают тенденцию накапливаться в горизонте ВС. Таким образом, сочетание указанных выше факторов и обусловило наиболее высокую концентрацию никеля в горизонте ВС.

Накопление кобальта в почвах на серпентинитовом массиве, с одной стороны, обусловлено, по-видимому, первичными и вторичными минералами, содержащими этот элемент, а с другой — выпадением его из почвенных растворов вместе с марганцем, в результате чего образуются черные гидроокислы марганца, обогащенные кобальтом, так называемые асбланы (Перельман, 1966). Кроме того, не исключена сорбция этого элемента глинами и гидроокислами железа и кремнезема, которые также содержатся в повышенном количестве в нижней части почвенных разрезов.

Накопление хрома в горизонте ВС почв на указанном массиве зависит в основном от минерала хромита, присутствующего в этом горизонте в наибольшем количестве по сравнению с другими вышележащими генетическими горизонтами и концентрирующегося преимущественно во фракции 0,25—0,05 мм. Кстати, такое накопление хрома в почвах, сформированных на хромитовых месторождениях Южного Урала, было в свое время установлено Д. П. Малюгой (1963). Кроме того, в данном случае накопление хрома в горизонте ВС, по-видимому, связано с его подвижными соединениями. Согласно А. И. Перельману (1966), в гумидных ландшафтах преобладают соединения трехвалентного хрома и его миграция в таких условиях аналогична соединениям трехвалентного железа и особенно алюминия, поскольку трехвалентный хром подобно

алюминию выщелачивается из верхних горизонтов почв и мигрирует в виде подвижных коллоидных окислов, накапливаясь в горизонте ВС вместе с подвижными гидроокислами алюминия.

Установленные особенности накопления микроэлементов в изученных почвах имеют важное практическое значение для геохимических поисков никеленосных кор выветривания на серпентинитовых массивах и ультраосновных породах Дальнего Востока. В частности, для получения наиболее эффективных результатов поисков таких кор выветривания и возможного обнаружения месторождения никеля в их составе, отбор металлометрических проб надо производить из горизонта ВС, т. е. с глубины 50—60 см, где в наибольшей концентрации накапливаются как основные элементы — никель, кобальт, хром, так и второстепенные — медь, марганец, галлий, ванадий, барий и др.

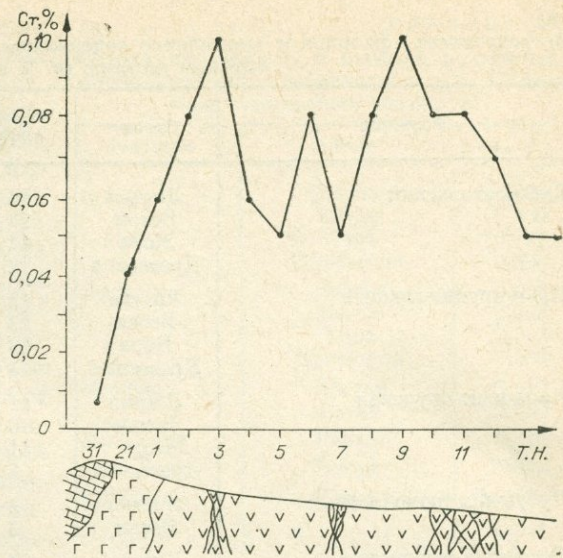


Рис. 63. Распределение максимального содержания хрома (горизонт ВС) (профиль I). Усл. обозн. см. на рис. 61.

с глубины 50—60 см, где в наибольшей концентрации накапливаются как основные элементы — никель, кобальт, хром, так и второстепенные — медь, марганец, галлий, ванадий, барий и др.

Особенности содержания малых химических элементов в растениях на серпентинитовом массиве

По геоботаническому районированию Б. П. Колесникова (1961) район работ расположен в лесостепной зоне Приханкайского округа Даурско-Маньчжурской лесостепной области. Для видового состава растений характерно участие видов ксерофильного и мезофильного облика.

Лесная растительность занимает, как правило, только наиболее повышенные элементы рельефа, а окружающая их равнина покрыта лугами. Древесный покров низкорослый, носит порослевый характер и в прошлом, очевидно, неоднократно подвергался частым палам. Господствующее положение занимает дуб монгольский, реже встречается липа маньчжурская и ильм крупноплодный.

На склонах южной экспозиции древесная растительность сильно разрежена и представлена одиночными экземплярами деревьев среди кустарников, а на склонах северной экспозиции она более сомкнута и образует древесно-кустарниковые насаждения. В нижней, более увлажненной части склонов к перечисленным выше видам примешивается бархат амурский. Подлесок очень обильный и густой. Здесь преобладает лещина разнолистная, леспедеца двуцветная и чубушник тонколистный.

На вершине среди кустарников встречается леспедеца копеечниковая и секуринога полукустарниковая — виды, характерные для степных участков. Вообще вершину сопки слагают преимущественно степные группировки. В травяном покрове обычна арундинелла уклоняющаяся, осока твердоватая, лилия тонколистная, очиток живучий и клевер люпиновидный. Обычна также полынь Гмелина. Ниже по склону, под пологом деревьев и кустарников в травяном покрове появляются виды, более типичные для широколиственных лесов. Здесь господствует анемон лесной,

Встречаемость, фоновое и аномальное содержание никеля в растениях на серпентиновом массиве (в % на золу)

Растение	Орган	Число проб	Встречаемость	Фон	Аномальное содержание
Дуб монгольский	Листья	16	100	0,003	0,030
	Ветви	16	88	0,010	0,010
	Кора	14	100	0,003	0,010
	Древесина	12	100	0,030	0,030
Ильм крупноплодный	Листья	13	100	<0,001	0,003
	Ветви	13	93	0,003	0,200
	Кора	10	90	<0,001	0,002
	Древесина	3	100	0,010	0,030
Липа маньчжурская	Листья	11	100	0,003	0,060
	Ветви	10	100	0,006	0,010
	Кора	11	100	0,003	0,006
	Древесина	8	100	0,010	0,060
Чубушник тонколистный	Листья	3	100	0,050	0,003
	Ветви	3	100	0,070	0,020
Леспедеца двуцветная	Листья	27	100	0,003	0,010
	Ветви	29	86	0,003	0,010
Лещина разнолистная	Листья	27	96	0,003	0,030
	Ветви	25	100	0,003	0,030
Полынь Гмелина	Надземная часть	13	85	<0,001	0,003
Ландыш Кейске	То же	22	96	0,003	0,005
Арундинелла уклоняющаяся	»	2	50	—	0,001
Вика мышиная	»	6	100	—	0,020
Ветреница гладкая	»	12	92	<0,001	0,030
Кровохлебка аптечная	»	17	94	<0,001	0,006
Ирис одноцветковый	»	14	86	<0,001	0,008
Щитовник Линнея	»	22	49	<0,001	0,003
Чемерица уссурийская	»	12	92	0,001	0,005

вика мышиная, ландыш Кейске, кровохлебка аптечная, ирис одноцветковый, купена душистая, василистник скрученный. Значительно реже встречается щитовник Линнея, чемерица уссурийская, пион белоцветковый, ясенец пушистоплодный и герань Власова.

Таким образом, на участке биогеохимических исследований распространены в основном два типа растительных ассоциаций. На вершине сопок — это преимущественно травяно-кустарниковые группировки, характерные для степи, а на склонах древесно-кустарниковые порослевые заросли с видами, обычными для зоны широколиственных лесов.

На участке биогеохимического опробования было отобрано 370 проб из 15 видов растений, принадлежащих к 13 семействам. В золе растений, кроме никеля, были обнаружены молибден, медь, цинк, серебро, кобальт, галлий, ванадий, олово, барий, титан, цирконий и марганец.

Никель установлен во всех растениях участка опробования (табл. 45). Встречаемость его в растениях довольно высокая, а наиболее низкая — в травянистых растениях. Относительное содержание элемента в различных органах одного и того же вида колеблется в широких пределах. Во всех древесных породах максимальные концентрации никеля в золе ветвей и древесине всегда выше, чем в листьях и коре, т. е. характерно базипетальное поглощение. У лещины и леспедецы содержание никеля как в старых, так и в молодых органах равное, т. е. степень поглощения никеля смешанная.

Содержание никеля в органах различных видов растений, отобранных в т. н. 11 над серпентинитовым массивом

Растение	Орган	Ni, %
Ильм	Листья	<0,001
	Ветви	0,200
	Кора	<0,001
	Древесина	0,030
Липа	Листья	0,003
	Ветви	0,006
	Кора	0,003
	Древесина	0,006
Лещина	Листья	0,010
	Ветви	0,030
Леспедеца	Листья	0,010
	Ветви	0,001
Щитовник	Надземная часть	Не обн.
Ландыш	» »	0,001

Наименьшие концентрации отмечаются в травянистых растениях.

Сопоставление данных содержания никеля в почвах и растениях показывает, что концентрация его в растениях прямо пропорциональна концентрации в почвах. Так, в пункте опробования, расположенном на известняках в 50 м от серпентинитового массива, при содержании никеля в почвах < 0,001%, количество его в растениях не превышает 0,001%. В пункте, расположенном на габброидах в 20 м от серпентинитового массива, содержание никеля в почвах повышается до 0,06%, а в растениях — до 0,006%. Непосредственно в точках над серпентинитовым массивом при значениях никеля в почвах 0,1—0,3% в растениях его концентрации повышаются до 0,05—0,2%. Таким образом, в растениях, распространенных на обогащенной никелем коре выветривания серпентинитов, отмечаются максимальные концентрации этого металла.

Отношение содержания никеля в растениях к его количеству в почвах как на минерализованных, так и на безрудных участках, составляет одну и ту же величину, близкую к единице. Разница в концентрации никеля в отдельных видах растений, собранных в одном пункте, зависит, по-видимому, от их избирательной способности, но и при этих различиях над обогащенной зоной содержание элемента во всех растениях участка резко повышается. Кроме различия в избирательной способности, отклонения в накоплении никеля у различных видов растений связаны, очевидно, с глубиной проникновения корней — у деревьев и кустарников с глубоко проникающей корневой системой содержание металла выше, чем у травянистых растений.

Кобальт обнаружен лишь в двух пробах ветвей леспедецы и лещины — 0,0001—0,0002%. Такое слабое поглощение элемента растениями объясняется, вероятно, тем, что этот металл находится в почве в труднодоступной для растений форме. Как указывают А. П. Виноградов (1957) и Д. П. Малюга (1963), кобальт при pH > 6,8 окисляется до трехвалентного состояния и становится малоподвижным, а следовательно, и трудноусвояемым растениями. Реакция почвенной среды на нашем участке близка к приведенной величине. Кроме этого, кобальт, вероятно, сорбируется гидроокислами железа и марганца и также становится менее подвижным, чем никель. Изучение распределения кобальта по фракциям почвенных проб показывает, что максимальные концентрации обнаруживаются во фракции 0,25—0,05 мм, с этой же фракцией связаны и гидроокислы железа и марганца типа лимонита и вадов. Всем этим, по-видимому, и объясняется слабое поглощение кобальта растениями. Характерно, что от-

ношение никеля к кобальту в почвах и растениях колеблется в пределах 10—100. А. П. Виноградов (1957) считает, что такая величина отношения служит хорошим поисковым признаком на никель.

Марганец обнаружен во всех растениях участка со 100%-ной встречаемостью. Содержание его колеблется в пределах $< 0,001$ —1,0%. Фоновые количества изменяются от 0,05 до 0,5% у древесных растений и кустарников и от 0,003 до 0,08% у трав. У деревьев и кустарников он накапливается в максимальных количествах в ветвях и коре, т. е. имеет акропетальное распределение. Марганец — типичный «биогенный» элемент. В растениях его содержание в 3—30 раз больше максимальных почвенных концентраций. Лещина является его лучшим концентратором — в золе ее ветвей количество марганца достигает 3%.

Медь установлена во всех растениях участка со 100%-ной встречаемостью. Содержание ее колеблется в пределах 0,001%—0,01%. Фон у травянистых растений составляет 0,001—0,005%, а у древесных и кустарниковых — 0,001—0,01%. Характер распределения меди акропетальный. Максимальные концентрации отмечаются в ветвях и древесине. Медь, как один из важных элементов в жизни растений, накапливается избирательно при общем низком (не более 0,003%) количестве ее в почвах. Концентрация меди в золе растений в 10—100 раз выше, чем в почве. Медь, как один из жизненно важных элементов в питании растений, поглощается ими в ионной форме и избирательно накапливается в них. Лучший концентратор меди — ильм крупноплодный, содержание ее в золе ветвей достигает 0,1%.

Цинк обнаружен во всех растениях участка. Встречаемость его в большинстве видов составляет 30—40%, а в ветвях чубушника — 100%. Содержание цинка в растениях колеблется в пределах 0,01—0,2%, а в золе щитовника Линнея достигает 1%. Фон цинка составляет 0,01—0,03%. Во всех растениях участка он накапливается примерно в одинаковом количестве. Характер распределения цинка акропетальный, т. е. в деревьях и кустарниках он накапливается в старых органах, в листьях его содержание всегда меньше. Так же, как и медь, это жизненно важный элемент в питании растений и также накапливается в них избирательно. Цинка в золе растений при этом в 2—6 раз больше, чем в почвах. В максимальной концентрации он накапливается в щитовнике Линнея — 1%. Эта величина более чем в 30 раз выше фонового содержания как в растениях, так и в почвах.

Молибден отмечен в большинстве видов растений. Он не обнаружен лишь в золе дуба монгольского и чемерицы уссурийской. Особенно высокая встречаемость его характерна для бобовых растений и чубушника. Фоновые содержания составляют 0,0001—0,0003%. Распределение молибдена в органах ильма крупноплодного, липы маньчжурской и чубушника тонколистного акропетальное, у леспедецы и лещины меняется на базипетальное, т. е. происходит накопление в листьях.

В почвах участка молибден не обнаружен и, по-видимому, содержится в них за пределами чувствительности анализа. В золе растений из семейства бобовых — леспедецы двуцветной и вики мышинной его содержание максимально для всех растений участка—0,001—0,003%, что в 3—30 раз выше концентрации в других видах растений. Бобовые, таким образом, отличаются большой избирательной способностью по отношению к молибдену, что было ранее отмечено А. П. Виноградовым, 1957; Я. В. Пейве, 1961; и др. Изменение характера распределения молибдена от акропетального у одних растений на базипетальное у других является, очевидно, свидетельством существенно различных функций этого элемента у разных видов растений.

Свинец обнаружен в большинстве видов растений со средней встречаемостью 30—50% и отсутствует лишь в золе ветреницы и ириса. Содержание его незначительное и колеблется в пределах 0,001—0,003%. Фон

свинца не превышает 0,001%. Характер распределения этого элемента акропетальный, т. е. он концентрируется в ветвях и коре, причем в древесине часто отсутствует или содержание его здесь ниже, чем в листьях. В травянистых растениях свинца накапливается меньше, чем в деревьях и кустарниках. Максимальное количество свинца, достигающее 0,003%, отмечено в коре дуба монгольского и в ветвях лещины и леспедецы. В органах этих растений степень концентрации в 3 раза выше, чем в растениях и почвах.

Кроме выше перечисленных, наиболее распространенных элементов, в единичных пробах растений отмечены **серебро, галлий и олово**. Содержание их колеблется

в таких пределах от 0,0001% для серебра и до 0,001% для галлия и олова.

Серебро и галлий обнаружены в деревьях, кустарниках и травянистых растениях, олово же установлено только в вике мышинной и пресе одноцветковой. Характер распределения серебра и галлия в растениях акропетальный, для галлия у липы он меняется на базипетальный, т. е. накапливается в листьях.

Характерно, что все эти элементы концентрируются в растениях лишь в определенных точках (особенно серебро и олово) и часто совместно. В почвах из этих элементов обнаружен только галлий. Анализ геологического строения участка и распределения этих элементов в растениях на определенных точках позволил установить, что галлий, а особенно серебро и олово накапливаются в растениях преимущественно над зонами трещиноватости в серпентинитах, выполненных кварцевыми жилами, содержащими микровключения сульфидных минералов свинца и цинка и их элементов-спутников — олова и серебра.

Таким образом, проведенными биогеохимическими исследованиями установлено, что содержание никеля в растениях на коре выветривания серпентинитового массива находится в прямой зависимости от количества этого металла и его спутников в почвах и подстилающих породах. В растениях возникают биогеохимические аномалии никеля (рис. 64), связанные с повышенными содержаниями указанного элемента в подстилающих породах. Поэтому биогеохимический метод может быть использован при поисках никелевых руд на Дальнем Востоке.

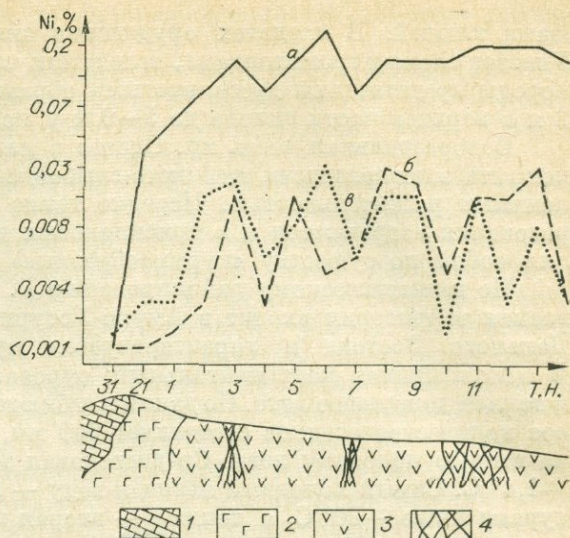


Рис. 64. Распределение никеля в бурых лесных почвах и растениях.

1 — известняки; 2 — габброиды; 3 — серпентиниты; 4 — зоны трещиноватости (кварцевые прожилки). Кривые содержания: а — в почвах; б — в ветвях лещины; в — в ветвях леспедецы.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ВОЛЬФРАМОВОМ РУДОПРОЯВЛЕНИИ

Общие положения

Рудопроявление расположено на северо-западном склоне хр. Синего. Местность в окрестностях рудопроявления характеризуется абсолютными отметками 550—600 м с относительными превышениями 25—30 м над дни-

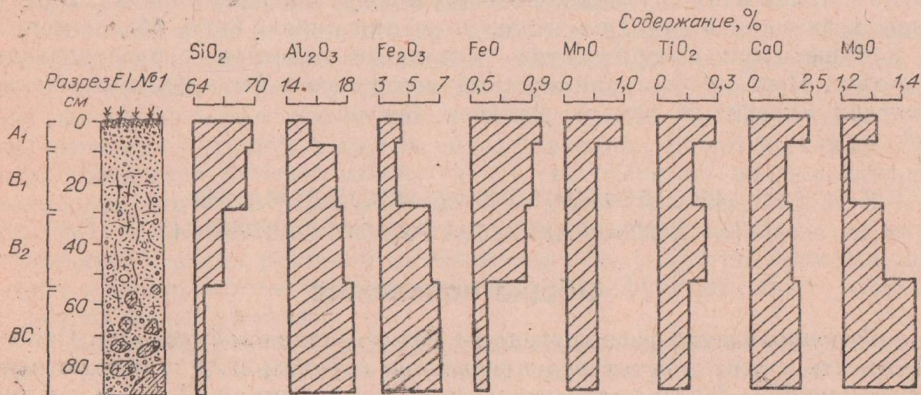
щами ключей. В пределах оруденения склон имеет крутизну 18—25°. Участок сложен гранитоидами, вследствие чего элювиально-делювиальные породы представлены дресвянистыми образованиями мощностью от 1,5—2 м в верхней части склона до 5—6 м у подножия.

Водораздельная часть хр. Синего в наиболее повышенной его части покрыта элювиальными щебнисто-глыбовыми образованиями, не закрепленными растительностью. Нередко такие современные обломочные образования встречаются и в присклоновых частях водораздела, представляя собой по существу «курумообразные» осыпи.

По климатическому районированию Г. Н. Витвицкого (1961) описываемая территория входит в Амуро-Уссурийский район умеренной зоны Дальнего Востока и характеризуется муссонными чертами климата. В целом климат континентальный; суровая, иногда малоснежная зима и теплое дождливое лето. По данным наблюдений метеостанции среднегодовое количество осадков составляет 640 мм, из них 40—60% приходится на вторую половину лета. Среднегодовая температура воздуха в районе +1,4° С. Самый холодный месяц в году — январь, с суточными температурами ниже -20° С, а теплый — вторая половина августа, когда суточные температуры превышают 20° С. Благодаря относительно незначительной мощности снежного покрова и низким температурам воздуха в зимний период почвогрунты промерзают на значительную глубину, иногда превышающую 1,5 м.

В геологическом отношении участок с вольфрамовым оруденением приурочен к северо-западной части крупного интрузива верхнемеловых гранодиоритов, известного под названием Синегорского и характеризующегося повышенным содержанием вольфрама и молибдена (Левашов, Гречищева, 1970). Источником вольфрама и молибдена является шеелит, присутствующий в виде акцессорной примеси в гранодиоритах. В местах повышенного скопления этого минерала в гидротермально измененных гранодиоритах образуется вольфрамовое оруденение, представленное кварц-шеелитовыми рудами. Кварц-шеелитовые руды имеют массивную, часто вкрапленную, иногда брекчиевидную текстуру, обусловленную наличием в руде ксенолитов гранодиоритов. В массе кварца шеелит распространен довольно неравномерно. Формы выделения его весьма различны. Часто этот минерал образует как отдельные вкрапления зерен, размеры которых составляют несколько миллиметров, так и достаточно крупные кристаллы и их агрегаты с площадью до 15—20 см². Шеелит представлен молибденсодержащей разновидностью — зейрегитом (CaWMoO₇). Отношение молибдена к трехокиси вольфрама в рудах равно 1:10. В составе гидротермально измененных гранодиоритов вольфрамовое оруденение локализовано в виде рудных тел или жил.

Биогеохимическое опробование выполнено на рудной жиле, представ-



лящей собой линзообразное, не выдержанное по простиранию рудное тело мощностью от 0,5 до 12 м.

На рудопроявлении был заложен почвенно-биогеохимический профиль длиной свыше 200 м, ориентированный вкрест простирания рудного тела. На профиле через 10 м отбирались растительные пробы, а через 20 м — пробы почв по генетическим горизонтам.

На участке работ развиты бурые горно-лесные почвы, формирующиеся на среднезернистых гранодиоритах под хвойно-широколиственными лесами. Вследствие значительной крутизны участка сопки, на котором проводились исследования, почвенный профиль имеет незначительную мощность, не превышающую 90—100 см, а также маломощную лесную подстилку. Достаточно четко выражен гумусовый горизонт, достигающий мощности 12 см. Подгумусовые горизонты визуальнo выделяются слабо, однако в отдельных разрезах заметна более интенсивная бурая окраска иллювиального горизонта В, бесструктурного, с незначительной увлажненностью, слегка уплотненного. Нижняя часть почвенных разрезов характеризуется повышенным содержанием дровесы и обломков выветрелых гранодиоритов, особенно в горизонте ВС. В ряде разрезов нижняя часть горизонта ВС значительно уплотнена, дровеса здесь сохраняет структуру гранодиорита, но легко крошится. Еще ниже залегают выветрелые гранодиориты с нацело разрушенным полевым шпатом.

Наибольшее количество глинистых и илистых частиц, судя по механическому составу описываемых почв, приурочено к нижней части почвенных разрезов, к горизонтам В и ВС.

Особенности валового химического состава мелкозема бурых горно-лесных почв на участке изображены на диаграмме (рис. 65), из которой следует, что кремнезем обнаруживает четко выраженную тенденцию относительно накапливаться в верхнем гумусированном горизонте, а полоторные окислы алюминия и железа наоборот — в нижнем горизонте ВС.

Почвы слабокислые, рН (водная вытяжка) колеблется от 5,20 до 7,20, степень насыщенности поглощенными катионами — кальцием, магнием и водородом высокая — до 80—90 мг·экв. Подвижные гидроокислы кремнезема, алюминия и железа почв накапливаются в горизонте В₂ и ВС.

Изучением минералогического состава почв по шлихам, отмытым из генетических горизонтов В и ВС, установлено, что наибольший выход тяжелой фракции приурочен к нижней части почвенных разрезов, т. е. к горизонту ВС, особенно над рудной зоной. Так, например, в разрезе ЕІ № 9, заложенным над рудным телом, выход шлиха в горизонте В составляет 54,29 г, а в горизонте ВС — 92,14 г, т. е. почти в 2 раза больше, в то время как за пределами рудной зоны максимальный выход шлиха равен 33,72 г (разрез ЕІ № 1, горизонт ВС). Выход немагнитной фракции, содержащей шеелит, также наибольший в горизонте ВС. Весьма характерно, что шеелит как основной минерал оруденения в наибольшем количестве содержится в горизонте ВС, причем максимум его приурочен не к эпицентру рудного тела, а к пункту, значительно смещенному от выхода основно-

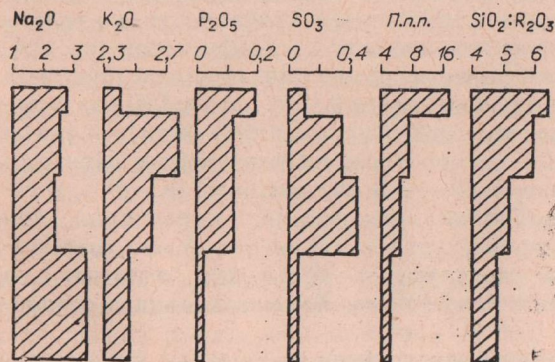


Рис. 65. Валовой химический состав бурых горно-лесных почв, сформированных на вольфрамовом рудопроявлении (разрез ЕІ № 1; компоненты даны в процентах на прокаленное вещество почвы).

го оруденения. Так, например, если наибольшее количество шеелита над рудным телом в горизонте ВС (разрез ЕІ №9) составляет 25% от веса немагнитной фракции, то в разрезе ЕІ №16 (горизонт ВС) содержание указанного минерала в этой же фракции уже достигает 80%. Таким образом, шлиховая аномалия шеелита смещена на 70 м от вскрытого рудного тела и контрастность ее почти в 4 раза больше, чем над рудным телом. Если учесть, что выход немагнитной фракции над эпицентром рудного тела составляет 0,65 г (разрез ЕІ № 9), а в разрезе ЕІ № 16 — 5,25 г, можно четко представить себе резкое смещение шлиховой аномалии от рудного тела вниз склона крутизной в среднем 22°.

В целом в почвах по шлихам на рудопроявлении обнаружены следующие тяжелые минералы: магнетит, лимонит, ильменит, гематит, хромит, роговая обманка, эпидот, пьезонтит, турмалин, лейкоксен, циркон, рутил, сфен, апатит, анатаз, шеелит (зейрегит), касситерит. Легкие минералы почв представлены биотитом, мусковитом, гидрослюдой, полевым шпатом и кварцем. Особенности минералов почв заключается в том, что они подвергнуты процессам выветривания. Так, пирит превращен в лимонит и в почвах лишь встречаются псевдоморфозы лимонита по пириту, магнетит интенсивно мартитизирован, ильменит подвергнут процессам лейкоксенизации, эпидот превратился в аморфную агрегативидную разновидность, полевой шпат каолинитизирован. Об этом же свидетельствуют результаты минералогического изучения глинистых частиц. По данным дифференциальных кривых нагревания, глинистые частицы представлены гидрослюдой типа иллита и вермикулита (эндоеффекты 110—120°), а также примесью каолинитового минерала (эндоеффекты 540—600°, экзоэффекты 940°). Данные термического анализа подтверждаются результатами рентгеновских исследований. В частности, замеры межплоскостных расстояний и дифрактограммы указывают на наличие в глинистых частицах изученных почв вермикулита (14,4 Å), гидробиотита (12,5 Å), гидрослюды (10,0 Å) и каолинита (7,2 Å). При этом следует отметить, что наиболее четкие рефлексы по минералогии глинистых частиц отмечаются для генетических горизонтов В и ВС, содержащих повышенное количество фракции < 0,001 мм, т. е. в нижних частях почвенных разрезов.

Особенности накопления вольфрама и молибдена в бурых горно-лесных почвах

Всего на рудопроявлении было изучено 8 почвенных разрезов, из которых отобрано по генетическим горизонтам 33 образца.

Вольфрам — основной элемент оруденения и почв, сформированных над рудной зоной. Этот металл обнаружен во всех генетических горизонтах рассматриваемых почв, т. е. имеет 100%-ную встречаемость, но только в тех почвенных разрезах, которые заложены над рудным телом и в пределах вторичного (механического) ореола рассеяния шеелита. Местный геохимический фон его в целом по почвам равен 0,02%, что в 100 раз больше кларка (0,0002%) в осадочных породах (Сауков, 1966). Максимальные содержания вольфрама в почвах распространены следующим образом: в горизонте А₁ — 0,4%, в горизонте В — 0,2, в горизонте ВС — 0,4, в горизонте С — 0,6%, т. е. наибольшее содержание характерно для нижней части почвенных горизонтов, хотя в горизонте А оно тоже высокое. В целом максимальные содержания вольфрама в почвах во всех генетических горизонтах в 1000—3000 раз больше кларка в осадочных породах.

Относительно местного геохимического фона наибольшее количество вольфрама в почвах больше в 2—3 раза.

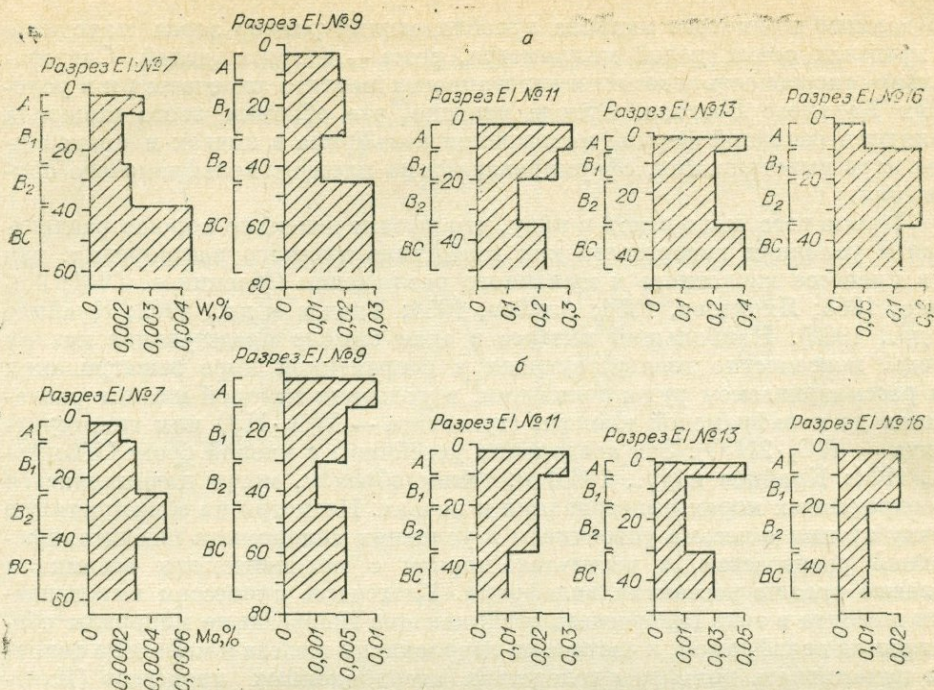


Рис. 66. Распределение вольфрама (а) и молибдена (б) в бурых горно-лесных почвах.

На рис. 66,а приведены диаграммы распределения вольфрама по почвенным разрезам. Из них следует, что в точках наблюдения, расположенных в верхней части склона, т. е. выше основной зоны оруденения и непосредственно над зоной (разрезы EI № 7 и EI № 9), распределение вольфрама в почвах аналогично таковому для малоподвижных элементов — олова, циркония, хрома и др. в таких же ландшафтных условиях, т. е. максимальная его концентрация характерна для горизонта BC.

В разрезах ниже по склону оруденения (разрезы EI № 11 и EI № 13) наибольшее количество вольфрама, обусловленное механическим ореолом рассеяния обломков шеелита и повышенной концентрацией этого минерала на некотором удалении от источника сноса, отмечается в верхнем горизонте А.

Затем вниз по склону, по мере удаления от коренного источника оруденения, содержание вольфрама в горизонте А₁ постепенно уменьшается, и максимальное по разрезам количество этого металла опять тяготеет к нижним горизонтам почв (разрез EI № 16). Необходимо подчеркнуть, что аналогичное изменение максимального содержания малоподвижных химических элементов по генетическим горизонтам почв по мере удаления от зоны оруденения вниз по склону отмечено в свое время Х. Е. Хоксом и Дж. С. Уэббом (1964).

Следует остановиться на формах нахождения вольфрама в изученных бурых горно-лесных почвах, так как единственным первичным минералом этого элемента в рудах данного месторождения является молибденсодержащий шеелит (зейрегит).

Как известно, одна из характерных черт минерала шеелита — его достаточно четко выраженная склонность к дезинтегрированности в условиях гипергенеза (Левина, 1954), в результате чего размер зерен шеелита уменьшается в 10—20 раз и обычный размер обломков этого минерала в элювиально-делювиальных отложениях в пределах механических ореолов рассеяния колеблется от 0,01 до 0,05 мм. В нашем случае, несмотря на массивную кристаллическую структуру первичного шеелита,

по данным шлихового анализа преобладающий размер зерен находится в пределах сотых долей миллиметра, реже — десятых долей. Следовательно, способность к дезинтегрированности шеелита отмечается и в условиях Дальнего Востока. Отсюда понятно, что обломки этого минерала являются основной формой нахождения вольфрама в почвах и современной коре выветривания, сформированных на площади вольфрамового оруденения.

Кроме того, надо иметь в виду, что шеелит довольно хорошо разлагается в условиях гипергенеза как вследствие простого растворения, так и в процессе кислотного и щелочного разложения (Мясников, 1941; Левина, 1954; Яхонтова, 1954; Альбов, 1954; Удодов и др., 1962; Крайнов и др., 1965). Наибольший интерес в этом смысле представляет кислая среда, повсеместно господствующая в современной коре выветривания на рассматриваемом рудопроявлении, в условиях которой шеелит разлагается до вольфрамовой кислоты (тунгстита — $WO_3 \cdot H_2O$ или гидротунгстита — $WO_3 \cdot 2H_2O$). Эти соединения устойчивы в кислой среде (Яхонтова, 1954; Крайнов и др., 1965) и, таким образом, могут накапливаться в современных корях выветривания и почвах. Несмотря на общепринятую точку зрения о весьма устойчивом в условиях гипергенеза шеелите, последний разлагается, в результате наряду с механическими возникают солевые ореолы рассеяния вольфрама. Благодаря процессам выветривания шеелита в зоне гипергенеза возникающие гипергенные минералы обогащаются вольфрамом, в частности, гидроокислы железа и марганца склонны накапливать вольфрам вследствие адсорбционных процессов (Яхонтова, 1954; Дружинин, 1965). Охотно сорбируют вольфрам и глинистые минералы, особенно в условиях кислой и слабокислой среды, в частности каолинит (Левина, 1954).

В нашем случае наибольшее количество подвижных гидроокислов железа и глинистых частиц отмечается в горизонте В и ВС, т. е. в нижней части почвенного разреза, где в большинстве случаев вольфрам содержится также в максимальном количестве. Таким образом, наложение механических и солевых ореолов рассеяния и определило преимущественное накопление вольфрама в горизонте ВС бурых горно-лесных почв, сформированных на площади рассматриваемого вольфрамового оруденения.

Молибден также относится к основным химическим элементам оруденения, поскольку он является составной частью практически единственного минерала оруденения — шеелита (зейрегита). Как и вольфрам, молибден имеет 100%-ную встречаемость во всех генетических горизонтах почвенных разрезов над рудной зоной и ниже по склону в пределах вторичного механического ореола рассеяния. Если учесть все почвенные разрезы, изученные на участке биогеохимических исследований, в частности, те, которые заложены за пределами зоны оруденения, то общая встречаемость молибдена в почвах будет 81,82%.

Местный геохимический фон этого элемента в целом в почвах равен 0,01%, что в 50 раз больше кларка в почвах. По генетическим горизонтам эта величина составляет в горизонте А — 0,01%, в горизонте В — 0,02, в горизонте ВС — 0,01, в горизонте С (сильно выветрелые рудовмещающие гранодиориты) 0,1%, т. е. соответственно в 50, 100, 50 и 500 раз больше кларка в почвах. Максимальные содержания по генетическим горизонтам распределены так: в горизонте А — 0,05%, в горизонте В — 0,02, в горизонте ВС — 0,03, в горизонте С — 0,1%, что соответственно в 250, 100, 150 и 500 раз больше кларка.

Относительно местного геохимического фона максимальное количество молибдена в почвах больше: в горизонте А в 5 раз, в горизонте В в 2 раза, в горизонте ВС в 3 раза и в горизонте С в 10 раз.

Распределение содержания молибдена по генетическим горизонтам почвенных разрезов (рис. 66, б) происходит по двум типам. В разрезах

Отношение молибдена к вольфраму в бурых горно-лесных почвах

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Mo, %	W, %	Mo:W
EI №7	A ₁	2—3	0,0020	0,0027	0,74
	B ₁	14—22	0,0003	0,0020	0,15
	B ₂	37—42	0,0005	0,0021	0,24
	BC	50—60	0,0003	0,0044	0,07
EI №9	A ₁	3—6	0,010	0,018	0,55
	B ₁	12—15	0,005	0,019	0,26
	B ₂	30—35	0,001	0,011	0,09
	BC	65—75	0,005	0,027	0,18
	C*	65—75	0,100	0,500	0,20
EI №11	A ₁	4—10	0,03	0,30	0,10
	B ₁	16—20	0,02	0,26	0,08
	B ₂	25—30	0,02	0,12	0,14
	BC	45—50	0,01	0,03	0,33
	C*	45—50	0,05	0,40	0,12
EI №13	A ₁	2—5	0,050	0,40	0,12
	B	10—15	0,010	0,20	0,05
	BC	40—44	0,030	0,40	0,07
	C*	40—44	0,006	0,01	0,60
EI №16	A ₁	3—10	0,02	0,05	0,40
	B	17—20	0,02	0,19	0,10
	BC	45—50	0,01	0,11	0,10
	C*	45—50	0,10	0,60	0,17
Среднее					0,22

* Сильно выветрелые рудовмещающие гидротермально измененные гранодиориты. Определение элементов выполнено количественным спектральным анализом в лаборатории УГУ (г. Свердловск).

выше по склону рудного тела, но в пределах первичного ореола рассеяния, максимальная концентрация элемента отмечается в нижней части горизонта В (разрез EI № 7). В разрезах непосредственно над рудным телом и ниже по склону, в пределах вторичного механического рассеяния молибденсодержащего шеелита, наибольшее количество молибдена наблюдается в горизонте А (разрезы EI № 9, EI № 11, EI № 13, EI № 16). В данном случае распределение молибдена в почвах аналогично вольфраму, т. е. повышенное содержание в верхней части почвенных разрезов обусловлено наличием молибденсодержащего шеелита. При этом следует отметить то, что выше по склону рудного тела, но в пределах первичного ореола рассеяния наибольшее содержание вольфрама характерно для горизонта BC, а молибден в максимальном количестве накапливается в горизонте В. Эта особенность накопления молибдена в бурых горно-лесных почвах не противоречит его геохимической сущности в зоне гипергенеза, а именно связана с тонкими фракциями мелкозема — глинистыми частицами (Хитаров, Иванов, 1937; Малюга, 1963) и особенно с коллоидами гидратов окислов алюминия и марганца (Хрущов, Щербина, 1965). Следовательно, накопление молибдена в почвах в горизонте В, содержащем наибольшее количество глинистых частиц и подвижных гидроокислов железа, вполне естественно.

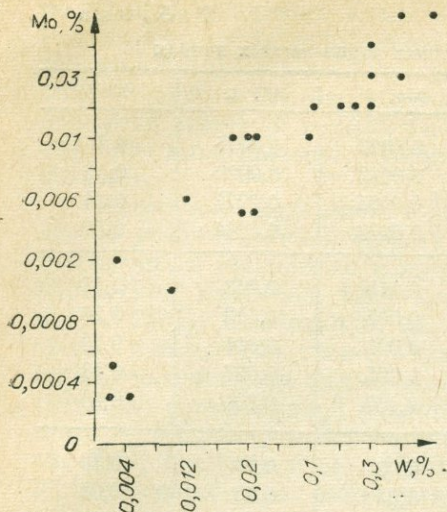


Рис. 67. Зависимость содержания между вольфрамом и молибденом в почвах.

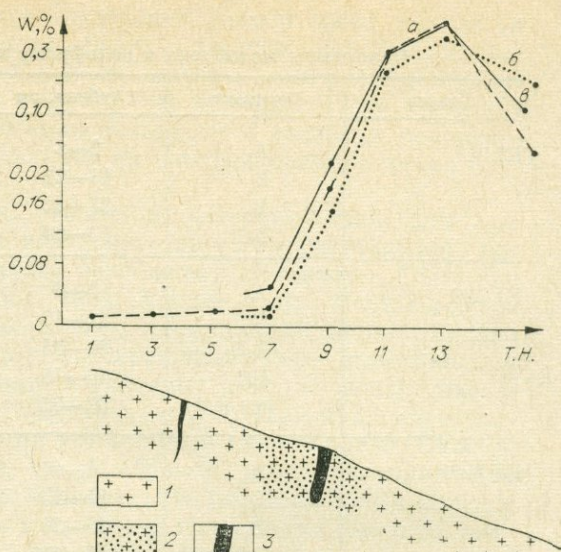


Рис. 68. Распределение вольфрама в бурых горно-лесных почвах по профилю вкрест простирания рудного тела. 1 — гранодиориты; 2 — гидротермально измененные гранодиориты; 3 — рудное тело. Кривые содержания: а — в горизонте А; б — в горизонте В; в — в горизонте ВС.

Как указывалось выше, отношение молибдена к вольфраму в коренных рудах в среднем составляет 0,1. Аналогичное отношение нами

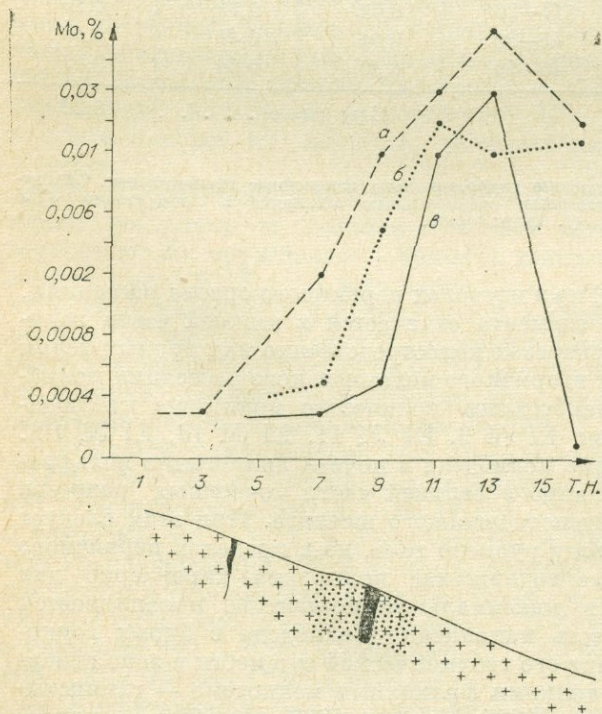


Рис. 69. Распределение молибдена в бурых горно-лесных почвах по профилю вкрест простирания рудного тела. Усл. обозн. см. на рис. 68. Кривые содержания: а — в горизонте А; б — в горизонте В; в — в горизонте ВС.

вычислено для бурых горно-лесных почв. Оказалось, что оно колеблется от 0,1 до 0,7 и в среднем составляет 0,22, т. е. в 2 с лишним раза больше, чем в коренных рудовмещающих породах и рудах (табл. 47). Данное обстоятельство указывает на то, что в современной коре выветривания в целом отмечается накопление молибдена относительно коренных пород и руд. Это подтверждает положение Д. П. Малюги (1963) о накоплении молибдена в почвах вследствие сорбции его глинистыми частицами.

Кроме того, наибольшее отношение молибдена к вольфраму отмечается в верхнем гумусовом горизонте почв, что свидетельствует о биогенном накоплении молибдена, установленном Д. П. Малюгой (1963) и другими исследователями. Из рис. 67 четко

видна прямая зависимость между содержанием молибдена и вольфрама в бурых горно-лесных почвах, сформированных на рудовмещающих вольфрамоносных гранодиоритах.

Установлены особенности распределения вольфрама в почвенных разрезах по профилю, заложенному вкрест простирания рудного тела. Оказалось, что литогеохимическая аномалия элемента резко фиксирует наличие вольфрамового оруденения по всем почвенным генетическим горизонтам, но при этом отмечается ее смещение до 40 м вниз по склону сопки при крутизне до 20° (рис. 68).

Аналогичные соотношения в распределении по профилю вкрест простирания рудного тела отмечены и для молибдена (рис. 69). Здесь также максимальное смещение вниз по склону достигает 40 м. Поэтому можно утверждать, что молибден может стать хорошим элементом-индикатором для обнаружения шеелитовой (зейрегитовой) минерализации в условиях Дальнего Востока при использовании литогеохимического метода поисков.

Особенности накопления вольфрама и молибдена в растениях

Согласно геоботаническому районированию Б. П. Колесникова (1961), район исследования входит в Верхне-Уссурийский округ Дальневосточной провинции кедрово-широколиственных и дубовых лесов.

Растительность в окрестностях рудопроявления представлена полидоминантным широколиственным лесом из дуба монгольского, клена мелколистного, лип амурской и маньчжурской с примесью ореха маньчжурского, калопанакса, березы желтой, вязов среднего и лопастного, мелкоплодника ольхолистного, бархата амурского и др. Местами сохранились одиночные стволы кедра корейского. Довольно значительна примесь осины, встречается береза маньчжурская.

Подлесок довольно густой (сомкнутость крон до 0,6—0,8), состоит из лещины разнолистной с более или менее заметным участием чубушника, элеутерококка, калины Саржента. Установлены также жимолость ранняя, бересклет малоцветковый и др. Хорошо, особенно по прогалинам, развита внеярусная растительность, представленная лимонником, виноградом, актинидиями коломикта и аргуата.

Травяной покров редкий. Всего отмечено до 30 видов, среди которых преобладают осоки (кривоносая, уссурийская, ланцетная), василистник тычиночный и др.

Выше по склону, с уменьшением мощности почвы и увеличением ее щебнистости, растительность обедняется. Древостой становится почти чисто дубовым, а в подлеске все большую роль приобретает леспедеца двуцветная. Травяной покров изреживается, и мезофильные виды в нем замещаются ксерофильными, такими как марьянник розовый, ландыш Кейске.

На отвалах канав и карьеров, где лесная растительность была уничтожена, кое-где сохранились (одиночно) почти все перечисленные виды растений. Кроме того, здесь распространены «сорные» виды — осот, мелколепестники, репяшок, чистотел, ежовник, одуванчик и др.

Общее количество биогеохимических проб, отобранных на участке, равно 365. Ниже описаны некоторые особенности накопления вольфрама и молибдена в растениях.

Вольфрам определен в 16 видах из 26 опробованных на месторождении. Наиболее часто он отмечается в золе трав: из 10 опробованных видов травянистых растений обнаружен в 8. Для трав же характерна и наиболее высокая по сравнению с другими видами встречаемость, достигающая в золе осок кривоносой и ланцетной 87—100% (табл. 48). В кустарниках встречаемость вольфрама несколько ниже. Из 8 опробованных видов он

Встречаемость вольфрама в растениях, %

Растение	Всего проб одного вида	Из них над зоной оруденения	Встречаемость	Растение	Всего проб одного вида	Из них над зоной оруденения	Встречаемость
Орляк	3	3	33	Элеутерококк	2	2	—
Осока железная	2	2	—	Бузина	2	2	100
Осока ланцетная	6	3	100	Береза	7	7	42
Осока кривоногая	10	8	87	Осина	6	6	16
Ива	6	6	83	Бархат	2	2	—
Лещина	15	9	—	Клен	14	9	62
Чубушник	13	9	66	Липа	12	5	—
Актинидия	8	6	57	Калопанаке	5	5	40
Аралия	4	3	—	Дуб	10	5	—

отмечается в 4 (57—100%). Наиболее низкой встречаемостью вольфрама (от 16 до 62%) характеризуются деревья.

Установлено, что разные виды растений, произрастающие в одних и тех же условиях, накапливают в золе различное количество вольфрама. Причем неодинаковую степень накопления имеют не только растения разных семейств, но даже одного семейства. Так, осина и ива, принадлежащие к семейству ивовых, резко разнородны по степени накопления вольфрама. Из табл. 49 видно, что содержание вольфрама в золе ивы в 17 раз выше, чем в золе осины. Иногда наблюдается довольно большое различие в накоплении вольфрама даже между растениями одного рода. Например, в золе осоки ланцетной вольфрама в 2 раза выше, чем в золе осоки кривоносой. Очевидно, эти факты свидетельствуют о существенно разнотипной избирательной способности разных видов растений к поглощению данного элемента в конкретных ландшафтных условиях. За пределами зоны оруденения, выше по ее склону, вольфрам в растениях не установлен. Он фиксируется в растениях только над зоной оруденения и ниже ее в пределах механического ореола рассеяния шеелита. За фоновые содержания в растениях по расчетам на данном участке принято его количество ниже 0,003%.

Распределение вольфрама по органам растений у разных видов также различное. В золе древесных пород этот элемент концентрируется в коре и древесине. Причем вольфрама в них в 10—30 раз выше, чем в ветвях и листьях. В золе большинства кустарников он накапливается преимущественно в ветвях: его здесь в 3—15 раз выше, чем в листьях. А у бузины наоборот, в листьях накапливается в 3—30 раз больше, чем в ветвях. Необходимо отметить интересную особенность: в золе растений с глубокой корневой системой содержание вольфрама во много раз выше, чем в золе деревьев с глубоко проникающими корнями. Это наглядно видно на примере таких видов растений, как осока и дуб (см. табл. 49). Выше отмечалось, что встречаемость вольфрама в золе осок составляет 87—100%

Таблица 49

Сравнительное содержание вольфрама в разных видах растений над зоной оруденения

Растение	W, %
Осока кривоногая	0,030
» ланцетная	0,060
Осина	< 0,003
Клен мелколистный	0,030
Лещина разнолистная	< 0,003
Чубушник тонколистный	0,030
Липа амурская	< 0,003
Ива Бредина	0,050
Аралия маньчжурская	< 0,003
Дуб монгольский (старый)	< 0,003
» » (молодой)	< 0,003
Орляк обыкновенный	0,003
Бузина корейская	0,010
Крапива узколистная	0,060
Льянка обыкновенная	0,020

при максимальных концентрациях 0,03—0,06%, а в золе дуба содержание вольфрама находится в пределах чувствительности анализа даже над зоной оруденения. В большинстве методических руководств (Ткалич, 1959б; Грабовская, Астрахан, 1963; Малюга, 1963; Поликарпочкин, Поликарпочкина, 1964; Хокс, Уэбб, 1964; и др.) указывается, что при биогеохимических поисках в первую очередь необходимо опробовать растения с глубокой корневой системой. Однако это справедливо не всегда, и тем более не для всех химических элементов. В нашем случае по полевым наблюдениям глубина проникновения корневой системы осок составляет 20—25 см, в то время как у дуба монгольского превышает 1 м. По-видимому, характер накопления вольфрама осоками и дубом определяется различной подвижностью этого элемента на разных глубинах современной коры выветривания; возможно, что в приповерхностном слое почвы (в гумусовом и элювиальном горизонтах) при обилии органических кислот происходит выщелачивание шеелита с образованием подвижных форм вольфрама, вероятно, в виде комплексных ионов органоминеральных соединений; в этой подвижной форме вольфрам поглощается растениями, имеющими неглубокую корневую систему.

Ниже по почвенному профилю концентрация подвижных форм вольфрама, вероятно, уменьшается частично за счет «перехвата» их растениями с неглубоко проникающими корнями, а частично в результате сорбции иллыстыми частицами иллювиального горизонта. Ниже иллювиального горизонта, в частности в горизонте ВС, по данным шлихового анализа, вольфрам находится в основном в составе первичного шеелита.

Естественно, что содержание этого элемента в растениях с глубоко проникающими корнями будет незначительным, так как здесь он находится в трудно доступной для растений форме. Этим, по-видимому, и объясняется слабое поглощение вольфрама древесными растениями — дубом и липой даже в пределах зоны оруденения.

Каким образом происходит изменение первичных вольфрамовых минералов в процессе выветривания, чтобы этот металл стал доступен для поглощения растениями, еще не совсем ясно. С. С. Смирнов (1955) предполагает, что при разложении шеелита вынос кальция ведет к образованию на месте разлагающихся минералов типа $WO_3 \cdot H_2O$ (тунгстит). К. И. Лукашев и В. К. Лукашев (1967) считают, что гипергенное изменение первичных вольфрамовых минералов особенно интенсивно идет в условиях тропического климата. По их данным, большое значение в миграции вольфрама в зоне гипергенеза имеют гуминовые кислоты и вольфрамовые гетерополикислоты. Хокс и Уэбб (1964) предполагают, что вольфрам в почвах «вероятно подвижен?». И. И. Гинзбург и др. (1966) отмечают, что тонкодисперсный вольфрамит (возможно, и шеелит) в присутствии окисляющегося марганца может частично выщелачиваться. В частности, эти исследователи указывают на существенно различную подвижность вольфрама на разных глубинах одного из месторождений Центрального Казахстана, утверждая, что «вольфрам в верхних горизонтах находится в подвижной форме, а в нижних горизонтах — в форме первичных» минералов (с. 175). П. А. Удодов и др. (1962) считают, что нахождение вольфрама в водах, дренирующих рудные кварц-вольфрамовые жилы, позволяют сделать предположение о процессах миграции этого элемента в форме комплексных соединений в виде WO_4^{2-} .

В нашем случае отмечено, что выше по склону зоны оруденения вольфрам в растениях не обнаружен. Он появляется в них на участке в пределах первичного ореола рассеяния над гидротермальна измененными породами и концентрируется над рудным телом, создавая четкие биогеохимические ореолы рассеяния (рис. 70). На графике распределения вольфрама по профилю в почвах и растениях видно, что биогеохимические ореолы рассеяния характеризуются большой неоднородностью и значительно

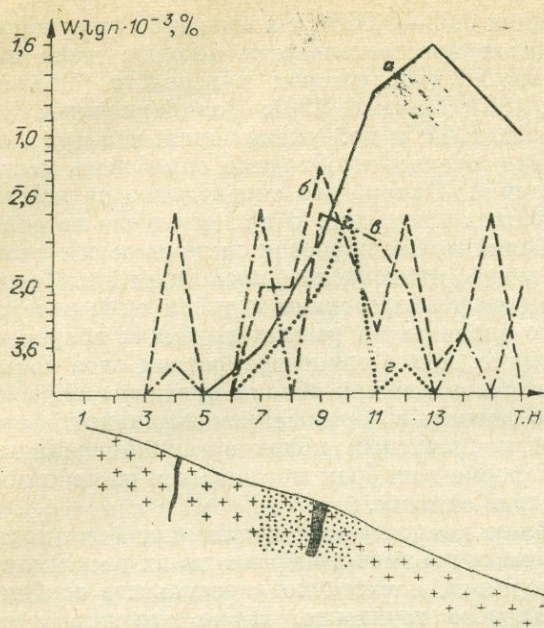


Рис. 70. Распределение вольфрама в растениях и в почвах по профилю вкостр простираания рудной зоны. Усл. обозн. см. на рис. 68.

Кривые содержания: *a* — в почвах; *b* — осоках; *c* — в чубушнике; *г* — в клене.

Биогеохимическим зависят в основном от механического рассеяния шеелита, концентрирующегося в максимальных количествах ниже рудного тела. Таким образом, различие в генезисе экзогенных ореолов рассеяния обуславливает различный характер и форму биогеохимических и литогеохимических ореолов. Биогеохимические аномалии очень неоднородные — менее контрастные, но надрудные, т. е. четко отбивают эпицентр рудного тела, что, несомненно, имеет первостепенную важность при биогеохимических поисках. Литогеохимические ореолы рассеяния характеризуются однородностью, контрастностью, но значительно смещены относительно рудного тела, что, естественно, снижает поисковую ценность литогеохимического метода в данном конкретном случае.

Об интенсивном поглощении вольфрама над рудным телом свидетельствует увеличение коэффициентов биологического поглощения, которые колеблются от 1 до 3. За пределами рудного тела они меньше единицы.

Лучшими и наиболее надежными концентраторами вольфрама являются травянистые растения. К ним относятся осока ланцетная и кривоноса, мелколепестник канадский, иван-чай узколистный, крапива узколистная и льнянка обыкновенная. Для них характерно высокое содержание металла, достигающее 0,02—0,06% и высокая встречаемость. Степень концентрации этого элемента в золе указанных видов растений над рудным телом в 20—60 раз выше фонового.

Кустарники, как объект опробования, несколько менее надежны, так как встречаемость вольфрама в них меньше. Но учитывая довольно высокое содержание его (0,01—0,05%) в некоторых видах кустарников, в таких как бузина корейская, чубушник тонколистный и особенно ива Бредина, последние можно считать достаточно надежными концентраторами этого элемента. Степень накопления вольфрама в них в 10—50 раз выше фонового.

меньшей контрастностью, чем литогеохимические. Причем в растениях, произрастающих непосредственно над рудным телом, накапливается максимальное количество вольфрама, здесь биогеохимическая аномалия наиболее интенсивная, но по мере движения вниз по склону она падает. Как уже указывалось выше, максимум литогеохимической аномалии смещен относительно рудного тела вниз по склону на 40 м. Вероятно, биогеохимические аномалии обусловлены солевым рассеянием вольфрама, наибольшее количество которого, естественно, находится над рудным телом. Ниже по склону подвижных растворов меньше, соответственно и интенсивность биогеохимической аномалии уменьшается. Литогеохимические ореолы рассеяния в противоположность

Древесные породы в качестве объекта опробования, вероятно, наименее надежны. Так, из 8 отобранных видов вольфрам обнаружен только в 4, причем встречаемость его лишь в клене мелколистном достигает 62%, а в остальных видах она менее 50%. В таких видах, как дуб и липа, имеющих глубокую корневую систему, элемент находится в пределах чувствительности анализа даже над рудной зоной. Содержание его в коре и древесине деревьев достигает 0,01—0,03%. Исключение составляет лишь одна проба березы, где концентрация вольфрама равна 0,1%. Проверка этого результата по критерию Ирвина (Шарапов, 1965) показала, что эта величина случайная и может быть отброшена. Но поскольку высокое количество в коре березы отмечено именно в данной точке опробования, которая соответствует максимуму литогеохимической аномалии, то такое значение (до 0,1%) можно считать допустимым. Степень концентрации этого элемента в коре и древесине клена, осины и калопанакса в 10—30 раз выше фонового, а в коре березы даже в 100 раз.

Молибден входит в состав основного минерала рудной зоны — зейригита. Встречаемость его в растениях значительно выше, чем вольфрама. По существу, над рудной зоной и ниже ее по склону для этого элемента характерна 100%-ная встречаемость, и лишь за пределами рудной зоны (т. е. выше по склону) встречаемость и содержание его резко падают. В некоторых видах растений молибден совсем не обнаружен (табл. 50). Распределение его по органам растений аналогично вольфраму. У древесных пород он накапливается в древесине и реже — в коре. В этих органах молибдена в 2—10, а иногда и более раз выше, чем в ветвях и листьях. У большинства кустарников он концентрируется в ветвях и лишь у лещины и бузины — в листьях. Максимальные количества его в ветвях в 3—5 раз выше, чем в листьях.

Концентрация молибдена в золе различных видов растений даже среди экземпляров одного рода более резкая, чем вольфрама. Так, разница в содержании молибдена на одном и том же пункте опробования в золе осоки кривоносой в 10 раз больше, чем в ланцетной, а в золе ивы в 30 раз больше, чем в золе осины (табл. 51). Очевидно, решающими факторами, определяющими разную степень накопления молибдена растениями, являются физиологические особенности питания отдельных видов растений, их различная избирательная способность. Максимальные концентрации молибдена отмечаются у трав. Содержание элемента в них колеблется от 0,008 до 0,08%. В золе кустарников оно несколько меньше и находится в пределах 0,01—0,03%. Наименьшее количество отмечается у древесных пород, т. е. 0,001—0,03%.

В целом молибден является прямым индикатором вольфрамового оруденения данного генетического типа. Над рудным телом он интенсивно накапливается растениями, создавая четкие биогеохимические ореолы рассеяния. Как следует из рис. 71, в растениях образуются четкие надрудные, контрастные биогеохимические аномалии, причем контрастность и интенсивность их значительно выше, чем литогеохимических.

Об интенсивности поглощения молибдена растениями над рудной зоной свидетельствуют коэффициенты биологического поглощения, величины которых в наиболее распространенных видах колеблются от 1 (липа амурская) до 16 (осока ланцетная).

Таким образом, сравнение биогеохимических ореолов рассеяния вольфрама и молибдена в растениях показывает, что благодаря по-

Таблица 50

Встречаемость молибдена в одних и тех же растениях, %

Растение	За пределами рудного тела	Над рудным телом
Осока кривоносовая	50	100
» ланцетная	100	100
Клен мелколистный	67	100
Лещина разнолистная	Не обн.	100
Чубушник тонколистный	75	100
Липа амурская	16	100
Дуб монгольский	Не обн.	100

Сравнительное содержание молибдена в различных видах растений над рудным телом

Растение	Мо, %	Растение	Мо, %
Осока кривоногая	0,008	Аралия маньчжурская	0,010
» ланцетная	0,080	Дуб монгольский	0,003
Осина	0,001	Орляк обыкновенный	0,008
Клен мелколистный	0,030	Бузина корейская	0,010
Лещина разнолистная	0,003	Крапива узколистная	0,030
Чубушник тонколистный	0,010	Льнянка обыкновенная	0,050
Липа амурская	0,001	Лебеда раскидистая	0,010
Ива Бредина	0,030	» (прошлогодня, сухая)	0,003

вышенной миграционной способности молибдена степень его концентрации и контрастность биогеохимических аномалий значительно выше, чем вольфрама. Молибден в растениях образует интенсивные аномалии с резко выраженным пиком.

Усвояемость растениями того или иного элемента, как известно, определяется степенью его подвижности в зоне гипергенеза (табл. 52). Например, молибден, как элемент более подвижный, накапливается в растениях в количествах, на целый порядок превышающих содержание вольфрама, хотя его концентрация в рудах ниже, чем вольфрама. Единственным исключением являются особенности поглощения молибдена леспедецей двудвцетной. Резко обращает на себя внимание тот факт, что фоновые содержания молибдена в этом растении в 3—5 раз (0,0003—0,0005%) выше таковых во всех остальных растениях (<0,0001%). При этом наибольшее (аномальное) количество молибдена в леспедеце двудвцетной практически не превышает значения фона (0,0005%), в то время как в других растениях аномальные содержания этого элемента в 100 раз больше максимального количества в леспедеце и в 500 раз превышают фоновые (<0,0001%).

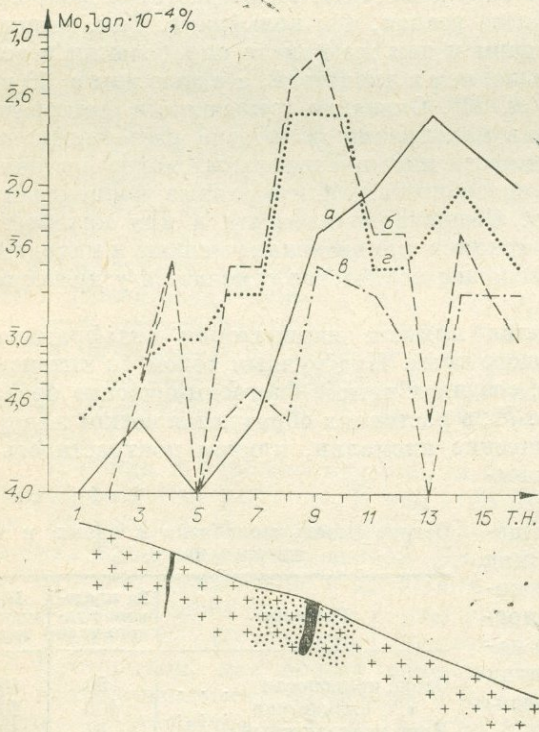


Рис. 71. Распределение молибдена в растениях и в почвах по профилю вкост простирания рудной зоны. Усл. обозн. см. на рис. 68.

Кривые содержания: а — в почвах; б — в осоках; в — в лещине; г — в клене.

Отсюда можно сделать важный биогеохимический вывод о том, что независимо от повышенной концентрации молибдена в почвах и почвообразующих породах это растение из семейства бобовых поглощает столько элемента, сколько ему нужно для нормального протекания всех биохимических процессов в период жизнедеятельности. Это растение, вероятно, имеет биогеохимический барьер поглощения названного биогенного химического элемента в отличие от других растений, распространенных на участке рудопроявления и, очевидно, имеющих бо-

Фоновые и аномальные содержания и степень концентрации вольфрама и молибдена в растениях, %

Растение	Вольфрам			Молибден		
	фон	аномальные содержания	степень концентрации	фон	аномальные содержания	степень концентрации
Осока кривоносая	<0,003	0,01—0,03	>3—10	<0,0001	0,01	>100
Актинидия коломикта	<0,003	0,01	>3	<0,0001	0,003	>30
Осока ланцетная	<0,003	0,01—0,06	>3—20	0,0001	0,05—0,08	500—800
Элеутерококк колючий	<0,003	0,003	>1	<0,0001	0,01	>100
Калошанакс	<0,003	0,01	>3	<0,0001	0,005	>50
Осина	<0,003	0,01	>3	<0,0001	0,005	>50
Бархат амурский	<0,003	<0,003	~1	<0,0001	0,003	>30
Клен мелколистный	<0,003	0,01—0,03	>3—10	0,0001	0,01—0,03	100—300
Лещина разнолистная	<0,003	<0,003	~1	<0,0001	0,003	>30
Чубушник тонколистный	<0,003	0,01—0,03	>3—10	0,0001	0,01	100
Липа амурская	<0,003	<0,003	~1	<0,0001	0,001—0,003	>10—30
Ива Бредина	<0,003	0,01—0,05	>3—16	<0,0001	0,01—0,03	>100—300
Береза желтая	<0,003	0,01—0,1	>3—20	<0,0001	0,03	300
Аралия маньчжурская	<0,003	0,005	>1,7	<0,0001	0,01	100
Дуб монгольский	<0,003	<0,003	~1,0	<0,0001	0,003	>30
Орляк обыкновенный	<0,003	0,005	>1,7	<0,0001	0,008	>80
Хвощ зимующий	<0,003	0,01	>3,0	<0,0001	0,005	>50
Бузина корейская	<0,003	0,01	>3,0	<0,0001	0,01	>100
Леспедеца двудветная	<0,003	<0,003	~1,0	0,0003— 0,0005	0,0005	1
Мелколистник канадский	<0,003	0,01—0,03	>3—10	<0,0001	0,03	~300
Иван-чай узколистный	<0,003	0,03	>10	<0,0001	0,005	~50
Крапива узколистная	<0,003	0,06	>20	<0,0001	0,03	~300
Льнянка обыкновенная	<0,003	0,02	>6	<0,0001	0,05	~500

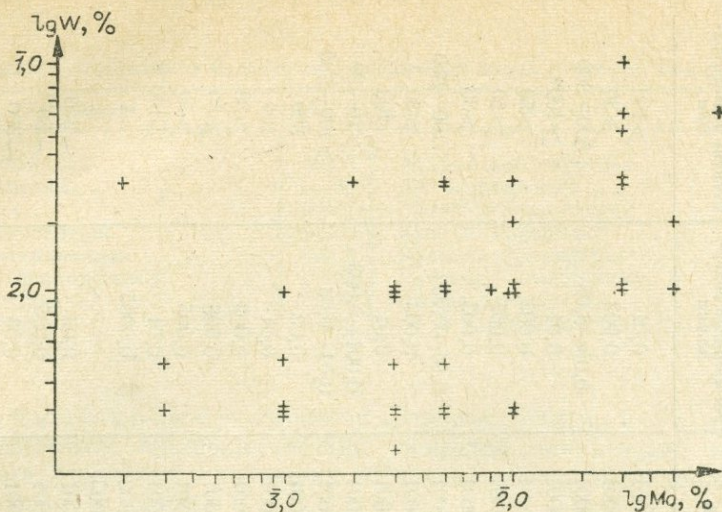


Рис. 72. Зависимость логарифмов содержаний вольфрама и молибдена в растениях.

лее широкий биогеохимический диапазон поглощения. Следовательно, для биогеохимической индикации молибденовых зон минерализаций, представленных зейрегитом, бобовое растение леспедеца двуцветная не представляет интереса, особенно по сравнению с другими растениями, резко накапливающими молибден в этих условиях.

Следует отметить, что леспедеца двуцветная на других участках биогеохимического опробования в пределах Дальнего Востока (там, где она, естественно, распространена) также содержит молибден, иногда даже в повышенном количестве (до 0,01 % в корнях и до 0,003 % в других органах), в частности, на оловянно-полиметаллическом рудопоявлении зоны широколиственных лесов и никеленосном серпентинитовом массиве зоны лесостепи, т. е. при полном отсутствии молибденовой минерализации.

Как указывалось выше, в бурых горно-лесных почвах на рудопоявлении отмечается прямая связь между вольфрамом и молибденом, т. е. с увеличением количества вольфрама в почвах увеличивается и содержание молибдена. В растениях эта связь, в общем, сохраняется (рис. 72). Во всяком случае, непосредственно над рудным телом наблюдаются повышенные концентрации как вольфрама, так и молибдена, накопление их идет параллельно, с увеличением содержания в почвах и в растениях одного элемента увеличивается содержание другого.

Выявление корреляционных зависимостей между содержанием вольфрама и молибдена в растениях путем обработки результатов анализов на ЭВМ «Мир» показало, что в среднем коэффициент корреляции между содержанием этих элементов в растениях равен 0,57*. Коэффициенты корреляции, вычисленные между содержанием этих элементов в отдельных видах растений, колеблются от 0,51 (в золе ивы) до 0,80 (в золе осок), т. е. они указывают на довольно тесную прямую связь между накоплением вольфрама и молибдена в растениях. Менее тесные связи установлены между содержанием этих элементов в почвах и растениях. Так, коэффициенты корреляции между содержанием молибдена в почве и золе чубушника, вычисленные по методу порядковой или ранговой корреляции (Беус, Григорян, 1963), равны +0,23, в почве и золе осоки +0,31.

* Статистическая обработка содержания вольфрама и молибдена в растениях на ЭВМ «Мир» проведена в Хабаровском ДВНЦ КНИИ АН СССР. Программа была составлена и выполнена Ю. С. Рыженко.

Судя по величине коэффициентов корреляции, между содержанием молибдена в почвах и растениях существует положительная слабая связь. Коэффициенты корреляции между содержанием вольфрама в почвах и растениях свидетельствуют о слабой отрицательной связи (осока — почва = -0,44; чубушник — почва = -0,23). Оценка значений коэффициентов корреляции между содержанием молибдена и вольфрама в почвах и растениях по критерию Романовского (Шарапов, 1965) свидетельствует о их случайной величине, что, вероятно, объясняется биогеохимическими барьерами поглощения этих элементов в растениях, т. е. поглощением до определенного предела, выше которого названные металлы в растениях не накапливаются.

Для выяснения влияния возраста растений на степень накопления вольфрама и молибдена были отобраны пробы с дуба разного возраста и с прошлогодней и вегетирующей лебеды. Вольфрам в этих пробах находится в пределах чувствительности анализа, а содержание молибдена как в золе проб с 10-летнего дуба, так и 100-летнего оказалось практически одинаковым. И лишь при анализе проб лебеды оказалось, что молибдена в надземной части вегетирующей лебеды в 3,6 раза выше, чем в перезимовавшей.

Таким образом, основными особенностями накопления вольфрама и молибдена в растениях являются следующие.

1. Как вольфрам, так и молибден накапливаются в растениях, распространенных над рудной зоной, и служат прямыми биогеохимическими индикаторами оруденения данного генетического типа.

2. Об интенсивном накоплении вольфрама и особенно молибдена растениями над участками с зейрегитовой минерализацией свидетельствуют значительные величины коэффициентов биологического поглощения.

3. Более подвижный в зоне гипергенеза молибден образует в растениях (за исключением бобовых) более интенсивные и контрастные биогеохимические аномалии по сравнению с менее подвижным вольфрамом.

4. Такие виды растений, как осока ланцетная, крапива узколистная, ива Бредина и береза маньчжурская, являются растениями-концентраторами вольфрама и молибдена и довольно широко распространены в зоне кедрово-широколиственных лесов.

5. Литогеохимические аномалии вольфрама и молибдена смещены относительно рудного тела вниз по склону на 40 м. В отличие от них биогеохимические аномалии являются надрудными, что, несомненно, имеет большой практический интерес для применения биогеохимических поисков.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ГРЕЙЗЕНИЗИРОВАННЫХ ГРАНИТАХ

Общие сведения

Проведение исследований на данном объекте, не имеющем практического значения по своим масштабам и средним содержаниям, было обусловлено тем, что в пределах зоны грейзенизированных гранитов отмечаются участки с бериллиевой минерализацией. Как известно, проявления бериллия сопровождаются биогенными ореолами рассеяния (Залашкова и др., 1958; Грабовская, Астрахан, 1963; Авессаломова, Грабовская, 1968). Поэтому установление и изучение особенностей биогеохимических ореолов рассеяния редких элементов на зонах грейзенизации имеет определенный научный интерес.

Механический состав мелкозема бурых лесных почв, %

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Потери от обработки HCl, %	Фракция, мм						Сумма частиц	
				1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	>0,01	<0,01
II I № 1	A ₀ A ₁	0—3	1,52	28,02	12,68	27,27	4,64	17,32	8,55	30,51	69,49
	A ₂ B	3—18	2,35	8,55	2,59	32,88	13,80	18,77	21,06	53,63	46,37
	B	20—35	3,71	9,37	4,35	26,65	10,95	19,46	25,51	55,92	44,08
	BC	55—65	2,94	13,53	32,43	17,84	7,86	9,85	15,55	33,26	66,74
II I № 4	A ₀ A ₁	0—9	4,82	32,79	16,86	14,75	9,23	12,85	8,70	30,78	69,22
	A ₂ B	20—35	2,22	25,69	27,61	14,41	5,43	9,34	15,30	30,07	69,93
	B	47—55	2,94	20,84	6,35	19,12	8,85	11,79	30,11	50,75	49,25
	BC	100—111	4,05	61,98	13,57	12,47	2,25	3,16	2,52	7,93	92,07
II I № 5	A ₀ A ₁	1—3	4,25	31,14	12,71	24,25	8,11	12,11	7,43	27,65	72,35
	A ₂ B	10—20	3,18	67,75	10,26	9,11	2,33	3,14	4,23	9,70	90,30
	BC	25—30	4,00	80,85	4,38	5,62	1,29	1,31	2,55	5,15	94,85
II I № 9	A ₀ A ₁	2—6	3,55	24,49	10,64	24,14	10,71	17,14	9,33	37,18	62,82
	A ₂ B	15—20	2,82	23,45	11,79	21,82	9,07	13,05	18,00	40,12	59,88
	B	34—40	2,36	26,59	8,46	12,69	7,06	20,00	22,84	49,90	50,10
	BC	75—80	2,97	20,27	8,03	16,13	6,63	8,17	37,80	52,60	47,40

Примечание. Анализы выполнены лаборантом Н. В. Деминой по методу Н. А. Качинского в химико-аналитической лаборатории Хабаровского КНИИ ДВНЦ АН СССР.

Таблица 54

Валовой химический состав мелкозема бурых лесных почв (в % на прокаленное вещество)

Разрез	Горизонт	Глубина, см	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Молекулярное отношение SiO ₂ :K ₂ O ₃
III № 1	A ₂ B	3—18	68,34	5,89	0,84	17,05	2,17	3,55	0,98	0,67	0,18	0,29	5,6
	B	20—35	65,94	7,37	0,98	18,91	3,29	1,42	1,08	0,67	0,11	0,18	4,7
	BC	55—65	63,43	8,45	1,27	17,38	4,46	3,00	0,33	0,81	0,07	0,51	4,7
III № 4	A ₀ A ₁	2—9	60,79	4,17	3,66	19,38	6,11	3,49	0,97	0,86	0,21	0,37	4,6
	A ₂ B	20—35	63,98	8,33	0,87	19,09	3,19	2,92	0,47	0,76	0,04	0,09	4,4
	B	47—55	63,18	8,75	0,77	19,61	3,62	2,31	0,84	0,72	0,02	0,15	4,2
	BC	100—111	53,07	11,38	1,99	18,63	7,56	5,81	0,88	0,98	0,09	0,84	4,3
III № 5	A ₀ A ₁	1—3	60,01	5,49	2,87	18,48	7,32	3,39	0,61	0,79	0,17	0,71	5,1
	A ₂ B	10—20	56,25	9,13	1,15	21,68	6,14	3,66	0,43	0,87	0,15	0,51	3,4
	BC	25—33	54,88	8,67	0,91	26,32	6,39	2,99	0,38	0,83	0,09	0,72	3,0
III № 9	A ₀ A ₁	2—6	64,92	7,98	0,43	18,10	2,87	3,65	0,45	0,94	0,27	0,36	4,7
	A ₂ B	15—20	64,68	7,25	0,91	19,01	4,32	2,18	0,31	1,00	0,10	0,22	4,6
	B	34—40	63,70	8,13	0,66	20,13	2,13	3,12	0,37	0,95	0,28	0,15	4,2
	BC	75—80	63,41	8,34	0,59	21,07	1,80	3,37	0,30	0,75	0,15	0,15	4,1

Примечание. Анализы выполнены аналитиками Л. Романовской и Л. Боковенко в химико-аналитической лаборатории Хабаровского КНИИ ДВНЦ АН СССР.

Химические свойства мелкозема бурых лесных почв

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Гидроскопическая вода, %	рН		Потеря при прокаливании, %	Гумус (по Тюрину), %	Поглощенные катионы, мг-экв/100 г почвы (по Гедройцу)				Степень ненасыщенности, %	Подвижные окислы по Тамму, %		
				водной	солевой			Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺	сумма		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
III № 1	A ₀ A ₁	0—3	—	5,70	4,95	—	24,47 *	61,5	7,5	0,37	69,37	1	1,05	3,25	2,65
	A ₂ B	3—18	2,92	5,25	4,15	7,86	3,39	24,9	3,0	2,99	26,99	12	4,55	4,30	3,63
	B	20—35	3,20	5,40	4,50	9,49	4,58	20,5	5,0	1,66	27,16	6	4,20	4,43	3,78
	BC	55—65	2,39	5,90	4,25	5,11	1,13	16,5	3,0	0,59	20,09	3	1,49	2,51	3,46
III № 4	A ₀ A ₁	2—9	3,10	5,95	5,45	21,00	10,19	31,0	4,5	0,16	35,66	4	6,20	3,04	1,12
	A ₂ B	20—25	2,18	4,70	3,45	5,38	0,55	8,0	6,5	1,98	16,48	13	3,15	4,01	2,02
	B	47—55	3,19	5,55	3,70	6,41	0,53	13,5	4,5	1,14	19,14	6	2,9	—	—
	BC	100—111	2,43	5,30	3,85	5,51	0,39	10,5	4,0	0,74	15,24	5	2,2	2,06	2,43
III № 5	A ₀ A ₁	1—3	2,53	5,80	5,50	15,7	7,95	29,0	3,5	0,12	32,62	1	3,8	2,01	2,41
	A ₂ B	10—20	3,28	4,90	3,25	6,94	0,65	19,9	3,3	1,61	24,81	7	1,58	2,44	2,27
	BC	25—33	3,10	5,60	3,70	6,46	0,38	16,1	3,95	0,72	20,77	4	1,83	0,93	0,93
III № 9	A ₀ A ₁	2—6	3,04	5,90	5,75	12,34	6,19	26,9	2,5	0,08	29,48	1	1,66	3,17	3,34
	A ₂ B	15—20	2,68	5,20	4,90	6,40	1,60	17,1	2,2	0,19	19,49	1	1,79	3,40	3,99
	B	34—40	2,90	5,50	4,10	5,50	0,78	14,5	1,6	1,31	17,41	8	2,28	3,14	1,93
	BC	75—80	3,84	6,15	4,35	5,70	0,65	19,5	2,2	0,69	22,39	4	2,33	3,51	2,66

* Потеря при прокаливании.

Анализы выполнены аналитиками В. Оранской, Р. Сафроновой и О. Мосейкиной в химико-аналитической лаборатории Хабаровского КНИИ ДВНЦ АН СССР.

Зона грейзенизированных гранитов расположена в пределах останцовой возвышенности, представляющей собой ряд вытянутых в субмеридиональном направлении кулисообразно сочлененных небольших сопок. Сопки сложены гранитоидами, склоны сопки симметричные, вогнутые, крутизна их колеблется от 25—33° в верхней части до 3—7° в нижней. Склоны слабо расчленены неглубокими сухими логами, по которым происходит снос обломочного материала современной коры выветривания.

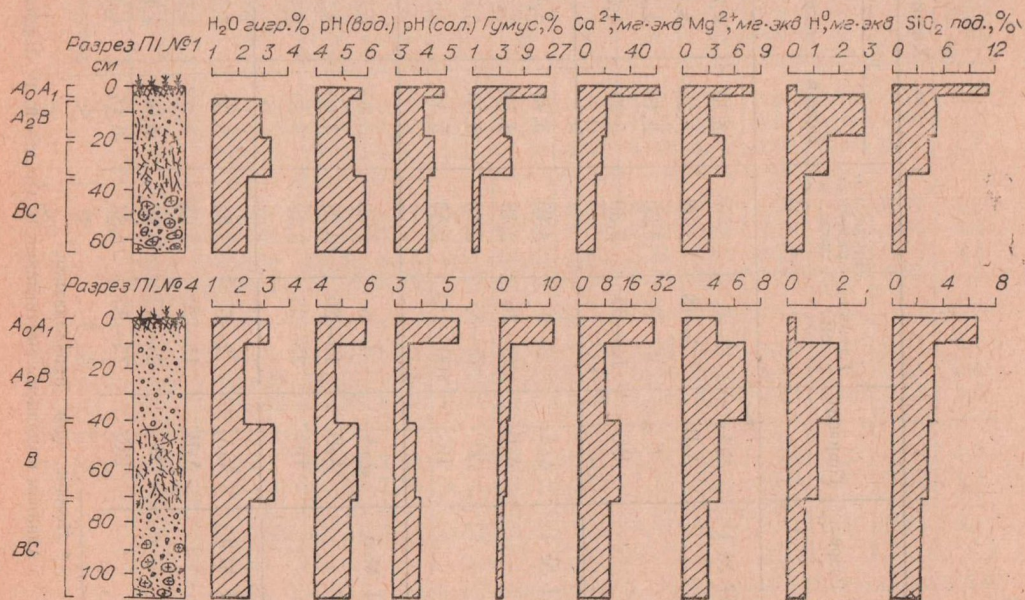
Район характеризуется умеренно теплым и влажным летом и умеренно суровой малоснежной зимой. Среднегодовое количество осадков равно 607 мм, причем 63% их приходится на июль — сентябрь. Осадки выпадают преимущественно в виде ливневых дождей, суточный максимум которых иногда достигает 107 мм. Снежный покров устанавливается в ноябре и сходит в марте, среднегодовая мощность его 11 см, максимальная — 54 см.

В пределах останцовой возвышенности развиты бурые лесные почвы. Они сравнительно маломощные, среднего и тяжелого механического состава. Дифференциация почвенного профиля на генетические горизонты достаточно четкая. Для почв характерен рыхлый комковато-порошистый гумусовый горизонт мощностью до 10 см. Под ним залегают горизонт, отличающийся более светлой окраской на общем серовато-бурым фоне. Переход в иллювиальный горизонт, имеющий бурый цвет, постепенный. Мощность осветленного горизонта достигает 30 см, а иллювиального — 40 см. Мощность всего почвенного профиля достигает 120 см.

По механическому составу в верхнем горизонте почв преобладают средние суглинки. Иллювиальный горизонт, как правило, глинистый и более плотный. Содержание фракций «физической глины» и ила обычно наибольшее в нижних горизонтах В и ВС (табл. 53).

По данным валового анализа (табл. 54) мелкозема отмечается некоторый вынос полуторных окислов из осветленного горизонта и относительное накопление в нем кремнезема. Обратная картина наблюдается в иллювиальном горизонте, где происходит накопление полуторных окислов и относительное обеднение его кремнеземом. Для осветленного горизонта также характерен некоторый вынос соединений кальция, магния, серы и фосфора, что, в какой-то степени, свидетельствует о признаках очень слабого оподзоливания подгумусового горизонта.

Химические свойства мелкозема генетических горизонтов не противоречат тому факту, что бурые лесные почвы на описываемом участке



затронуты признаками слабого оподзоливания (табл. 55). Так, осветленный горизонт имеет наиболее кислую реакцию среды, для него характерно некоторое повышение содержания поглощенного водорода и относительно небольшая ненасыщенность поглощающего комплекса. На рис. 73 приведена диаграмма химических свойств бурых лесных почв.

Вершина и склоны сопок покрыты дубовым лесом. Высота деревьев не превышает 8—12 м, диаметр стволов 15—30 см, редко достигает 40 см. Вместе с дубом монгольским, но обычно в подросте, здесь имеются береза даурская, реже липа амурская и осина. В подлеске преобладает лещеда двуцветная и реже встречается лещина разнолистная, высота которых в среднем 1,0—1,2 м. У подножия сопок на выположенной части склонов редко отмечается ива Бредина и ива узколистная. На склоне западной экспозиции в его пригребневой части обычен рододендрон амурский. Травяной покров обильный, но довольно однообразный. Наиболее распространенными видами являются орляк обыкновенный, сподиопогон сибирский, вика ложная чина. В привершинной части сопок обычна полынь жертвенная. В нижней, более увлажненной части склонов встречаются осоки — ланцетная и железная, кровохлебка аптечная, купена душистая, серпуха васильковая, вейник Лангсдорфа, чемерица черная, ландыш маньчжурский.

Отмечается некоторое изменение растительного покрова на склонах возвышенности, обусловленное, по-видимому, различием микроклимата на склонах западной и восточной экспозиции. Так, на восточном склоне подлесок более густой и высокий, травяной покров также более обильный и богатый. На склоне западной экспозиции подлесок очень редкий, в связи с этим дубовый лес носит характер паркового, а травяной покров обеднен и менее обилён. Листья на деревьях, произрастающих на склоне западной экспозиции, желтеют раньше, чем на склоне восточной экспозиции.

Корневая система большинства древесных и кустарниковых растений мощная, ветвящаяся, с глубоко проникающим основным стержневым корнем. Корни дуба монгольского проникают на глубину свыше 2,5 м.

Зона минерализации приурочена к участку интенсивно дробленных брекчированных грейзенизированных гранитных пород. В пределах этих пород широко развиты альбит-слюдяные и слюдяные грейзены, в которых находятся кварц-берилловые и альбит-берилловые прожилки. Прожилковые образования развиты локально. Они сложены главным образом кварцем и альбитом и включают флюорит, берилл, циркон, слюды, апатит и другие минералы.

На основании изучения минералогического состава современной коры выветривания и почв, развитых на участке грейзенизированных гранитов, установлено, что многие минералы, имеющиеся в коренных породах, в зоне гипергенеза отсутствуют. Это неустойчивые сульфиды (сфалерит, пирит, мельниковит, молибденит, станнин, пирротин и ковеллин), карбонаты (кальцит, сидерит, родохрозит), фосфаты (вивианит), сульфаты (гипс, ярозит). Другие малоустойчивые минералы подверглись интенсивному выветриванию. Так, магнетит сильно гидратирован и частично превращен в бурые магнитные гидроокислы железа; минералы группы пироксена

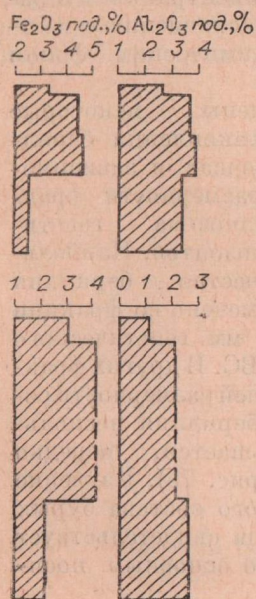


Рис. 73. Диаграммы химических свойств бурых лесных почв, сформированных на участке грейзенизированных гранитов.

(гиперстен и клиноэнстатит) и амфибола (базальтическая роговая обманка) резко изменены и покрыты гидроокислами железа; биотит в значительной степени гидратирован и, по существу, превращен в гидробиотит; эпидот превратился в землистую разновидность, с поверхности зерна его покрыты налетом гидроокислов железа; полевой шпат интенсивно каолинизирован. Глинистые минералы почв, по данным термического и рентгеноструктурного анализов, представлены гидрослюдой с примесью каолинита и аллофана. Приведенные факты свидетельствуют об интенсивном развитии процессов выветривания, за счет которых на грейзенизированных гранитах неустойчивые минералы нацело разрушены, а малоустойчивые — интенсивно изменены.

Для изучения особенностей накопления в почвах и растениях редких элементов на грейзенизированных гранитах было заложено два почвенно-биогеохимических профиля, на которых в точках наблюдения отобрано 69 образцов почв и 258 растительных проб.

Особенности накопления бериллия в почвах и растениях

Результаты изучения особенностей миграции и накопления бериллия в бурых лесных почвах на зоне грейзенизированных гранитов показали, что этот элемент содержится во всех генетических горизонтах почв в пределах грейзенов. Местный геохимический фон в целом в почвах, а также в горизонтах A_0A_1 , A_2B и B равен 0,01%, что в 16 раз выше кларка (0,0006%) в почвах, но в горизонте BC несколько ниже — 0,006%, хотя и эта концентрация в 10 раз выше кларка. Величина аномальных содержаний бериллия в генетических горизонтах почв на участке постепенно увеличивается от верхнего горизонта A_0A_1 к нижнему BC . Так, если в горизонте A_0A_1 они не превышают местного геохимического фона в целом в почвах, т. е. 0,01%, то в горизонтах B и BC достигают соответственно 0,02 и 0,03%, что в 33 и 50 раз выше кларка в почвах. Таким образом,

в бурых лесных почвах на описываемом участке в максимальных количествах бериллий накапливается в нижнем горизонте BC (рис. 74), где его концентрация в 3 раза выше по сравнению с местным геохимическим фоном (табл. 56).

Выявлены некоторые причины накопления бериллия в почвах в зависимости от размерности фракций мелкозема генетических горизонтов. Наибольшее количество бериллия (0,03%) отмечено во фракции 0,25—0,05 мм генетического горизонта BC . В других фракциях меньшей размерности содержание бериллия несколько уменьшается, нередко до 0,001 (рис. 75). Изучение минерального состава бурых лесных почв свидетельствует о том, что основным носи-

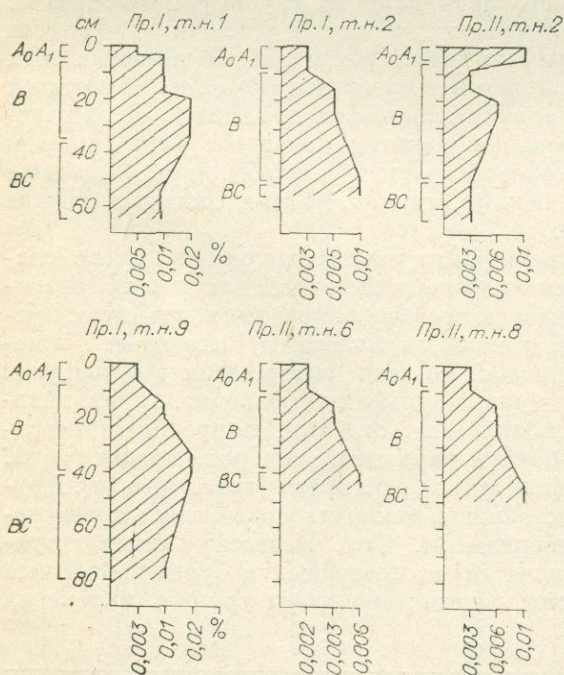


Рис. 74. Распределение бериллия в генетических горизонтах.

Содержание бериллия в бурых лесных почвах, %

Горизонт	Кларк в почвах по А. П. Виноградову (1957)	Местный геохимический фон	Отношение фона к кларку	Аномальное содержание	Отношение аномального содержания к кларку	Отношение аномального содержания к фону
В целом по почве	0,0006	0,010	16	—	—	—
A ₀ A ₁	—	0,010	16	0,01	16,5	—
B, A ₂ B	—	0,010	16	0,02	33,0	2
BC	—	0,006	10	0,03	50,0	5

телем бериллия в почвах является устойчивый минерал берилл, который находится в повышенных количествах также во фракции 0,25—0,05 мм генетического горизонта BC. Отсюда становится понятной причина максимального накопления бериллия в указанном горизонте почв. Это дает основание считать, что вторичный ореол бериллия в почвах на участке грейзенизированных гранитов образуется преимущественно за счет механического рассеяния обломков кристаллов берилла.

В процессе накопления бериллия в бурых лесных почвах весьма важную адсорбционную роль играют глинистые частицы, особенно в наиболее оглиненном горизонте В (в нашем случае), на что указывают некоторые исследователи (Гольдшмидт, Петерс, 1938; Виноградов, 1957; Беус, 1964). По данным А. А. Беуса (1964), адсорбция в глинах является одним из главных факторов, определяющих осаждение бериллия из гипергенных водных растворов, которые, как установлено К. Е. Питьевой (1963) и другими исследователями, формируются в районах бериллиевых месторождений. Адсорбционная роль коллоидных и тонкодисперсных глинистых частиц в процессе осаждения бериллия из водных растворов на участках бериллиевого оруденения доказана А. А. Беусом (1964) экспериментально. Им установлено, что процесс осаждения протекает достаточно быстро, чем объясняется весьма ограниченная подвижность этого элемента в зоне гипергенеза. При этом оказалось, что такое поведение бериллия в зоне гипергенеза определяется его высоким ионным потенциалом, имеющим большую энергию силового поля и вызывающим активную способность элемента связываться с тонкодисперсными частицами. Следовательно, намечающаяся связь бериллия с глинистыми ча-

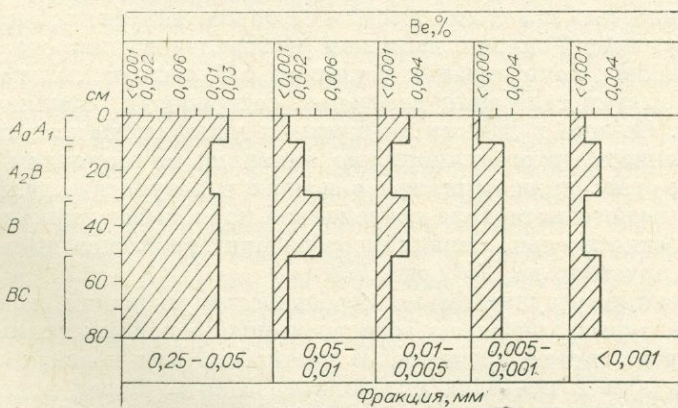


Рис. 75. Распределение бериллия по фракциям (мм) мелкозема генетических горизонтов бурых лесных почв (разрез III № 9).

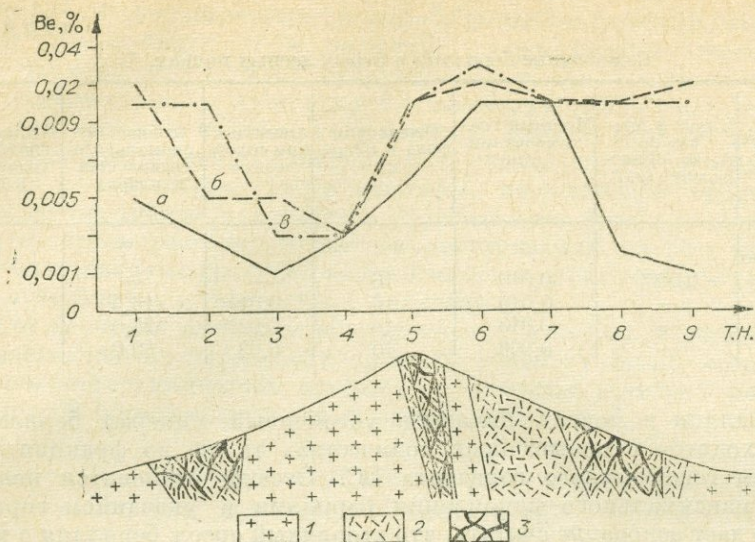


Рис. 76. Распределение бериллия в генетических горизонтах по профилю I вкрест простирания зоны грейзенизированных гранитов.
1 — граниты; 2 — грейзены; 3 — грейзены с бериллиевой минерализацией.
Кривые содержания: а — по горизонту A_0A_1 ; б — по горизонту В;
е — по горизонту ВС.

стищами бурых лесных почв на рассматриваемом участке, по-видимому, лишней раз подтверждает установленные ранее геохимические особенности миграции и накопления этого металла в зоне гипергенеза.

Кроме того, следует иметь в виду, что накопление бериллия в верхнем гумусовом горизонте A_0A_1 бурых лесных почв может быть обусловлено биогенным фактором, т. е. поступление его в почвы с опадом. Вероятно, частичное биогенное накопление может происходить и в горизонтах В и ВС почв, где оно зависит в основном от присутствия корней растений.

Таким образом, в миграции и накоплении бериллия в описываемых почвах участвуют: 1) биогенный фактор (главным образом в горизонте A_0A_1); 2) адсорбция глинистыми частицами (особенно в горизонте В); 3) механическое рассеяние обломков минерала берилла (преимущественно в горизонте ВС). Безусловно, эти три основных фактора действуют одновременно и зависят друг от друга. Содержание бериллия в генетических горизонтах почв определяется к тому же и ландшафтными условиями: мощностью и литологическим составом современной коры выветривания, крутизной склона, наличием растительного покрова и т. д.

Повышенная концентрация бериллия в бурых лесных почвах приурочена к местам залегания грейзенов, содержащих бериллиевую минерализацию. Однако в данных конкретных условиях на зоне грейзенизированных гранитов литогеохимические аномалии во вторичном механическом ореоле рассеяния бериллия в почвах в результате делювиального сноса обломочного материала современной коры выветривания несколько смещаются относительно бериллийсодержащих грейзенов вниз по склону сопки при крутизне до 25° (рис. 76).

Полученные результаты по особенностям миграции и накопления бериллия в бурых почвах на зоне грейзенизированных гранитов имеют большое практическое значение. В частности, при поисках рудопроявлений бериллия в пределах грейзенизированных пород в аналогичных ландшафтных условиях литогеохимическим методом отбор металлометрических проб может быть ограничен глубиной залегания горизонта В и ВС, т. е. до 30—40 см, реже до 60 см, исходя из крутизны склона и,

Содержание бериллия в золе растений, распространенных на грейзенизированных гранитах

Растение	Орган	Ве. % (верхний предел)	Степень на- копления от- носительно местного фо- на (0,0001 %)
Дуб монгольский	Листья	0,0010	10
	Ветви, кора	0,0001	1
Липа амурская	Листья	0,0003	3
Ива узколистная	»	0,0010	10
Ива Бредина	»	0,0010	10
Лещина разнолистная	»	0,0002	2
	Ветви	0,0001	1
Рододендрон амурский	Корни	0,0030	30
	Листья	0,0010	10
	Ветви	0,0001	1
Леспедеца двуцветная	Корни	0,0030	30
	Листья	0,0003	3
	Стебель		
	Ветви	0,0001	1
	Корни	0,0040	40
Орляк обыкновенный		0,0003	3
Вейник Лангсдорфа		0,0003	3
Сподиопогон сибирский		0,0001	1
Общая проба трав		0,0001	1

следовательно, мощности современной коры выветривания в направлении от водораздела к нижней части склона сопки. Опробование этих генетических горизонтов бурых лесных почв при металлометрических поисках рудопроявлений бериллия даст наиболее эффективные результаты. Однако учитывая, что биогенное накопление бериллия происходит в верхнем гумусовом горизонте A_0A_1 почв, то при поисках месторождений этого элемента можно ограничиться опробованием на глубину от 0 до 10 см, но с менее эффективными результатами. Высокая эффективность опробования генетического горизонта ВС определяется наибольшей контрастностью литогеохимической аномалии (отношение аномального содержания к фону), достигающей 5 единиц (см. табл. 56), по сравнению, например, с генетическим горизонтом A_0A_1 , где наибольшее содержание этого металла не превышает фонового значения.

С целью изучения особенностей накопления бериллия в растениях в пределах зоны грейзенизированных гранитов были опробованы все наиболее распространенные виды, в частности 4 вида древесных пород (дуб монгольский, липа амурская, береза даурская, осина), 5 видов кустарников (лещина разнолистная, ива узколистная, ива Бредина, рододендрон амурский, леспедеца двуцветная) и 4 вида травянистых растений (сподиопогон сибирский, вика ложная чина, орляк обыкновенный, польнь жертвенная). Редко встречающиеся на участке виды растений, такие как осоки — ланцетная и железная, кровохлебка аптечная, купена душистая, серпуха, вейник Лангсдорфа и ландыш, были отобраны в общую пробу трав. Всего взято для анализа свыше 20 видов растений. Бериллий обнаружен более чем в 50% от общего количества растительных проб, в частности в 2 видах древесных растений, в 5 видах кустарников и в 3 видах травянистых растений. Он встречается, как правило, только в растениях, распространенных в пределах грейзенов. Из табл. 57 видно, что содержание бериллия распределено неравномерно не только по видам растений, но и в различных органах одного и того же растения. Так, в листьях дуба монгольского концентрация бериллия в 10 раз больше, чем в ветвях и коре.

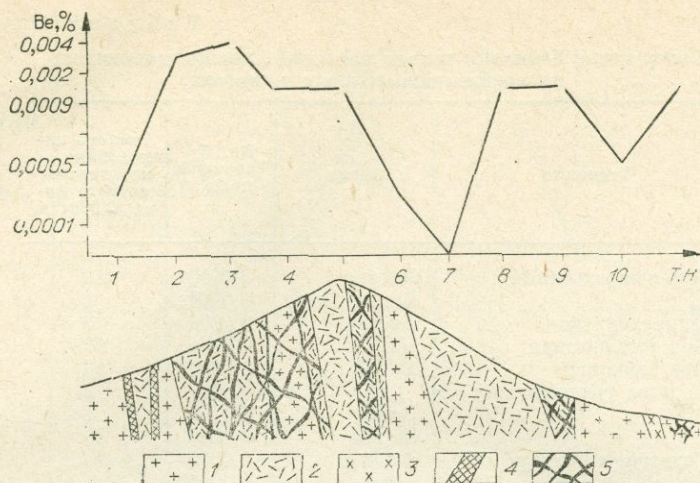


Рис. 77. Распределение бериллия в золе леспедецы двуцветной по профилю II вкрест простирания зоны грейзенизированных гранитов.

1 — граниты; 2 — грейзены; 3 — аплиты; 4 — зоны дробления; 5 — грейзены с бериллиевой минерализацией.

Местный геохимический фон элемента в растениях составляет 0,0001% — т. е. обычное содержание большинства видов растений, не концентрирующих бериллий в пределах грейзенов, но в 2 раза меньше кларка в растениях по А. П. Виноградову (1954). Однако в некоторых растениях содержание бериллия резко повышено. Так, в древесных растениях — в листьях дуба монгольского и липы амурской оно в 3—10 раз, а в корнях кустарников — лещины разнолистной, рододендрона амурского и леспедецы двуцветной — в 30—40 раз превышает местный геохимический фон. В травянистых растениях — орляке обыкновенном и вейнике Лангсдорфа аномальные содержания элемента в 3 раза выше местного геохимического фона. Все перечисленные растения следует считать местными растениями-концентраторами бериллия. Таким образом, бериллий, несмотря на его слабую геохимическую подвижность в зоне гипергенеза (Беус, 1964), дает устойчивые биогенные ореолы рассеяния в растениях с четко выделяющимися в пределах ореолов биогеохимическими аномалиями с высокой контрастностью, достигающей 30—40 единиц. В указанных выше растениях-концентраторах бериллия накапливается от 0,0003 до 0,004%, т. е. в 3—40 раз больше, чем в обычных, не концентрирующих этот элемент растениях, распространенных на участке. Однако наилучшим накопителем являются леспедеца двуцветная, в которой бериллия содержится в 20 раз выше кларка (Виноградов, 1954) и в 40 раз выше местного геохимического фона в растениях.

Повышенные содержания бериллия в растениях (биогеохимические аномалии) приурочены к местам бериллийсодержащих грейзенов, при этом отмечается некоторое смещение биогеохимической аномалии в биогенном ореоле рассеяния относительно минерализованной зоны вниз по склону сопки, однако это смещение при той же крутизне склона 25° в 2 раза меньше смещения литогеохимической аномалии (рис. 77). Это свидетельствует о том, что растения более точно, чем почвы, фиксируют наличие бериллиевой минерализации.

Особенности накопления циркония в почвах и растениях

Установлено, что цирконий содержится во всех генетических горизонтах бурых лесных почв в пределах зоны грейзенов. Однако встречаемость его в различных горизонтах (частное от деления количества почвен-

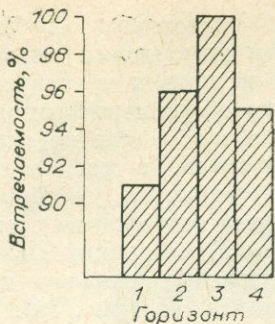


Рис. 78. Встречаемость циркония в генетических горизонтах.

1 — в горизонте A_0A_1 ; 2 — в горизонте В; 3 — в горизонте ВС; 4 — в целом по почвам.

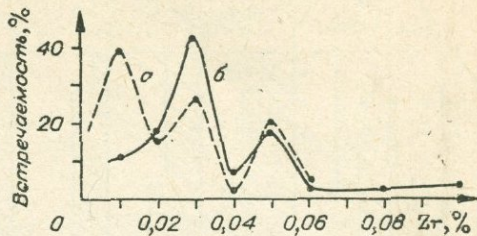


Рис. 79. Вариационные кривые распределения циркония.

а — в растениях; б — в бурых лесных почвах.

ных разрезов, где этот элемент обнаружен, к общему числу почвенных разрезов) разная. Повсеместная, т. е. 100%-ная, встречаемость циркония в изученных почвах отмечена в горизонте ВС, а наименьшая — в горизонте A_0A_1 (91%). В иллювиальном горизонте В она достигает 96%. Средняя встречаемость этого элемента в бурых лесных почвах, сформированных на участке грейзенизированных гранитов, равна 95%. Из рис. 78 отчетливо видно, что увеличение частоты встречаемости этого элемента в почвенном профиле происходит постепенно от горизонта A_0A_1 к горизонту ВС, т. е. от верхнего горизонта к нижнему.

На основании статистической обработки спектральных анализов был установлен местный геохимический фон циркония в почвах, соответствующий, согласно А. П. Соловову (1959), положительному экстремуму вариационной кривой (рис. 79, б). Оказалось, что местный геохимический фон циркония как в бурых лесных почвах в целом, так и отдельно по генетическим горизонтам A_0A_1 ; В и ВС, составляет 0,03%, что соответствует кларку по А. П. Виноградову (1957). Аномальные (максимальные) содержания этого элемента в горизонте A_0A_1 достигают 0,05%, а в горизонтах В и ВС — 0,1%, что соответственно в 1,6 и 3,3 раза больше местного геохимического фона. Минимальные содержания циркония в горизонтах A_0A_1 и В равны 0,005%, а в горизонте ВС — 0,01%, т. е. значительно ниже местного геохимического фона.

Анализ содержания циркония в конкретных почвенных разрезах в пределах зоны грейзенов (рис. 80) свидетельствует о том, что этот элемент распределен в генетических горизонтах неравномерно. Однако общей закономерностью в этом является его минимальное содержание в верхнем гумусовом горизонте A_0A_1 и максимальное в горизонте ВС. Накопление циркония в горизонте ВС обусловлено в основном минералом цирконом, который содержится в этом горизонте в наибольшем количестве по сравнению с другими генетическими горизонтами, что выявлено на основании минералогического изучения шлихов.

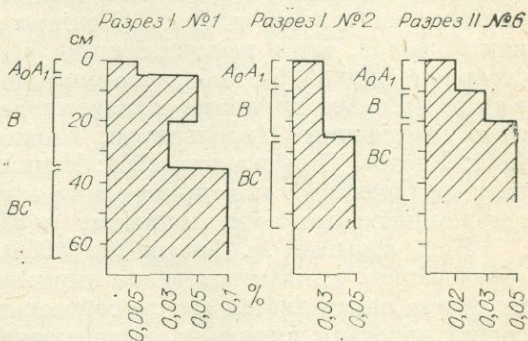


Рис. 80. Распределение циркония в бурых лесных почвах.

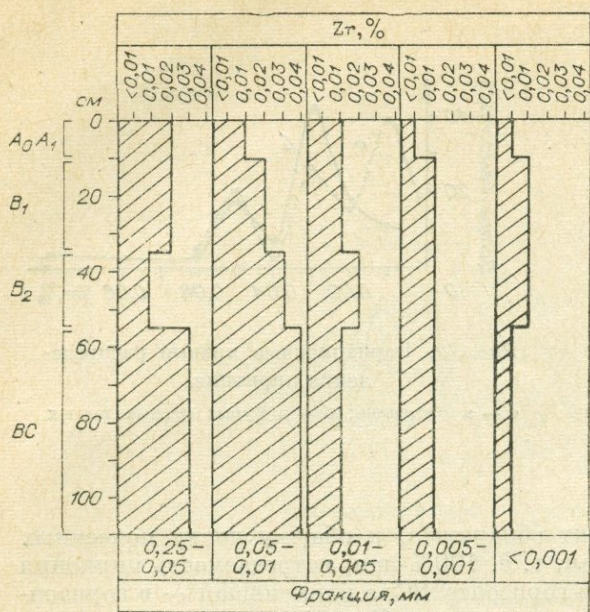


Рис. 81. Распределение циркония по фракциям (мм) мелкозема (разрез № 4).

Установлены особенности накопления циркония в почвах в зависимости от размера фракций мелкозема генетических горизонтов, в результате чего отмечено наиболее высокое содержание этого элемента во фракции 0,05—0,01 мм генетического горизонта ВС (рис. 81). В этой же фракции мелкозема, но в вышележащих генетических горизонтах почв, количество циркония закономерно уменьшается. Во фракциях меньшей размерности мелкозема всех генетических почвенных горизонтов оно также значительно меньше по сравнению с фракцией 0,05—0,01 мм, но при этом следует отметить некоторое накопление его во фракции $< 0,001$ мм. Это об-

стоятельство дает основание утверждать, что цирконий мигрирует и накапливается в механическом ореоле рассеяния главным образом в составе тонкопесчано-алевритовой фракции мелкозема бурых лесных почв, находясь в решетке минерала циркона. Это основная форма нахождения циркония в почвах.

Помимо циркона содержание циркония в почвах может быть обусловлено наличием в механическом ореоле рассеяния других как легких, так и тяжелых минералов, в частности амфиболов, пироксенов, гранатов, берилла, мусковита, плагиоклазов и т. д., содержащих цирконий в качестве изоморфной примеси (Дегенхардт, 1959; Терентьева, 1959; Холодов, 1959; Кухаренко, Кравцов, 1960; Тихоненков, 1964).

Кроме этих форм нахождения циркония в почвах, по-видимому, также имеет место сорбция его глинистыми частицами в результате выщелачивания этого металла из циркона и цирконсодержащих минералов. В нашем случае на растворимость циркона в почвах указывает корродированность его зерен. Это подтверждается описанными в литературе фактами (Дегенхардт, 1959), в частности, тем, что циркон имеет небольшую растворимость в чистой воде (Вонюисос, 1921) и успешно растворяется как в кислой, так и щелочной среде (Carrol, 1953). Наиболее хорошо растворяют циркон бикарбонатсодержащие растворы (Frederickson, 1948), в среде которых цирконий образует подвижные неорганические комплексные соединения (Цирельников, Комиссарова, 1967; Strock, Drexler, 1941; Удодов, Онуфриенко, 1962; Черников, Корсакова, 1966). В составе этих соединений он мигрирует в зоне гипергенеза, в том числе и в почвах, где комплексные ионы циркония сорбируются глинистыми частицами.

Как указывает Х. Дегенхардт (1959), кроме способности к комплексообразованию, химизм поведения циркония в водных растворах в зоне гипергенеза определяется его способностью к гидролизу, в результате чего гидрат двуокиси циркония, выпадающий при гидролизе, легко образует коллоиды и мигрирует в этой форме в бескарбонатных растворах. На такую форму миграции циркония в зоне гипергенеза указывают и другие исследователи (Каганович, Потемкин, 1965; Перельман, 1966). В частности,

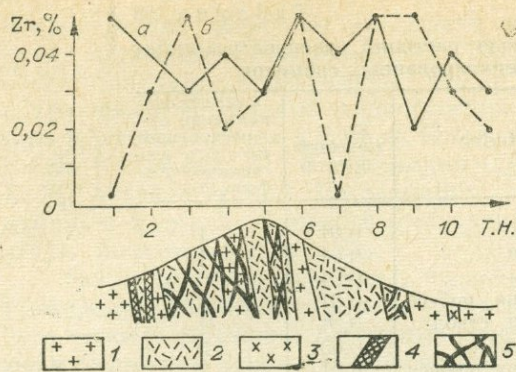


Рис. 82. Распределение циркония в почвах (а — горизонт ВС) и растениях (б — лес-педеца двуцветная) вкост простирания зоны грейзенизированных гранитов.

1 — граниты; 2 — грейзены; 3 — аплиты; 4 — зоны дробления; 5 — грейзены с циркониевой минерализацией.

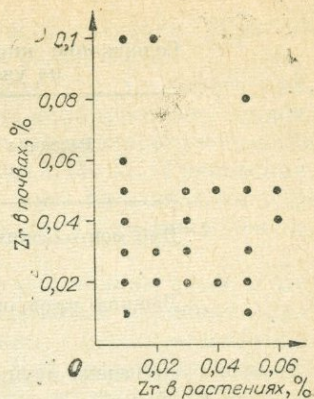


Рис. 83. Зависимость содержания циркония в почвах и растениях.

А. И. Перельман (1966) считает, что при такой форме миграции в ландшафтах влажного климата цирконий частично входит в состав органических соединений.

Кроме глинистых частиц, цирконий в почвах может сорбироваться гидроокислами алюминия и железа, а также подвижным кремнеземом, в результате чего железомарганцевые конкреции и коллоидные соединения кремнезема почв обогащаются этим элементом (Дегенхардт, 1959).

Таким образом, цирконий, несмотря на его чрезвычайно слабую геохимическую подвижность, в охарактеризованных выше ландшафтно-климатических условиях образует не только механические, но и солевые ореолы рассеяния, которые накладываются друг на друга. Поэтому в нижнем горизонте ВС изученных лесных почв отмечается максимальное накопление этого элемента.

Аномальные содержания циркония в почвах, как правило, приурочены к местам залегания грейзенов, но вследствие крутизны склонов сопки, обуславливающей снос обломочного материала современной коры выветривания, отмечается смещение литогеохимической аномалии циркония во вторичном ореоле рассеяния вниз по склонам от зоны грейзенизации при крутизне их до 25° (рис. 82, кривая а).

Установленные особенности накопления циркония в бурых лесных почвах на зоне грейзенизированных гранитов позволяют сделать вывод о том, что поиски коренных рудопроявлений циркония данного генетического типа в аналогичных ландшафтных условиях можно проводить по вторичным ореолам рассеяния, т. е. литогеохимическим методом. При этом следует иметь в виду, что для эффективности поисков этим методом металлометрические (литогеохимические) пробы необходимо отбирать из горизонтов ВС, т. е. с глубины не меньше 40 см и до 70—100 см, исходя из мощности почвенного профиля в зависимости от местоположения разрезов на склонах сопок. Необходимо также учитывать тот факт, что мощность элювиально-делювиальных отложений, а следовательно, и глубина залегания наиболее обогащенного цирконием горизонта ВС увеличиваются вниз по склонам сопок.

При интерпретации литогеохимических съемок необходимо учитывать смещение литогеохимической аномалии циркония во вторичном ореоле рассеяния, обусловленное крутизной склона. Внесение поправок на смещение литогеохимической аномалии достигается, как известно,

Содержание циркония в золе растений, распространенных на участке грейзенизированных гранитов

Растение	Орган	Зг. % (верхний предел)	Степень накопления относительно местного геохимического фона (0,01 %)
Дуб монгольский	Кора	0,01	1
	Ветви	0,01	1
	Ствол	0,01	1
Лещина разнолистная	Листья, побеги	0,01	1
	Ветви, ствол	0,01	1
	Корни	0,03	3
Леспедеца двуцветная	Листья, побеги	0,01	1
	Ветви, ствол	0,01	1
	Корни	0,05	5
Рододендрон амурский	Побеги	0,01	1
	Ствол	0,01	1
	Корни	0,06	6
Полынь жертвенная		0,06	6
Вейник Лангсдорфа		0,01	1
Осока ланцетная		0,01	1
» железная		0,01	1
Кровохлебка аптечная		0,01	1
Купена душистая		0,01	1
Сергуха васильковая		0,01	1
Ландыш маньчжурский		0,01	1
Опад		0,05	5

рациональным выбором сетки отбора металлометрических проб, исходя из рельефа местности и генетического типа оруденения.

В золе растений цирконий обнаружен более чем в 50% общего количества растительных проб, причем, как правило, в повышенных количествах он содержится в пробах растений, распространенных над зоной грейзенизации.

Местный фон циркония в растениях, соответствующий положительному экстремуму вариационной кривой (см. рис. 79, а), равен 0,01%.

Из табл. 58 видно, что цирконий распределен неравномерно не только в разных видах растений, но и в различных органах одного и того же растения. Так, например, максимальное содержание этого элемента во всех органах дуба монгольского одинаково и равно местному геохимическому фону, т. е. 0,01%, в то время как в леспедеце двуцветной наименьшее содержание его (<0,01%) отмечено в ветвях и стебле, несколько повышенное, равное местному геохимическому фону (0,01%) характерно для листьев и побегов и максимальное накопление (до 0,05%) установлено в корнях.

Самое высокое содержание циркония, достигающее 0,06%, отмечено в корнях рододендрона амурского и в целом в полыни жертвенной. Высокое содержание (0,05%) установлено в леспедецево-дубовом опаде.

К растениям-концентраторам циркония, наиболее характерным для описанной выше ландшафтной зоны, следует отнести лещину разнолистную, леспедецу двуцветную, рододендрон амурский и полынь жертвенную, в которых этот элемент накапливается от 0,03 до 0,06%, что в 3—6 раз выше местного геохимического фона, т. е. содержания в обычных растениях на участке. Однако наилучшими растениями-концентраторами являются рододендрон амурский и полынь жертвенная, в золе которых циркония содержится в 6 раз выше местного геохимического фона.

Следует отметить, что на различные виды полыни как растения-

концентратора циркония указывали и другие исследователи (Грабовская, Астрахан, 1963; Мицкевич, 1962; Тиссен, 1954).

Необходимо подчеркнуть, что в большинстве видов растений, в том числе и растений-концентраторов, элемент обнаруживает тенденцию к его накоплению в корнях. На эту особенность в свое время указывали С. Я. Каганович, К. В. Потемкин (1965), а также Л. И. Грабовская, Е. Д. Астрахан (1963). По-видимому, это общая черта биогеохимии циркония, и в корнях растений этот элемент играет какую-то пока неизвестную биохимическую роль.

Таким образом, цирконий, несмотря на его чрезвычайно слабую миграционную способность в зоне гипергенеза, в указанных условиях образует четко выраженные биогенные ореолы рассеяния, с резко выделяющимися среди них биогеохимическими аномалиями. При этом контрастность биогеохимических аномалий значительно выше по сравнению с контрастностью литогеохимических аномалий. Например, контрастность последних достигает только 3,3 единицы, а биогеохимических — 6 единиц, т. е. почти в 2 раза выше. Это означает, что растения более чувствительны к фиксированию зоны с циркониевым оруденением, чем почвы, сформированные на породах рудной зоны.

Повышенные содержания циркония в растениях, как правило, соответствуют местам залегания грейзенов (рис. 82, кривая б). Однако как и в механическом ореоле рассеяния, биогеохимическая аномалия также несколько смещена вниз по склонам сопок, но значительно меньше по сравнению с литогеохимической. Это свидетельствует о том, что растения четче отбивают местоположение редкометальной зоны грейзенизации, чем почвы вследствие поглощения ими циркония непосредственно из субстрата над эпицентром цирконийсодержащих пород. Данное положение в какой-то степени подтверждается отсутствием прямой связи в содержании циркония в почвах и растениях, что видно из рис. 83.

Проведенные биогеохимические исследования на участке грейзенизированных гранитов показывают, что в аналогичных условиях поиски рудопроявлений бериллия и циркония можно с успехом проводить как литогеохимическим, так и биогеохимическим методом. Однако наиболее эффективным и перспективным является биогеохимический метод, так как имеет следующие преимущества: 1) высокую контрастность биогеохимических аномалий этих элементов; 2) более четкое оконтуривание растениями-концентраторами зон грейзенизации; 3) наличие достаточного количества широко распространенных растений-концентраторов.

Хотя наибольшее содержание бериллия и циркония отмечено в корнях растений-концентраторов, отбор биогеохимических проб рациональнее делать из надземных органов, в частности из листьев лещины разнолистной, леспедецы двуцветной, рододендрона амурского и полыни жертвенной. Это упрощает и удешевляет биогеохимические поиски, тем более, как было показано выше, растения-концентраторы этих элементов четко фиксируют наличие минерализации.

Следует отметить, что на описываемом участке в бобовом растении леспедеце двуцветной обнаружен молибден. В бурых лесных почвах же этот металл не установлен, т. е. находится за пределами чувствительности анализа. Концентрация молибдена в указанном растении максимальная по сравнению с другими растениями на участке, в которых также обнаружен этот элемент в пределах 0,001—0,0001%. Так, содержание молибдена в листьях и побегах достигает 0,001%, в ветвях и стебле — 0,002%, в корнях — 0,01%, т. е. наибольшее, и это количество в 100 раз выше фона в растениях (0,0001%). Таким образом, высказанное выше мнение о леспедеце двуцветной как об универсальном концентраторе молибдена в условиях Дальнего Востока подтверждается фактическим материалом, полученным при биогеохимических исследованиях в зоне грейзенизированных гранитов.

**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА ПЕГМАТИТОВОЙ ЗОНЕ
В СОСТАВЕ КВАРЦЕВО-СЛЮДИСТЫХ СЛАНЦЕВ**

Общие сведения

Участок биогеохимических исследований находится в пределах обширной равнины и непосредственно приурочен к останцовой сопке с относительными превышениями над окружающей равниной до 50 м. Сопка сложена гнейсами и слюдисто-кварцевыми сланцами, скальные выходы которых наблюдаются на западном ее склоне, круто падающем к урезу реки. Сопка покрыта дубовыми лесами с подлеском из леспедецы двудветной и лещины маньчжурской, и контуры сопки четко выделяются на фоне окружающего равнинного пространства. По физико-географическому районированию рассматриваемая территория входит в пределы лугово-лесистых аллювиальных равнин, сформировавшихся на мезокайнозойских тектонических депрессиях. В целом территория характеризуется неоднородным термическим режимом, особенно в теплую часть года, из-за наличия в ее пределах останцовых сопок и окружения ее горными хребтами. Количество осадков составляет здесь свыше 500 мм в год, причем основная часть их приходится на лето. Это вызывает кратковременное переувлажнение почвогрунтов (вследствие их преобладающего тяжелого механического состава) в пределах средней и нижней частях склонов сопок. Зима малоснежная и относительно суровая, морозы в январе достигают -35° , что вызывает интенсивное промерзание почвогрунтов до 1,5 м и более.

Пегматитовая зона биогеохимических исследований расположена в восточной части жесткого древнего массива и находится в составе серых и темно-серых кварцево-сланцев, пронизанных большим количеством мелких кварцевых и пегматитовых жил. В структурном отношении зона приурочена к северному крылу синклинали, ось которой проходит по водоразделу сопки в северо-западном направлении. Это крыло синклинали осложнено разрывными нарушениями, представленными незначительными по величине, но многочисленными локальными участками дробления. Имеющиеся в составе зоны пегматиты характеризуются в основном мелко и среднекристаллической структурой, текстура их разнозернистая. Пегматиты сложены кварцем (30—35%), плагиоклазом (альбит-олигоклаз и альбит) (30—40%), микроклином (5—10%), мусковитом (3—5%), турмалином (рубеллит, индиголит, шерл) и другими минералами. Из аксессуарных присутствуют лепидолит, сподумен, петалит, монтебразит, танталоколумбит, микролит, поллуцит, берилл, циркон, касситерит, шеелит, апатит, топаз, гранат, шпинель, корунд, анатаз, рутил, пирит, халькопирит, галенит, церуссит, лимонит, графит, роговая обманка, биотит, диопсид и др.

Участок биогеохимического опробования расположен в пределах элювиальной и трансэлювиальной части местного ландшафта, т. е. на водоразделе и примыкающей к нему верхней части склона сопки северной экспозиции крутизной до 10° . Вкрест простирания пегматитовой зоны был заложен почвенно-биогеохимический профиль, на котором в точках наблюдения были отобраны образцы почв и пробы растений.

В пределах сопки развиты бурые лесные почвы, образовавшиеся на метаморфических породах — кристаллических кварцево-сланцев под леспедецевыми и лещинными дубняками. Важной особенностью почвенного профиля является его маломощность и слабая дифференциация на генетические горизонты, очевидно, вследствие крепких, относительно слабо поддающихся процессам выветривания материнских почвообразующих пород. Для почвенных разрезов характерен верхний

Механический состав бурых лесных почв пегматитовой зоны, %

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Фракции, мм						Сумма частиц	
			1,0— —0,25	0,25— —0,05	0,05— —0,01	0,01— —0,005	0,005— —0,001	<0,001	>0,01	<0,01
VI № 3	A ₁	3—10	5,85	17,07	44,80	10,45	14,49	2,43	67,72	27,37
	B ₁	20—23	4,25	20,40	45,30	8,28	12,45	6,46	69,95	26,19
	B ₂	35—40	9,44	22,13	36,95	9,74	13,33	6,10	68,52	29,22
	BC	68—75	12,81	28,61	34,75	9,49	5,86	7,54	76,24	22,89
VI № 8	A ₁	3—6	4,26	21,04	46,49	5,86	12,08	2,95	71,79	20,89
	B ₁	16—20	4,95	29,66	42,96	8,27	8,75	2,47	77,57	19,49
	B ₂	25—30	7,22	22,89	39,40	10,25	11,90	6,50	69,51	28,65
	BC	45—50	6,53	25,77	33,63	12,41	7,62	11,52	65,93	31,55
VI № 14	A ₁	3—6	25,60	17,29	40,91	4,58	3,50	3,60	83,80	11,68
	B ₁	13—20	5,28	32,05	39,39	9,37	8,46	3,00	76,72	20,83
	B ₂	27—40	6,32	40,41	36,87	4,27	4,87	4,78	83,60	13,92
	BC	70—80	5,10	35,22	38,13	6,16	4,26	5,58	78,48	16,00

Примечание. Анализы выполнены в химической лаборатории Кабаровского КНИИ ДВНЦ АН СССР аналитиком Г. А. Сабусовой методом отмучивания.

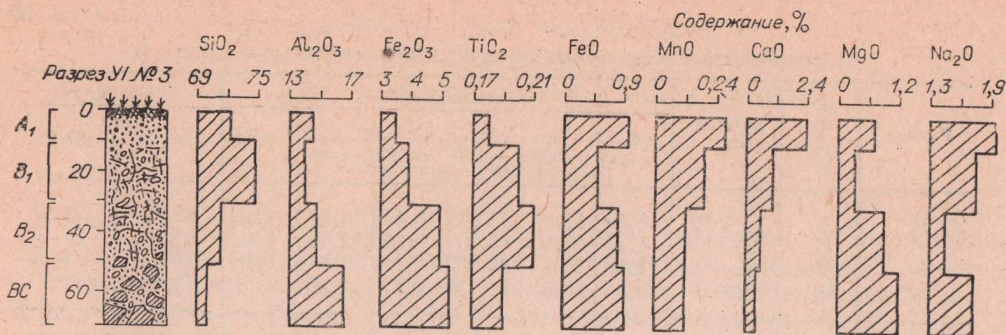
гумусированный горизонт мощностью до 12—15 см, черного цвета, рыхлый, увлажненный, с обилием органических остатков и корней. Подгумусовые иллювиальные горизонты практически всех вскрытых почвенных разрезов по цвету резко отличаются от верхних гумусированных. Кроме того, для подгумусовых горизонтов типичны их достаточно высокая плотность и обилие слюды — мусковита, реже биотита, вымытой в эти горизонты. По-видимому, совместным нахождением слюды и илестых и глинистых частиц в несколько повышенных количествах и объясняется относительное уплотнение иллювиального горизонта описываемых бурых лесных почв. Практически по всему почвенному профилю встречаются обломки кристаллических сланцев, большая часть которых приурочена к низам разрезов. Следует отметить, что почвенные разрезы, заложенные в пределах пегматитов, характеризуются общим осветлением и более светлой окраской нижних горизонтов и более тяжелым механическим составом по сравнению с почвенными разрезами, заложенными на кристаллических кварцево-слюдистых сланцах. Содержание щебня в разрезах над пегматитами значительно меньше, вероятно, из-за разрушения полевых шпатов, в частности альбита, составляющего основную массу пегматитов. Общая мощность почвенного профиля на участке исследований достигает 60—80 см.

По механическому составу описываемые почвы относятся к средним и тяжелым суглинкам. Наибольшее количество глинистых и илестых частиц отмечается в горизонтах B₂ и BC. При этом разрез № 3 на водораздельной части сопки более оглинен, чем разрезы № 8 и 14 на склоне сопки (табл. 59).

Валовой химический состав бурых лесных почв, сформированных в пределах пегматитовой зоны, изображен на рис. 84.

Почвенная среда бурых лесных почв на участке слабокислая, почти нейтральная, рН (водной вытяжки) колеблется от 5,2 до 7,8. Подвижные гидроокислы алюминия, железа и кремнезема во всех разрезах в наибольшем количестве отмечаются в иллювиальных горизонтах B и BC, т. е. там, где отмечено повышенное содержание глинистых и илестых частиц. В разрезах на склоне сопки по сравнению с водоразделом наблюдается некоторое увеличение в целом подвижных гидроокислов, хотя наибольшая их величина все-таки характерна для горизонта BC.

Изучение минералогического состава бурых лесных почв по шлихам, отмывтым из генетических горизонтов B и BC, показало, что наибольший



выход немагнитной тяжелой фракции отмечается из горизонта ВС, особенно над пегматитами (разрез УІ № 6) и ниже их по склону. Например, в разрезе УІ № 6 содержание немагнитной фракции в горизонте В составляет 0,11 г, а в горизонте ВС — 0,20 г, т. е. почти в 2 раза больше. Основные минералы в наибольшем количестве содержатся в горизонте ВС. К таким минералам относятся ильменит, шеелит, касситерит. Некоторые минералы в наибольшем количестве также отмечаются в горизонте ВС, но только в почвенных разрезах, заложенных непосредственно над пегматитами, например колумбит, топаз, апатит, рутил и др.

В магнитной фракции из тяжелых минералов обнаружен только магнетит; в электромагнитной фракции — лимонит, ильменит, турмалин, гранат, шпинель, роговая обманка, эпидот, пироксен, псиломслан, колумбит, ярзит; в немагнитной фракции — касситерит, андулазит, анатаз, циркон, шеелит, рутил, апатит, лейкоксен, сфен и топаз. Минералы легкой фракции представлены кварцем, полевым шпатом, мусковитом и биотитом.

Глинистая фракция образцов почв всех генетических горизонтов разрезов УІ № 1 и УІ № 14 подвергалась рентгеноструктурному и термическому анализу. Дифференциальные кривые нагревания указывают на наличие гидрослюда типа иллита (эндоэффекты 100, 530 и 870°), примесь вермикулита и гидробиотита (эндоэффекты 120, 560 и 890—920°) и примесь каолинита (эндоэффект 590°). Эти данные подтверждаются дифрактограммами рентгеноструктурного анализа по результатам замера межплоскостных расстояний: гидрослюда — 10,0 Å, гидробиотит — 12,4 Å, вермикулит — 14,2 Å и каолинит — 7,3 Å. При этом наиболее четко примесь каолинитового минерала проявляется как на дифференциальных кривых нагревания, так и на дифрактограммах в верхних горизонтах почвенных разрезов, в частности в горизонте А и в верхней части горизонта В₁ разреза УІ № 1, т. е. на водораздельной части сопки. Это обстоятельство, вероятно, свидетельствует о наиболее интенсивных процессах выветривания первичных материнских пород в ортоэлювиальных ландшафтах. В целом минералогический состав бурых лесных почв, сформированных на пегматитовой зоне и вмещающих ее кварцево-сланцевых сланцах, указывает на достаточно интенсивные процессы выветривания, протекающие в данных конкретных условиях. Об этом говорят следующие факты: 1) маргитизация магнетита, заключающаяся в покрытии его красноватобурой пленкой; 2) отсутствие сульфидных минералов, в частности пирита, который нацело изменен и, по существу, представлен лимонитом в виде псевдоморфоз по кристаллам пирита, в форме кубов, изометрических обломков и т. д.; 3) лейкоксенизация ильменита, вплоть до полного его замещения лейкоксеном; 4) сильное изменение первичного кристаллического эпидота до рыхлого состояния этого минерала, характеризующегося землистым сложением; 5) интенсивные процессы окисления колумбита, в результате чего он покрывается корочкой буро-коричневых и желтых про-

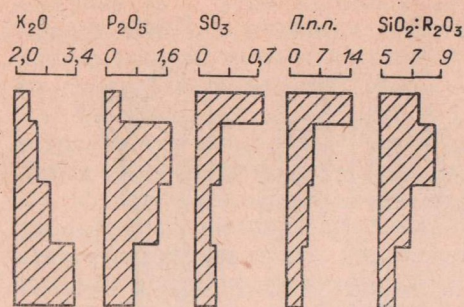


Рис. 84. Диаграмма валового химического состава мелкозема бурых лесных почв на пегматитовой зоне (в проценте на прокаленное вещество; разрез УІ № 3).

дуктов выветривания; б) четко выраженная каолинизация полевого шпата вплоть до возникновения каолинита, что подтверждается данными гермического и рентгеноструктурного анализов глинистых частиц мелкозема почв.

Геохимия бурых лесных почв

Геохимия бурых лесных почв на пегматитовой зоне изучена по 8 разрезам, расположенным как непосредственно на пегматитах, так и за их пределами, т. е. на слюдисто-кварцевых сланцах. В общей сложности было отобрано по генетическим горизонтам 35 образцов, в которых определены литий, рубидий, цезий, бериллий, цирконий, галлий, олово, скандий, вольфрам и ниобий.

Литий относится к главным химическим элементам пегматитовой зоны. Местный геохимический фон его в целом равен 0,022%, что в 7 раз больше кларка в почвах по А. П. Виноградову (1957). Такая же величина местного геохимического фона характерна для горизонтов А и В, а в горизонте ВС она составляет 0,025%, что уже в 8 раз больше кларка в почвах. Максимальные содержания этого элемента по генетическим горизонтам распределены следующим образом: в горизонте А — 0,023, в горизонтах В и ВС — 0,028%.

Таблица 60

Распределение лития, рубидия, цезия в бурых лесных почвах на пегматитовой зоне в составе слюдисто-кварцевых сланцев

Разрез	Глубина, см	Горизонт	Li, %	Rb, %	Cs, %	Li:Rb	Li:Cs	Rb:Cs
УІ № 1	2—8	А	0,015	—	—	—	—	—
	10—17	В	0,015	0,02	0,0048	0,75	3,12	4,16
	50—60	ВС	0,023	0,07	0,0075	0,32	3,20	9,33
УІ № 3	3—10	А	0,021	0,0110	0,0060	1,90	3,50	1,83
	20—23	В ₁	0,022	0,0045	0,0030	4,88	7,33	1,50
	35—40	В ₂	0,028	0,0040	0,0079	7,00	3,54	0,56
	60—70	ВС	0,025	0,0170	0,0083	1,47	3,01	2,05
УІ № 6	3—6	А	0,028	0,0035	0,0050	6,67	4,60	0,70
	15—20	В ₁	0,026	0,0110	0,0050	2,36	5,20	2,20
	25—30	В ₂	0,028	0,0030	0,0055	9,33	5,09	0,54
	45—50	ВС	0,027	0,0070	0,0080	3,85	3,37	0,87
УІ № 8	3—6	А	0,022	0,010	0,0030	2,20	7,33	3,33
	16—20	В ₁	0,022	0,008	0,0035	2,75	6,29	2,21
	25—30	В ₂	0,027	0,007	0,0039	3,85	6,90	1,79
	45—50	ВС	0,028	0,014	0,0036	2,00	7,77	3,88
УІ № 14	3—6	А	0,020	0,008	0,003	2,50	6,66	2,66
	13—20	В ₁	0,023	0,011	0,003	2,09	7,66	3,66
	27—40	В ₂	0,022	0,006	0,003	3,66	7,33	2,00
	70—80	ВС	0,021	0,011	0,033	1,90	7,00	3,66

Примечание. Определение лития, рубидия и цезия выполнено количественным спектральным анализом в Центральной лаборатории УГУ (г. Свердловск).

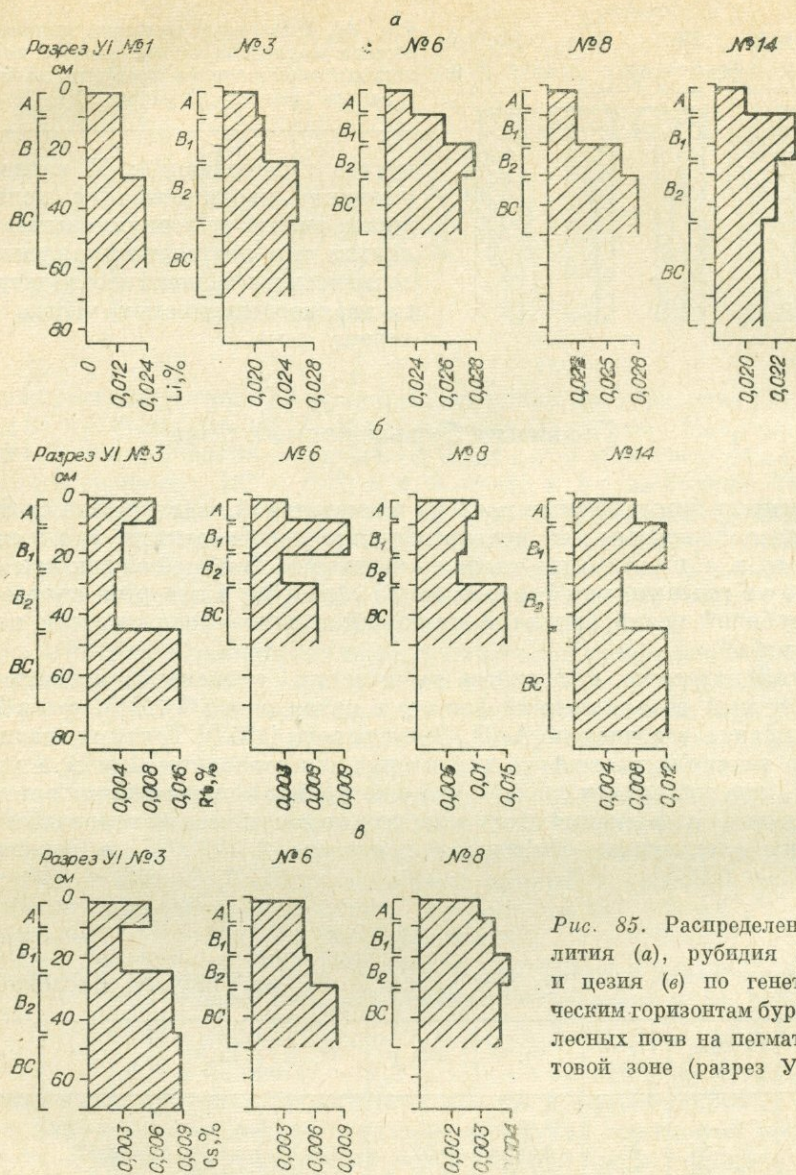


Рис. 85. Распределение лития (а), рубидия (б) и цезия (в) по генетическим горизонтам бурых лесных почв на пегматитовой зоне (разрез VI).

В табл. 60 приведено распределение содержания лития по генетическим горизонтам описываемых почв. Этот элемент в наибольшем количестве накапливается в иллювиальном горизонте В и частично в переходном ВС. Особенно наглядно и отчетливо это видно из диаграммы (рис. 85, а).

Обращает на себя внимание, в общем, относительно небольшое содержание лития в продуктах выветривания литиеносных кварцево-сланцевых сланцев и пегматитов. Вероятно, это вызвано повышенным выносом элемента на первых стадиях выветривания материнских пород. Как указывают В. В. Бурков и Е. К. Подпорина (1971), наиболее массовый и интенсивный вынос большинства редких элементов, особенно щелочных, происходит при стадии дезинтеграции выветривающихся пород. Поведение редких щелочей на этой стадии выветривания обусловлено их высокой подвижностью, что приводит к выносу (в ионной форме) примерно трети их первоначального количества в исходной породе (Бурков, Подпорина, 1969). Кроме того, выносу лития из продуктов выветривания литийсодержащих минералов и пород способствует кислая среда гумидных

ландшафтов с углекислотным процессом выветривания (Крайнов, Капранов, 1967), в условиях которой формируется каолинит, слабо сорбирующий литий из-за относительно низкой сорбционной способности этого глинистого минерала (Грим, 1956).

По данным А. Б. Ронова, А. А. Мигдисова и др. (1970), зона дезинтеграции кор выветривания вообще характеризуется резким уменьшением лития по сравнению с исходными породами.

В нашем случае, наибольшее содержание лития в иллювиальном горизонте В и частично ВС, а также отсутствие в почвах минералов лития свидетельствуют в его склонности к сорбции глинистыми частицами, которые в этой части почвенных разрезов содержатся в наибольшем количестве. Вероятно, сорбирование глинистыми минералами — это одна из основных форм нахождения лития в почвах. По данным В. И. Лебедева (1957а) и Д. М. К. Мак-Юан (1965), структура магнезиально-железистых минералов группы монтмориллонита энергетически благоприятна для вхождения лития. В. Д. Пампура и Л. Г. Труфанова (1968) установили, что 88—90% лития прочно связано в решетках слоистых структур глинистых минералов, при этом основным минералом-концентратором лития является каолинит. А. Б. Ронов, А. А. Мигдисов и др. (1970) указывают на связь лития с алюминием в продуктах выветривания и считают, что литий, вошедший в структуру глинистых минералов, прочно удерживается в решетках и накапливается вместе с алюминием.

По мнению Н. П. Морозова (1968а), распространение лития четко связано с содержанием в осадках минералов группы монтмориллонита и каолинита, и наибольшее количество этого элемента отмечается в осадках, характеризующихся преобладанием указанных минералов.

Э. П. Хорстман (1959) полагает, что литий в глинистых минералах больше связан с каолинитом, чем с монтмориллонитом, и эта связь намечается еще в коре выветривания и прочно удерживается в них в процессе миграции.

Вследствие того, что литий отличается от других редких щелочных элементов малым ионным радиусом, он легко уместается в октаэдрических пустотах решеток глинистых минералов. Особенно легко он входит в трехслойные пакеты типа гидрослюд—монтмориллонита (Лебедев, 1957а; Бойко, 1964а). Поэтому литий может мигрировать пассивно, т. е. в виде взвесей, представленных глинистыми частицами. По мнению Н. П. Морозова (1969), роль взвесей в поверхностных (речных) водах в миграции щелочных редких металлов, и прежде всего лития, имеет важное значение.

На способность глинистых минералов сорбировать литий указывают многие исследователи (Иванов, 1956; Виноградов, 1957, Айдинян; 1959; Бойко, 1964б; Волков, 1966; Морозов, 1968а, в; Садовский и др., 1969; Ohrdorf, 1968; и др.).

Таким образом, часть лития, оставшаяся в продуктах выветривания литийсодержащих пород после стадии дезинтеграции, сорбируется глинами. Вероятно, эта геохимическая особенность лития присуща всем корам выветривания и почвам, и она подтверждается на приведенном конкретном фактическом материале.

Как указывалось выше, в бурых лесных почвах литий склонен накапливаться в горизонте ВС, что отмечают и другие исследователи (Грабовская, Астрахан, 1963; Гюльяхмедов, Мугалинская, 1970; Загоскин, Шиманский, 1971). По-видимому, это является также геохимической особенностью лития в современных корах выветривания.

Рубидий относится к основным редким щелочным элементам, находящимся в бурых лесных почвах описываемого участка. Местный геохимический фон его в почвах равен 0,011%, что меньше кларка. В генетических горизонтах местный геохимический фон этого элемента распределен так: в горизонте А — 0,01%, в горизонте В — 0,011, в горизонте ВС —

0,017, но все-таки меньше кларка (0,02%). Наибольшие содержания рубидия отмечены в горизонтах В и ВС. В первом случае его количество равно кларку, т. е. 0,02%, а во втором — достигает 0,07%, т. е. уже в 3,5 раза больше кларка (см. табл. 60). Для наглядности на основании данных табл. 60 построены диаграммы распределения этого элемента (рис. 85,б), из которых отчетливо видно, что рубидий обнаруживает ярко выраженную тенденцию концентрироваться в нижней части почвенных разрезов, т. е. в горизонте ВС с наибольшим количеством глинистых частиц.

Говоря о геохимии рубидия, необходимо отметить, что этот элемент не образует ни одного собственного, ни гипогенного, ни гипергенного минерала. Он замещает калий во всех калийсодержащих минералах — лейцитах, слюдах, полевых шпатах, амазоните, карналлите и др. Так, например, в гранитоидах, рубидий присутствует в основном в биотите и калишпате (Dupuy Claude, 1968), в гранодиоритах, в частности, обнаруживается тесная положительная корреляционная связь калия с рубидием (Мельниченко, Могаревский, 1968). Изоморфное замещение калия рубидием и общность геохимических свойств обусловлены близостью их ионных радиусов ($K - 1,33\text{Å}$, $Rb - 1,49\text{Å}$).

В зоне гипергенеза и в осадочных породах рубидий явно тяготеет к глинистым минералам. Так, по данным Т. Ф. Бойко (1964б), наибольшее количество элемента обнаружено в каолинитах (0,058%), но среднее содержание его (0,011%) меньше, чем в глинах со смешаннослойной структурой (0,014%). Монтмориллониты относительно бедны рубидием (0,0025%). В среднем глины содержат 0,014% рубидия, а изверженные породы — 0,012%. Этот металл входит в глинистые минералы в виде адсорбированного катиона, весьма прочно с ними связанного (Бойко, 1964б). Экспериментальным путем установлено, что прочная фиксация рубидия осуществляется вермикулитом и гидробиотитом (Kaddah, 1968), при этом по энергии поглощения рубидий стоит на третьем месте после калия и иона NH_4 .

Сорбцию рубидия глинистыми минералами отмечали ряд исследователей (Кокотов и др., 1961; Титлянова, 1962; Садовский и др., 1969; Mortland e. a., 1957; De Mumburg, Hoover, 1958; и др.).

Цезий, входя в группу легких редких щелочных элементов, в зоне гипергенеза обнаруживает геохимические черты, аналогичные литию и рубидию. Местный геохимический фон его в целом в изученных почвах равен 0,003%, что в 6 раз больше кларка. Величина местного геохимического фона по генетическим горизонтам почв равна: в горизонте А — 0,003%, в горизонте В — 0,0035, в горизонте ВС — 0,008%, т. е. наибольшее значение геохимического фона цезия, как лития и рубидия, характерно для горизонта ВС — в 16 раз больше кларка. Аномальные (максимальные) содержания цезия в почвах достигают: в горизонте А — 0,006%, в горизонте В — 0,0079, в горизонте ВС — 0,0086%, что соответственно в 2, 2,6 и 2,8 раза больше местного геохимического фона и в 12, 16 и 17 раз больше кларка. По данным табл. 60, где приводится распределение цезия по генетическим горизонтам бурых лесных почв, построены диаграммы (рис. 85,в), свидетельствующие о накоплении этого элемента в нижней части почвенных разрезов, т. е. в горизонтах В и ВС.

По геохимическим особенностям цезий несколько отличается от других редких щелочных металлов. Прежде всего ион цезия является самым крупным катионом. Ионный радиус этого элемента равен $1,65\text{Å}$, и этот металл проявляет наиболее сильно щелочные свойства. По мнению А. И. Гинзбурга и О. Д. Ставрова (1969), крупный размер иона цезия обуславливает исключительно высокую его сорбционную способность и значительную активность в реакциях катионного обмена в экзогенных образованиях, в частности в продуктах выветривания цезийсодержащих пород и минералов. По данным Н. А. Григорьева, К. А. Поташко,

Н. Е. Чистякова (1971), основными породообразующими минералами-носителями, поставляющими этот металл в продукты выветривания, является мусковит, гидромусковит, альбит, калиевый полевой шпат. При этом одни исследователи (Пампура, Труфанова, 1968) считают основным концентратом цезия — гидрослюда, а другие (Sawhney, Frink, 1964) — в целом все почвенные глины.

Исключительную сорбционную способность цезия глинистыми образованиями подчеркивает С. Р. Крайнов (1970), объясняя этим геохимическим явлением чрезвычайно малую подвижность данного металла в грунтовых водах зоны гипергенеза. Этот автор указывает, что по интенсивности осаждения цезия монтмориллонитовые глины вследствие наибольшей сорбционной емкости значительно превышают каолинитовые глины, а в ряду осаждения щелочных металлов цезий стоит на первом месте.

По мнению В. М. Клечковского и И. В. Гулякина (1968), цезий сорбируется глинами почв по типу обменно-ионного поглощения, при этом часть сорбированного цезия фиксируется в почвах безобменно, что подтверждено экспериментальными исследованиями по десорбции этого элемента (Amphlett, 1955).

Значительную прочность сорбции цезия глинистыми минералами почв отмечает ряд исследователей (Иванов, 1956; Клечковский, Гулякин, 1968; Клечковский и др., 1959; Титлянова, Тимофеева, 1959; Кокотов и др., 1961; Титлянова, 1962; Frederickson, Eriksson, 1958; и др.).

Сорбционная способность цезия в глинистых продуктах выветривания обуславливает накопление его в горизонтах В и ВС описываемых почв, что подтверждается вышеприведенными литературными данными.

Таким образом, геохимия редких щелочных элементов в зоне гипергенеза зависит от таких факторов, как химические и кристаллохимические свойства, радиус иона, энергия гидратации и др. Они и определили то положение, что в гипергенной обстановке редкие щелочные элементы имеют четко выраженную склонность сорбироваться глинистыми минералами. Однако у каждого металла проявляются свои индивидуальные особенности сорбции. Если в процессе сорбции ионы лития входят в кристаллические структуры глинистых минералов, то рубидий и цезий сорбируются преимущественно на поверхности последних (Морозов, 1969).

В результате сорбционных процессов происходит относительно накопление редких щелочных элементов в первичных продуктах выветривания, в которых они удерживаются в процессе миграции. При этом, как установил Р. Х. Айдинян (1959), наиболее сильное накопление щелочных легких металлов происходит в коллоидных фракциях почв, которые, как известно, представлены вторичными глинистыми минералами.

Надо, однако, отметить, что количественная сторона накопления каждого щелочного металла в экзогенных образованиях зависит от исходных коренных (материнских) пород, от интенсивности процессов выветривания, от соотношения агентов физического, химического и биологического разложения пород и минералов, т. е. в конечном счете подчиняется природной климатической зональности (Хорстман, 1959).

В почвах, по мнению Т. Ф. Бойко (1964а), количество редких щелочей в основном контролируется глинистыми минералами, их составом и степенью дисперсности. Следовательно, как в первичных продуктах выветривания (стадия дезинтеграции материнских пород), так и в почвах накопление редких щелочей обусловлено сорбционными процессами.

В описываемых почвах, сформированных на кварцево-слюдистых сланцах с редкометальной минерализацией, литий, рубидий и цезий составляют основную геохимическую ассоциацию. Между этими микроэлементами были вычислены отношения, сведенные в табл. 60. Обращает на себя внимание отношение между содержанием лития и рубидия в генетических горизонтах почв в разрезах над пегматитами и за их пределами. Так, в почвенных разрезах вне пегматитов отношение между содержанием лития

Содержание лития, рубидия и цезия во фракциях мелкозема генетических горизонтов бурых лесных почв, сформированных на пегматитовой зоне в составе кварцево-слюдистых сланцев (разрез У1 № 8)

Горизонт	Глубина отбора, см	Фракция, мм	Li	Rb	Cs
А	3—6	1,0—0,25	0,0150	0,0048	0,0054
		0,25—0,05	0,0120	0,0045	0,0060
		0,05—0,01	0,0170	0,0075	0,0090
		0,01—0,005	0,0038	0,0035	0,0052
		0,005—0,001	0,0090	0,0090	0,0043
		<0,001	0,0200	0,0090	0,0150
В ₁	16—20	1,0—0,25	0,016	0,0100	0,0047
		0,25—0,05	0,016	0,0110	0,0054
		0,05—0,01	0,017	0,0150	0,0032
		0,01—0,005	0,022	0,0100	0,0047
		0,005—0,001	0,014	0,0062	0,0047
		<0,001	0,017	0,0820	0,0150
В ₂	25—30	1,0—0,25	0,014	0,0090	0,0054
		0,25—0,05	0,015	0,0090	0,0110
		0,05—0,01	0,006	0,0090	0,0032
		0,01—0,005	0,017	0,0090	0,0047
		0,005—0,001	0,014	0,0072	0,0040
		<0,001	0,017	0,0100	0,0082
BC	45—50	1,0—0,25	0,024	0,0110	0,0200
		0,25—0,05	0,024	0,0072	0,0064
		0,05—0,01	0,017	0,0084	0,0130
		0,01—0,005	0,015	0,0084	0,0035
		0,005—0,001	0,004	0,0084	0,0047
		<0,001	0,012	0,0090	0,0150

и рубидия резко занижено по сравнению с разрезами, заложенными над пегматитами. Например, в разрезе У1 № 1 в горизонте В оно составляет 0,75%, а в разрезе У1 № 6 над пегматитами в этом же горизонте оно равно 9,33%, т. е. почти в 13 раз больше. Следовательно, отношение этих элементов в бурых лесных почвах может служить критерием оценки литиевой минерализации аналогичного типа в гумидных условиях. При этом следует отметить, что отношение между содержанием лития и рубидия (за пределами рудного тела) наименьшее (< 1) в почвенных разрезах в элювиальном ландшафте по сравнению с таковыми в трансэлювиальном.

Отношение между содержанием рубидия и цезия имеет тенденцию к уменьшению в почвенных разрезах над пегматитами (например, в разрезе У1 № 6) по сравнению с разрезами за пределами минерализации. Это указывает на относительно незначительное содержание рубидия в почвах над эпицентром оруденения, по-видимому, из-за высокой подвижности этого элемента в данных конкретных условиях и выноса его за пределы пегматитовой зоны.

С целью установления особенностей содержания редких щелочных элементов в зависимости от крупности частиц мелкозема описываемых бурых лесных почв было определено содержание этих металлов во фракциях мелкозема генетических горизонтов почв разреза У1 № 8 (табл. 61).

Оказалось, что в верхнем гумусированном горизонте А (глубина 3—6 см) все три элемента в наибольшем количестве содержатся в фракции $< 0,001$ мм. По сравнению с самой крупной фракцией мелкозема 1,0—0,25 мм во фракции $< 0,001$ мм лития содержится больше в 1,3 раза, рубидия приблизительно в 2, цезия примерно в 4 раза.

В горизонте В₁ (глубина 16—20 см) наибольшее количество лития отмечено во фракции 0,01—0,005 мм, рубидия — во фракции 0,05—0,01 мм, а цезия, как и в горизонте А, во фракции $< 0,001$ мм. Максимальное со-

держание лития и рубидия в указанных фракциях, вероятно, обусловлено повышенным количеством в них тонкодисперсного мусковита.

В горизонте B_2 (глубина 25—30 см) литий и рубидий концентрируются во фракции $< 0,001$ мм, а цезий — во фракции 0,25—0,05 мм.

Весьма характерно то, что в горизонте ВС все три металла содержатся в наибольшем количестве в крупных фракциях мелкозема, в частности во фракции 1,0—0,25 мм. Во фракции $< 0,001$ мм содержание указанных элементов также достаточно высокое, но все же меньше, чем в самой крупной фракции, — лития в 2 раза, рубидия и цезия в 1,33 раза.

Таким образом, на фоне постепенного увеличения содержания в целом лития, рубидия и цезия от горизонта А к горизонту ВС изменяется максимальное количество этих металлов во фракциях каждого генетического горизонта. В горизонте А аномальное содержание элементов отмечено в самой мелкой фракции ($< 0,001$ мм), в горизонтах B_1 и B_2 во фракциях средней размерности (0,01—0,005 мм и других), а в горизонте ВС — только в самой крупной фракции, т. е. 1,0—0,25 мм.

Исходя из особенностей содержания редких щелочных элементов во фракциях мелкозема генетических горизонтов описываемых почв, можно сделать вывод о том, что в максимальном концентрировании указанных металлов в горизонте ВС, кроме глинистых частей, существенное значение имеют обломки минералов, содержащих редкие щелочи.

Бериллий имеет 100%-ную встречаемость в описываемых бурых лесных почвах, входя в число химических элементов — основных в редкометальных пегматитах. Местный геохимический фон его в целом в почвах, а также по генетическим горизонтам А, В и ВС, равен 0,001%, что в 1,6 раза больше кларка. В горизонте С (сильно выветрелые рудовмещающие кварцево-сланцевые сланцы) местный геохимический фон равен 0,003%, что в 5 раз больше кларка. Аномальные содержания бериллия по генетическим горизонтам распределены следующим образом: в горизонте А и ВС — 0,003%, в горизонте В — 0,002% и в горизонте С — 0,01%, что соответственно в 5; 3,3 и в 16 раз больше кларка. Следует отметить, что наиболее повышенное содержание элемента во всех генетических горизонтах отмечено в почвенных разрезах, заложенных непосредственно над пегматитами (разрез УІ № 6). За пределами зоны оруденения содержание бериллия в почвах почти повсеместно равно 0,001%, т. е. не превышает значения местного геохимического фона.

Цирконий содержится в описываемых почвах в пределах кларка по А. П. Виноградову (1957). Этот металл распределен равномерно по генетическим горизонтам (0,003%), независимо от места заложения разрезов относительно зоны минерализации. Местный геохимический фон его равен кларку в почвах, т. е. 0,003%. Аномальных значений, т. е. выше местного геохимического фона, не отмечено.

Галлий сопровождает редкометальную минерализацию пегматитов и имеет встречаемость в бурых лесных почвах свыше 90%. Местный геохимический фон его равен кларку в почвах, т. е. 0,003%. Наибольшие содержания этого элемента (0,006%) отмечены в горизонте С в разрезе над пегматитами (разрез УІ № 6). За пределами пегматитов его содержание в почвах колеблется в пределах местного геохимического фона.

Олово имеет встречаемость около 57%. Местный геохимический фон его колеблется в пределах кларка по А. П. Виноградову (1957), т. е. 0,001%. Аномальные содержания достигают в горизонте А — 0,01%, в горизонте В — 0,005, в горизонте ВС — 0,006%, т. е. соответственно в 10, 5 и 6 раз больше кларка. Однако наибольшее количество олова отмечено в единичных пробах в разрезах над пегматитами.

Скандий имеет встречаемость около 45%. Местный геохимический фон его равен 0,002%, что в 3 раза больше кларка в почвах. Повышенные содержания скандия в единичных пробах в пределах зоны оруденения достигают 0,003%, т. е., по существу, в тех же разрезах, где отмечается наи-

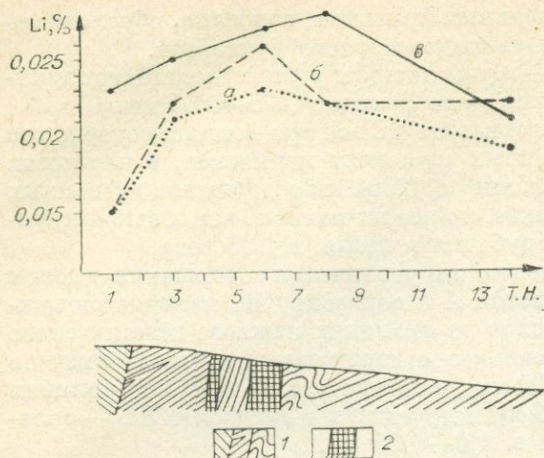


Рис. 86. Распределение лития в бурых лесных почвах по профилю вкрест простирания пегматитовой зоны.

1 — кварцево-сланцевые сланцы; 2 — пегматиты. Кривые содержания: а — по горизонту А; б — по горизонту В; е — по горизонту ВС. Усл. обозн. 1, 2 даны для рис. 86—95.

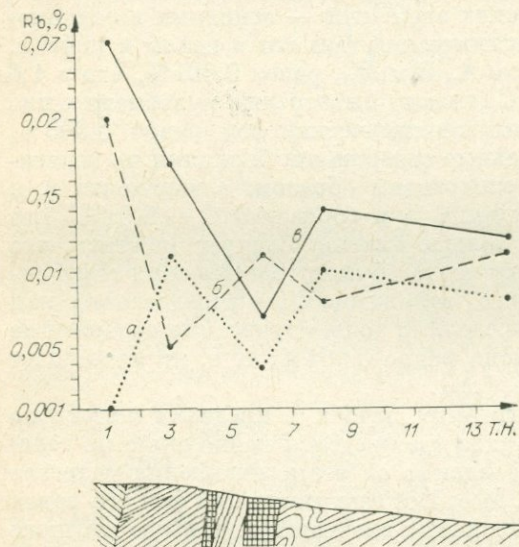


Рис. 87. Распределение рубидия в бурых лесных почвах по профилю вкрест простирания пегматитовой зоны.

Кривые содержания: а — по горизонту А; б — по горизонту В; е — по горизонту ВС.

этом повышенная концентрация его характерна для горизонта ВС большинства разрезов, особенно над пегматитами. В горизонте ВС, кроме того, отмечается некоторое смещение аномального содержания лития относительно пегматитовой зоны вниз по склону сопки, в то время как по другим вышележащим почвенным генетическим горизонтам В и А наибольшие содержания лития (литогео-химические аномалии) соответствуют эпицентру рудной зоны.

Распределение рубидия в почвах по профилю вкрест простирания пегматитовой зоны (рис. 87) несколько отличается от распределения лития. Наибольшее количество его отмечается в горизонтах В и ВС не над руд-

большее количество олова (касситерита). Следует отметить, что в горизонте А скандий не обнаружен.

Вольфрам в единичных пробах (до 0,003%) отмечен в разрезе У1 № 8 над рудной зоной. Однако по данным шлихового анализа единичные зерна шеелита установлены в почвенных разрезах и за пределами зоны минерализации. Следовательно, вольфрам может быть индикатором зоны редкометального пегматитового оруденения.

Ниобий обнаружен в единичных пробах (до 0,003%) в горизонте С из разрезов, заложенных в пределах зоны минерализации. По данным шлихового опробования, колумбит как ниобийсодержащий минерал в единичных зернах встречается в почвах не только над пегматитовой зоной, но и за ее пределами. Поэтому можно утверждать, что ниобий в почвах входит в геохимическую ассоциацию основных химических элементов, характерных для пегматитов.

Установлены особенности распределения главных элементов пегматитовой минерализации по профилю, ориентированному вкрест простирания рудной зоны. Так, на рис. 86 изображены особенности распределения лития по генетическим горизонтам почв. Из рисунка видно, что по всем трем генетическим горизонтам А, В и ВС наибольшее количество лития в общих чертах соответствует зоне оруденения. При

ной зоной, а на водораздельной части сопки, в автономном элювиальном ландшафте над эпицентром разлома в кварцевослюдистых сланцах, в то время как непосредственно над пегматитовой зоной содержание рубидия ниже примерно в 2 раза по сравнению с почвами над эпицентром разлома. Эти особенности распределения рубидия, по всей вероятности, обусловлены специфическими чертами геохимических процессов, протекающих в современной коре выветривания, сформированной над пегматитами и над разломами. Пониженное содержание рубидия в почвах над пегматитовой зоной, по-видимому, обусловлено интенсивными процессами почвенного выщелачивания, с одной стороны, и высокой подвижностью этого элемента — с другой. Однако над разломами повышенное содержание рубидия в почвах обусловлено сорбционными процессами. Благоприятному протеканию этих процессов способствовали подток рубидийсодержащих грунтовых вод по разлому и наибольшее количество глинистых частиц в почвенных разрезах в зоне разлома.

Распределение цезия в почвах по профилю вкостр простираения зоны редкометалльного оруденения, в общем, аналогично литию, т. е. наибольшее его содержание отмечается в почвенных разрезах над эпицентром пегматитовой зоны в горизонте ВС (рис. 88).

Данные по распределению в бурых лесных почвах по профилю других элементов, также являющихся основными в первичных минералах пегматитов, представлены на рис. 89. Бериллий, олово и галлий, как видно из рисунка, содержатся в повышенном количестве над пегматитовой зоной и, таким образом, четко отбивают ее местоположение. Что касается скандия, то он распределен более или менее равномерно, хотя несколько повышенное его количество отмечено в значительном удалении от зоны редкометалльной минерализации (т. н. 14). В этом плане значение данного элемента как индикатора редкометалльной пегматитовой минерализации невелико.

Особенности распределения содержания в почвах редких щелочных элементов — главных в пегматитовой зоне оруденения, а также редких и рассеянных элементов, сопровождающих редкометалльную минерализацию, свидетельствуют о том, что в гумидных условиях указанный тип минерализации сопровождается четко выраженными литогеохимическими ореолами рассеяния металлов. Это обстоятельство имеет важное значение для поисков пегматитовых рудопроявлений в аналогичных природных условиях.

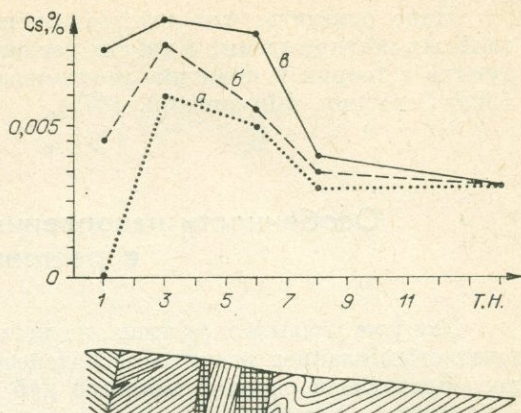


Рис. 88. Распределение цезия в бурых лесных почвах по профилю вкостр простираения пегматитовой зоны.

Кривые содержания: а — по горизонту А; б — по горизонту В; в — по горизонту ВС.

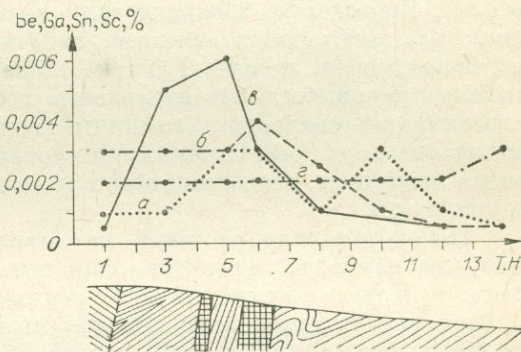


Рис. 89. Распределение редких элементов в бурых лесных почвах по профилю вкостр простираения пегматитовой зоны.

Кривые содержания: а — бериллия; б — галлия; в — олова; г — скандия.

Надо отметить, что литогеохимические ореолы рассеяния редкометальных месторождений в других регионах нашей страны успешно используются в теории и практике геохимических поисков (Беренгилова, 1967; 1968; Загоскин, Шиманский, 1971).

Особенности накопления редких элементов в растениях

Как уже указывалось выше, на пегматитовой зоне в составе кварцевослюдистых сланцев развиты леспедцевые и лещинные дубянки. Основной лесообразующей породой является дуб монгольский. На вершине сопки к нему примешивается подрост липы амурской и березы даурской, а ниже по склону — бархат амурский и ильм крупноплодный. Подлесок на открытых участках обычно очень густой и представлен в основном леспедцей двуцветной и лещиной разнолистной, в более затененных участках подлесок несколько богаче. Здесь появляется чубушник тонколистый, шиповник даурский и реже малина сахалинская. Обилен и разнообразен травяной покров. Наиболее распространены здесь орляк обыкновенный, вейник Лангсдорфа, шпороцветник вырезной, осоки железная и маньчжурская, кочедыжник женский, лабазник дланевидный, вика приятная и ложночиновная, полынь Гмелина. В верхней, особенно освещенной части склона травянистая растительность несколько меняется. Здесь обычны атрактилодес овальный, мышинный горошек, полынь побегоносная, василистник амурский. Отдельными куртинками по всему склону встречается осока ланцетная, бальзамин обыкновенный, чистотел большой, страусопер германский.

Некоторые виды растений на отвалах канав отличаются гигантизмом, что наиболее характерно для полыни Гмелина и чистотела большого. Другие — страусопер германский — значительно угнетены. Однако результаты анализов свидетельствуют о том, что сколько-нибудь значительных концентраций редких элементов в этих растениях не обнаружено.

На пегматитовой зоне было опробовано 25 видов растений, что составило 270 проб. Результаты анализов показали, что в золе растений накапливаются литий, бериллий, цирконий, галлий, олово и вольфрам, являющиеся элементами-примесями в пегматитах. Наиболее часто в растениях встречается бериллий, обнаруженный в 24 видах (табл. 62). Литий, галлий и цирконий отмечаются реже — соответственно в 11—13 видах растений. Самые редкие элементы — олово и вольфрам установлены в 5—4 видах растений. В подавляющем большинстве видов опробованных растений эти элементы накапливаются только над жилами пегматитов, что особенно характерно для лития, олова и вольфрама. Слабые концентрации бериллия, галлия и циркония в золе некоторых деревьев и кустарников за пределами пегматитов можно объяснить тем, что эти элементы широко рассеяны во вмещающих породах. Рубидий и цезий не определялись.

Различные виды растений, произрастающие в одинаковых условиях, даже в пределах одного пункта опробования так же, как и на других объектах биогеохимического исследования, накапливают в золе различное количество элементов. Это хорошо видно из табл. 63. Бериллий обнаружен во всех растениях, причем содержание его в них подвержено значительным колебаниям. Так, в золе кочедыжника бериллия в 2—20 раз выше, чем в других видах. Аналогичная разница в накоплении характерна и для других элементов и видов растений. Например, лития в золе чубушника в 2—10 раз выше по сравнению с другими видами. Вольфрам обнаружен всего в двух видах из 16 опробованных.

Сравнительные данные содержания редких элементов в золе растений на пегматитовой зоне, %

Растение	Орган	Li		Be		Ga		Zr		Sn		W	
		над пегматитами	за пределами их	над пегматитами	за пределами их	над пегматитами	за пределами их	над пегматитами	за пределами их	над пегматитами	за пределами их	над пегматитами	за пределами их
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Орляк	Надземная часть	0,01	—	0,001	—	—	—	<0,001	—	—	—	—	—
Вейник	То же	0,01—0,05	—	0,0001	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Шпорцветник	»	<0,01—0,01	—	0,0001—0,001	—	<0,001—0,001	—	<0,001—0,003	—	<0,001	—	0,03	—
Горошек	»	—	—	0,0003	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Полынь побегоносная	»	—	—	0,0001	—	—	—	—	—	—	—	—	—
» Гмелина	»	—	—	0,0003—0,0005	—	—	—	0,002—0,003	—	—	—	—	—
Осока железная	»	0,03	—	0,0001—0,0002	—	<0,001	—	0,001	—	—	—	—	—
» маньчжурская	»	0,01	—	0,0005	—	<0,001	—	—	—	—	—	—	—
Кочедыжник	»	0,05	—	0,002	—	<0,001	—	0,001	—	0,001	—	0,01	—
Лабазник	»	0,03	—	0,0002—0,0008	—	—	—	<0,001—0,001	—	—	—	—	—
Бальзамин	»	<0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Чистотел	»	—	—	0,0002	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Чина	»	—	—	—	<0,0001	—	—	—	—	—	—	—	—
Чубушник	Ветви с листьями	0,1	—	0,0001	—	0,001	—	0,01	—	0,002	—	—	—
Шиповник	То же	0,01	—	0,0002—0,001	—	0,0003	—	—	—	—	—	0,05	—
Леспедеца	Листья	—	—	<0,0001	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ветви	—	—	<0,0001	—	<0,001	—	—	0,01	—	—	—	—
Лещина	Листья	—	—	<0,0001—0,0003	<0,0001—0,0003	—	0,001	0,001—0,01	—	—	—	—	—
Малина	Ветви	—	—	0,0001	—	—	0,0001	<0,001	—	—	—	—	—
	Листья	0,02	—	0,0001—0,0005	—	—	—	0,01	—	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Лица	Листья	—	—	0,0001	0,0001— 0,0002	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ветви	—	—	<0,0001	<0,0001— 0,0004	—	—	—	—	—	—	—	—
	Кора	—	—	<0,0001	0,0001	<0,001	—	—	—	0,001	—	—	—
	Древесина	—	—	<0,0001— 0,0002	0,0001— 0,0003	<0,001 <0,001	0,0004— 0,003	<0,001— 0,001	—	—	—	—	—
Дуб	Листья	—	—	<0,0001	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ветви	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Кора	—	—	<0,0001— 0,0003	—	<0,001— 0,001	—	—	—	—	—	—	—
	Древесина	0,03	—	<0,0001	—	<0,001	—	—	0,001	0,0005	—	0,01	—
Бархат	Листья	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ветви	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Кора	—	—	0,0001	—	<0,001	—	—	—	—	—	—	—
	Древесина	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ильм	Листья	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ветви	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Кора	—	—	0,0001	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Древесина	—	—	0,0001	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Прочерк означает, что элемент не обнаружен.

Обработка результатов анализов показала, что над жилами пегматитов происходит усиленное поглощение основных химических элементов минерализации, о чем свидетельствуют коэффициенты биологического поглощения (КБП), вычисленные как отношение содержания элемента в растениях к его содержанию в иллювиальном горизонте бурых лесных почв. Из табл. 64 видно, что КБП резко повышается над жилами пегматитов для всех элементов. Особенно значительное увеличение (в 5—10 раз и более) характерно для наиболее распространенных и основных элементов пегматитов — лития и бериллия.

Рассмотрим особенности накопления элементов растениями.

Литий обнаружен в 12 видах растений, опробованных в пределах пегматитовой зоны. Содержание его при этом колеблется от 0,01% в золе бальзамина до 0,1% в золе чубушника. Определенной закономерности в распределении лития по органам растений не наблюдается. У чубушника и шиповника он накапливается в ветвях, а у малины — в листьях. У древесных пород этот элемент обнаружен только в золе дуба монгольского, где его содержание в древесине достигает 0,03%. Во всех видах растений, накапливающих литий, количество его примерно равно таковому в почвах на участке.

Источником лития в почвах на пегматито-

Содержание элементов в растениях над жилой пегматитов (т. н. 6), %

Растение	Li	Be	Ga	Zr	Sn	W
Лабазник	—	0,0008	—	—	—	—
Чистотел	—	0,0002	—	—	—	—
Польнь	—	0,0001	—	—	—	—
Горошек	—	0,0003	—	—	—	—
Орляк	0,01	0,0010	—	—	—	—
Вейник	0,01	0,0001	—	—	—	—
Осока маньчжурская	0,01	0,0005	<0,001	—	—	—
» железная	0,03	0,0002	<0,001	0,001	—	—
Шпорцветник	0,01	0,0010	<0,001	0,003	<0,001	—
Кочедыжник	0,05	0,0020	<0,001	0,001	0,001	0,01
Леспедеца	—	<0,0001	—	—	—	—
Шишовник	0,01	0,0010	<0,001	—	—	0,05
Малина	0,02	0,0005	—	0,010	—	—
Чубушник	0,10	0,0010	0,001	0,010	0,002	—
Ильм	—	0,0001	—	—	—	—
Дуб	—	0,0003	<0,001	—	—	—

вой зоне являются продукты разрушения преимущественно лепидолита, широко распространенного в жилах пегматитов. При гипергенном разрушении лепидолита литий выносится и рассеивается, чем, очевидно, и обусловлено, как указывалось выше, отсутствие значительных концентраций и относительно равномерное распределение этого элемента в бурых лесных почвах. Поэтому литогеохимические ореолы рассеяния лития мало контрастные, без ясно выраженных аномальных пиков. В отличие от них биогеохимические ореолы рассеяния характеризуются сильной интенсивностью и контрастностью. Биогеохимические аномалии лития в растениях очень четкие, одновершинные. Такие резкие аномалии, очевидно, обусловлены значительным содержанием лития в водных растворах в пределах зоны минерализации, которые благоприятствуют растениям в поглощении и концентрации этого элемента. В результате растениями четко фиксируется местоположение наиболее обогащенных литием участков под почвенным покровом (рис. 90). Концентраторами лития являются осока железная, лабазник, вейник и кочедыжник, накапливающие 0,03—0,05%. Максимальные концентрации, достигающие 0,1%, зафиксированы в ветвях чубушника. Содержание лития в этих основных растениях-концентракторах в 1,5—3 раза превышает почвенные концентрации и до 100 раз выше кларка в растениях (Малюга, 1963). О прямом влиянии высоких содержаний лития в коренных породах на его накопление растениями свидетельствуют КБП. Как указывалось выше, КБП растениями лития над пегматитами равны 2—4, а за их пределами они меньше единицы.

Бериллий обнаружен в 22 видах из 25 опробованных. Причем 19 видов растений накапливают его только в пределах жил пегматитов. У древесных пород бериллий концентрируется в древесине и коре, у большинства

Таблица 64

Коэффициенты биологического поглощения редких элементов на пегматитовой зоне

Место отбора	Li	Be	Ga	Zr	Sn	W
В 60 м выше пегматитовой жилы (т. н. 1)	<0,43	<0,1	<0,33	<0,10	<0,10	Не обн.
Над пегматитовой жилой (т. н. 6)	1—2 до 4,0	0,5—1,0	0,33	0,33	0,66	3—16

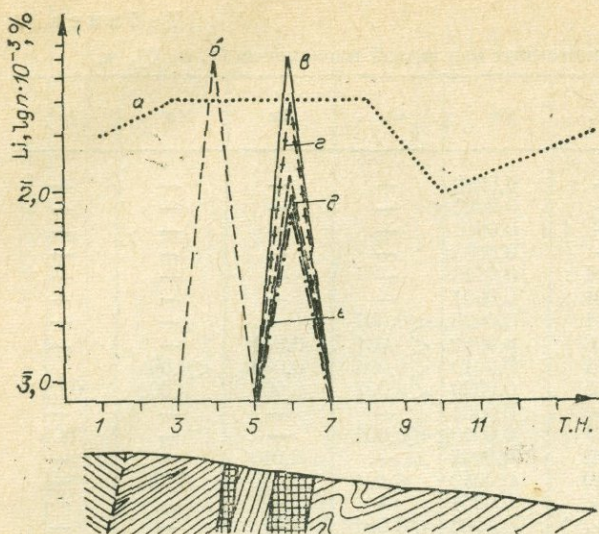


Рис. 90. Распределение лития в почвах и растениях по профилю вкрест простираия пегматитовой зоны. Кривые содержания: а — в почвах; б — в вейнике; в — в кочедыжнике; г — в осике железной; д — в орляке; е — в шпорцетнике.

почвенными (рис. 91). В жилах пегматитов основным минералом бериллия является берилл. Кроме того, бериллий, очевидно, довольно широко распространен во вмещающих породах в качестве акцессорного элемента, в частности в мусковите, биотите и полевых шпатах. Все эти минералы главным образом характерны для жил пегматитов, поэтому естественно, что биогеохимические аномалии бериллия четко фиксируют зону минерализации. Коэффициент биологического поглощения элемента за пределами пегматитов меньше единицы, а в основных растениях-концентраторах над жилами пегматитов он увеличивается в 5—10 раз. Бериллий в зоне гипергенеза, вероятно, менее подвижен, чем литий, о чем свидетельствует изменение отношения Li : Be от 100 : 1 в коренных породах до

кустарников — в ветвях, а у малины он обнаружен только в листьях. Количество бериллия в растениях невысокое и в большинстве видов растений оно ниже, чем в почвах, что, очевидно, обусловлено незначительным содержанием его в коренных породах. Концентраторами бериллия является орляк, шпорцетник, кочедыжник и шиповник, накапливающие его в количествах, примерно равных почвенным (0,001—0,002%). Несмотря на довольно низкое содержание этого элемента в растениях, над жилами пегматитов образуются биогеохимические ореолы рассеяния, характеризующиеся четкими интенсивными и контрастными аномалиями по сравнению с

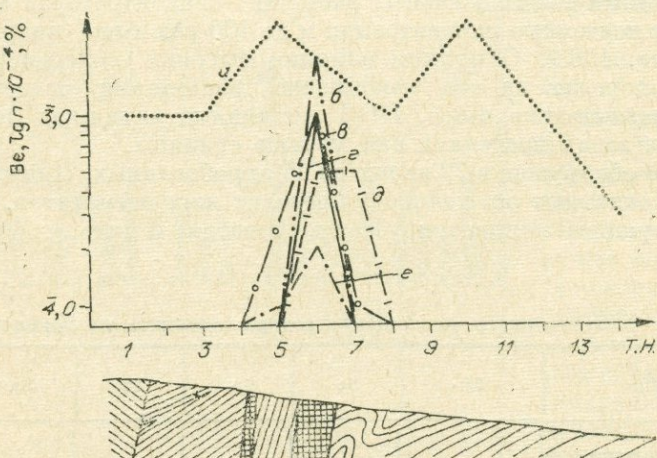


Рис. 91. Распределение бериллия в почвах и растениях. Кривые содержания: а — в почвах; б — в осике железной; в — в осике маньчжурской; г — в орляке; д — в полыни; е — в шпорцетнике.

14 : 1 в почвах над жилой пегматитов. Интересно отметить, что в большинстве растений, накапливающих литий и бериллий, отношения содержания этих металлов друг к другу близки к величине отношения, характерной для почв, в то время как отношения Li : Be в основных растениях-концентраторах лития — вейшике и осоке железной равны соответственно 100 : 1 и 150 : 1, что близко к отношению в коренных породах. Это свидетельствует о том, что растения поглощают элементы, в частности литий, в основном из коренных пород или вод, циркулирующих в этих породах.

Галлий обнаружен в 11 видах растений, причем в 9 из них он накапливается только над жилами пегматитов, что дает основание считать его косвенным элементом-индикатором пегматитовой минерализации. По данным И. И. Гинзбурга и др. (1966), галлий является изоморфной примесью в ленидолите, мусковите, полевых шпатах и биотите. Все эти минералы широко представлены в рассматриваемых пегматитах, и, возможно, что при гипергенном разложении происходит вынос галлия и образование подвижных его форм, благоприятных для накопления растениями. Содержание галлия в растениях, в общем, незначительное и в большинстве видов не превышает 0,001%. У древесных пород он накапливается в коре и древесине, а у кустарников — в ветвях. Эта закономерность несколько нарушается у лещины, где максимальные концентрации обнаружены в листьях. Основными растениями-концентраторами галлия являются шпорочветник, чубушник, лещина, дуб монгольский и липа амурская. Содержание его в этих видах составляет 0,001—0,003%. Коэффициент биологического поглощения галлия в них, в общем, невысокий — не превышает единицы и равен 0,33. Так же, как для лития и бериллия, над пегматитами КВП выше, чем за их пределами. Несмотря на довольно низкую степень концентрации галлия растениями, четкое накопление его именно в пределах пегматитовых жил, очевидно, имеет значение для биогеохимической индикации пегматитов. Это хорошо видно на рис. 92, на котором биогеохимические ореолы рассеяния галлия характеризуются достаточно высокой контрастностью и интенсивностью. Литогеохимические ореолы рассеяния этого элемента в отличие от биогеохимических значительно менее контрастны, что, вероятно, объясняется широким рассеянием его во вмещающих пегматиты породах.

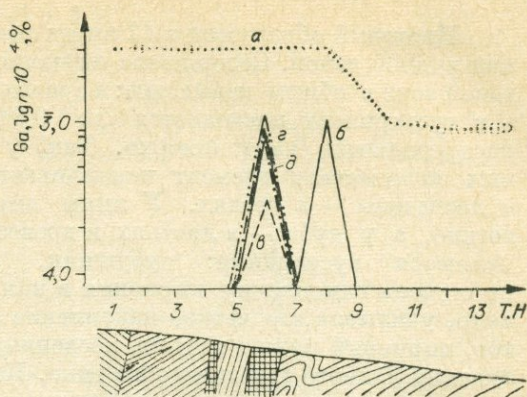


Рис. 92. Распределение галлия в почвах и растениях.

Кривые содержания: а — в почвах; б — в шпорочветнике; в — в шпироветнике; г — в чубушнике; д — в осоке железной.

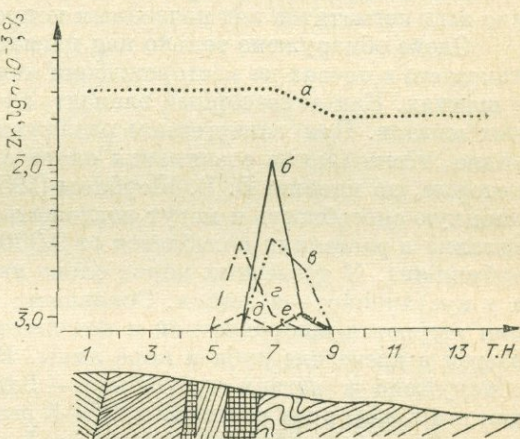


Рис. 93. Распределение циркония в почвах и растениях.

Кривые содержания: а — в почвах; б — в лещине; в — в полыни; г — в шпироветнике; д — в осоке железной; е — в лабазнике.

Цирконий обнаружен в 12 видах растений, причем в 10 из них только над рудной зоной. Содержание циркония в растениях на данной пегматитовой зоне в общем невысокое: в травах и деревьях не превышает 0,003%, а в кустарниках повышается до 0,01%. По органам растений он распределяется неравномерно. Так, у лещины и малины в максимальных количествах элемент накапливается в листьях, а у чубушника и леспедецы — в ветвях. У липы цирконий обнаружен только в древесине, а у дуба — в листьях и древесине. Основными концентраторами являются кустарники: чубушник, леспедеца, лещина и малина, по степени накопления циркония в них в 3 раза ниже, чем в почвах. Однако, учитывая его четкое накопление в растениях над жилами пегматитов, цирконий можно считать косвенным элементом-индикатором минерализации данного генетического типа. Коэффициент биологического поглощения циркония в растениях над жилами пегматитов более чем в 3 раза выше по сравнению с таковым за их пределами, т. е. на кварцево-сланцевых сланцах. Графики распределения данного элемента в почвах и растениях по профилю (рис. 93) показывают, что по сравнению с мало выразительными литогеохимическими ореолами в пределах биогеохимических ореолов выделяются контрастные аномалии, четко фиксирующие положение жил пегматитов под почвенным покровом.

Олово обнаружено только над пегматитами в 5 видах растений. Источником его в почвах на месторождении является касситерит, установленный в шлихах. Как акцессорный элемент олово входит в состав слюд и полевых шпатов. При гипергенном разложении касситерита образуются, очевидно, комплексные соединения олова с органическим веществом почвы, которые, по мнению В. В. Щербины (1956), приобретают большую миграционную способность и могут поглощаться растениями. Содержание этого металла в растениях колеблется от 0,0005% в золе дуба до 0,002% в золе чубушника. У древесных пород олово накапливается в коре и древесине, а у кустарников — в ветвях. Основными концентраторами на месторождении являются шпороцветник и кочедыжник. Кроме того, олово накапливается в древесине дуба и коре липы. В максимальных количествах оно обнаружено в ветвях чубушника — 0,002%. Однако степень концентрации его в золе этих растений в 1,5—3 раза ниже, чем в почвах, что объясняется довольно слабой миграционной способностью этого металла в составе касситерита. Приведенные на рис. 94 графики распределения элемента в почвах и растениях по профилю показывают, что как литогеохимические, так и биогеохимические аномалии являются надрудными и обладают значительной контрастностью. Это позволяет считать и литогеохимический, и биогеохимический методы одинаково равноценными при поисках редкометалльных пегматитов по элементу-индикатору — олову. Коэффициент биологического поглощения олова над пегматитами увеличивается более чем в 6 раз по сравнению с неминерализованными участками.

Вольфрам так же, как и олово, обнаруживается в растениях только над пегматитами. Источником вольфрама в бурых лесных почвах на участке является в основном шеелит, установленный в шлихах. При разрушении шеелита в зоне гипергенеза в первую очередь выносятся кальций, оставшиеся продукты выветривания, например трехокись вольфрама с органическим веществом почв, в частности с гуминовыми кислотами, образует хорошо подвижные комплексные соединения (К. И. Лукашев, В. К. Лукашев, 1967), которые благоприятствуют поглощению вольфрама растениями. Содержание вольфрама в растениях значительное и равно 0,01—0,05%. Обращает на себя внимание довольно высокая степень концентрации вольфрама в растениях над пегматитами относительно кларка в осадочных породах (0,0002%), достигающая 50—250 единиц. В то же время в почвах степень концентрации не превышает 15 единиц. В условиях пегматитовой минерализации происходит усиленное поглощение вольфрама

растениями по сравнению с его содержанием в почвах, о чем свидетельствуют коэффициенты биологического поглощения, наиболее высокие по сравнению со всеми остальными элементами (см. табл. 64). Приведенные на рис. 95 графики распределения вольфрама в почвах и растениях свидетельствуют о значительно большей контрастности биогеохимических аномалий, нежели литогеохимических.

Таким образом, результаты биогеохимического опробования показывают, что в растениях на пегматитовой зоне, особенно в пределах жил пегматитов, накапливаются такие редкие элементы, как литий, бериллий, галлий, цирконий, олово и вольфрам, являющиеся несомненно элементами-индикаторами пегматитовой минерализации.

С целью сравнения особенностей накопления химических элементов растениями как над пегматитами, так и за их пределами на основании значений КБП (см. табл. 64) были построены ряды биологического поглощения с учетом биогенных элементов — молибдена, марганца, меди, никеля, бария. За пределами пегматитов ряд биологического поглощения следующий: $Mo \gg Ba > Mn > Cu > Ni > Li > Ga > Be > Sn > Zr > W$; над пегматитами таков: $Mo > W > Cu > Li > Mn > Ba > Be > Sn > Zr \gg Ga > Ni$.

Как видно, ряды биологического поглощения значительно отличаются. Если за пределами пегматитов в первую очередь растения поглощают необходимые им жизненно важные биогенные элементы, то над пегматитами они вынуждены энергично поглощать, кроме биогенных, и малоподвижные «небиогенные» металлы вследствие их повышенного содержания в субстрате. Наиболее высокие величины КБП характерны для элементов, представленных в пегматитовой зоне собственными минералами; для металлов, не имеющих собственных минералов, например для галлия, значения КБП низкие.

Все перечисленные выше редкие элементы, накапливаясь в растениях, создают биогеохимические ореолы рассеяния с четко выделяющимися в их пределах надрудными или незначительно смещенными аномалиями. В отличие от них, литогеохимические ореолы рассеяния для большинства

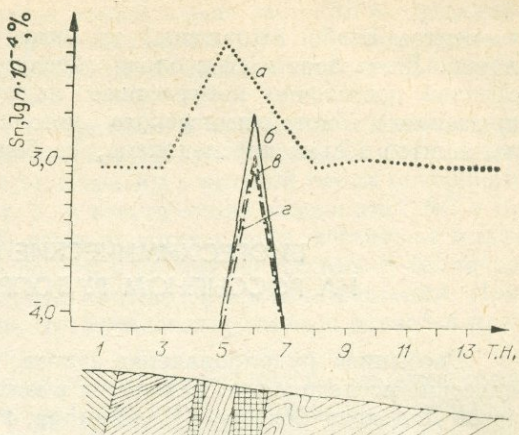


Рис. 94. Распределение олова в почвах и растениях.

Кривые содержания: а — в почвах; б — в шиповнике; в — в кочедыжнике; г — в шпорцветнике.

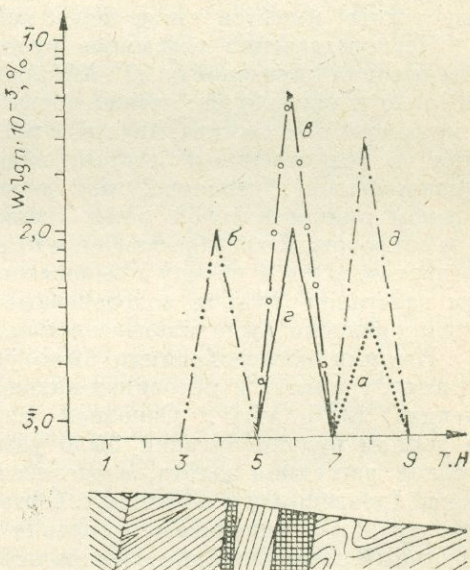


Рис. 95. Распределение вольфрама в почвах и растениях.

Кривые содержания: а — в почвах; б — в дубе; в — в шиповнике; г — в кочедыжнике; д — в шпорцветнике.

элементов слабо выражены, мало контрастны, без четких аномальных пиков. Лишь бериллий и олово образуют в пределах литогеохимических ореолов достаточно контрастные надрудные аномалии. Следовательно, применение биогеохимического метода при поисках редкометалльных пегматитов весьма перспективно, особенно на стадии детальных поисков.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА РОССЫПНОМ РУДОПРОЯВЛЕНИИ ЗОЛОТА

Россыпное рудопроявление золота, на котором выполнены биогеохимические исследования, находится в южнотаежной подзоне зоны хвойных лесов Дальнего Востока (Колесников, 1969). Основной фон лесной растительности района работ составляют еловые леса (ель аянская) с пихтой белокорой. При этом на выположенных склонах и в долинах рек часто развиты папоротниковые ельники, а на более крутых склонах — ельники-зеленомошники. В составе древостоя встречаются лиственница даурская, береза Эрмана (каменная) и осина. Из кустарников характерен багульник крупнолистный, реже ольха. В травяном покрове преобладает лесное разнотравье, имеются также дерн канадский, вейник Лангсдорфа и др.

Непосредственно россыпное рудопроявление золота расположено на склоне сопки крутизной до 20°. Абсолютные отметки сопки достигают 400 м. На сопке развиты бурые лесные почвы преимущественно легкого и среднего механического состава, кислые с рН, равным 6,0—6,4 (водная вытяжка). Судя по вещественному составу элювиально-делювиальных отложений, рудопроявление, вероятно, приурочено к гидротермально измененным породам приконтактной зоны гранитов и роговиков. Приконтактная зона сопровождалась образованием кварцевых жил и измененных гранитов, превратившихся в породу зеленоватого цвета типа березита (?). В коренном залегании рудные золотоносные жилы не обнаружены, россыпное рудопроявление было найдено с помощью шлихового метода.

Нашими исследованиями было установлено, что содержание золота в чистых гранитах и роговиках находится за пределами чувствительности анализа (0,01 г/т)*. Основной задачей выполненных исследований на данном рудопроявлении было установление соотношения экзогенных ореолов рассеяния золота, в частности биогеохимических, литогеохимических (почвенных) и шлиховых. С этой целью вдоль склона сопки вкрест простирания предполагаемого ореола рассеяния золота был заложен магистральный почвенно-биогеохимический профиль длиной 800 м, на котором через 20 м в точках наблюдения отбирались биогеохимические пробы из растений (деревья, кустарники, травы), а также литогеохимические и шлиховые пробы из генетических горизонтов почвенных разрезов.

Содержание золота в золе растений, опробованных по профилю в пределах ореола, колеблется от 0,05 до 1,4 г/т. Наибольшие концентрации этого металла отмечаются в хвойных деревьях, в пихте белокорой (кора) — до 1,2 г/т, в ели аянской (хвоя) — до 1,4 г/т, в лиственнице даурской (кора) — до 1,2 г/т. В органах лиственных деревьев (листья, ветви), в частности березы Эрмана и осины, золото обнаружено в несколько меньших количествах — до 0,50—0,60 г/т. В кустарниках, например, в листьях багульника крупнолистного золота отмечено в количестве 0,25 г/т. В травянистых растениях (вейнике Лангсдорфа) концентрации золота

* Определение золота в горных породах, почвах и растениях было проведено высокочувствительным анализом в химико-аналитической лаборатории Закарпатской геологической экспедиции (г. Берегово, Закарпатская обл.).

достигают 0,90 г/т. Среднее содержание золота в золе растений в пределах ореола рассеяния, по данным 18 проб, составляет 0,64 г/т. Вне ореола рассеяния содержание золота в растениях ниже предела чувствительности анализа.

В литогеохимических пробах, отобранных в шурфах по генетическим горизонтам почв, содержание золота колеблется от 0,05 до 0,60 г/т, причем наибольшие величины (0,35—0,60 г/т) отмечены в нижней части почвенной толщи на глубинах 100—140 см, т. е. в генетических горизонтах ВС и С. В верхнем гумусовом горизонте A_1 концентрации золота достигают лишь 0,05—0,07 г/т. Среднее содержание золота в почвах по данным 8 анализов составляет 0,24 г/т, т. е. почти в 3 раза меньше, чем в золе растений. При этом так же, как и в растениях, золото установлено лишь в почвах в пределах ореола рассеяния.

Обнаружено золото и в шлиховых пробах из различных генетических горизонтов почв. Минералогическое изучение шлихов показало, что золото представлено зернами размером от $0,05 \times 0,1$ до $0,6 \times 1,0$ мм, пластинчатыми со сквозными округлыми отверстиями, комковидными, комковидно-уплощенными с оттянутыми пальцеобразными отростками, а также октаэдрическими, крючковидными и брусковидными. Поверхность зерен в большинстве случаев неровная, тонкопористая, ямчатая. Неровности зерен заполнены тонким глинисто-слистистым и железистым материалом, а также вростками кварца. Цвет зерен золотисто-желтый, блеск сильный металлический. Содержание золота в шлихах на 8 кг породы колеблется от единичных до 28 знаков, причем преобладают преимущественно мелкие зерна; по вертикальному разрезу в шлихах из верхних горизонтов почв отмечается больше зерен золота, чем в нижних почвенных горизонтах, т. е. наблюдается постепенное уменьшение количества знаков этого металла от верхних и средних горизонтов почв к нижним. Следовательно, распределение золота по вертикальному разрезу почв на основании шлихов противоположное данным литогеохимии. Эти особенности распределения свидетельствуют о том, что в нижних горизонтах почв преобладает тонкодисперсное золото, слабо улавливаемое в шлихах и образующее, вероятно, кроме механических, еще и солевые ореолы рассеяния, в то время как в верхних почвенных горизонтах преобладают механические ореолы.

Сравнивая биогеохимические, литогеохимические и шлиховые ореолы рассеяния золота по магистральному профилю, следует отметить, что по всем этим данным эпицентр небогатой золотой залежи в составе делювиальных отложений фиксируется достаточно четко. Однако при этом в золе растений установлены наибольшие концентрации золота. Поэтому биогеохимические аномалии как поисковый критерий россыпных рудопроявлений золота наиболее существенны. По сравнению с литогеохимическими и шлиховыми они более контрастны, менее смещены от эпицентра золотоносной залежи и дают возможность фиксировать мелкодисперсное золото, слабо улавливаемое шлиховым методом. На основании этого можно сделать вывод о том, что биогеохимический метод имеет широкие перспективы как его автономного применения, так и в комплексе с другими методами для поисков золота в условиях хвойных лесов Дальнего Востока.

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ

Как известно, растения в процессе жизнедеятельности поглощают из почв и подстилающих пород различное количество минеральных веществ, в том числе и микроэлементов. Причем в зависимости от вида растения, его возраста и фаз вегетации потребляется неодинаковое количество элементов. По мнению некоторых исследователей, весной растения ассимилируют большинство элементов в повышенных количествах. Так, например, Х. Е. Хокс и Дж. С. Уэбб (1964, с. 368) пишут, что «весной, в период активного роста растения, содержание минеральных веществ в нем повышается, а затем по мере его созревания постепенно уменьшается».

Л. И. Грабовская и Е. Д. Астрахан (1963) пришли к тому же выводу при изучении древесных пород. Накопление химических элементов весной они объясняют тем, что растения пробуждаются после состояния относительного покоя и начинают интенсивно поглощать питательные вещества из почв и подстилающих пород.

В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина (1964) установили, что одни элементы накапливаются в растениях в начале вегетации, а другие — в конце.

Работами Биогеохимической лаборатории АН СССР (Малюга, 1963) было выявлено, что к осени содержание некоторых элементов, в частности никеля, кобальта и меди, увеличивается по сравнению с весенним сбором в 2—3 раза. Однако, несмотря на известное неодинаковое содержание элементов в различные сезоны года, Д. П. Малюга (1963) считает, что биогеохимические методы поисков руд можно проводить в любое время года.

Таким образом, мнения различных исследователей о накоплении элементов растениями в течение года значительно расходятся. Между тем выяснение этого вопроса имеет большое практическое значение, т. е. для рационального применения биогеохимического метода поисков. С этой целью выполнены опытно-методические работы на одном из оловорудных месторождений Дальнего Востока для установления изменения содержания микроэлементов в зависимости от сроков отбора проб.

Исследования проводились в осенний и весенний периоды. После обработки данных спектральных анализов растительных проб осеннего сбора выяснилось, что некоторые виды растений, такие, например, как береза ребристая, малина сахалинская, осоки, являются концентраторами большинства элементов рудной зоны: олова, свинца, меди, цинка и др.

Аномальные количества этих элементов в золе растений над рудной зоной достигают значительных величин. Так, содержание олова в золе осок достигает 0,1—0,3%, цинка и свинца в золе березы соответственно

2—3 и 0,2%. Степень концентрации олова, цинка и свинца в золе этих растений в 10—100 раз больше фонового в почвах на месторождении и в 200—300 раз выше фонового в растениях.

Для выяснения сезонного изменения содержания элементов в растениях весной следующего года было проведено повторное опробование. Были опробованы те растения, которые по результатам осенних сборов являются концентраторами элементов рудной зоны. Отбирались в основном вегетирующие органы: листья, хвоя, ветви и побеги.

Сопоставление результатов анализов по весеннему и осеннему сборам показало, что содержание элементов в золе растений сильно изменилось. Это отчетливо видно при сравнении местных геохимических фонов элементов в растениях из табл. 65. Элементарный состав золы растений, отобранных весной, значительно беднее осенних сборов. Так, весной растения совершенно не накапливают (или содержание элемента находится в количествах ниже предела чувствительности анализа) олово, бериллий и хром. В большинстве проб фоновое содержание ванадия, марганца, серебра и свинца осенью в растениях выше, чем весной. Цинк и молибден обнаружены примерно в тех же количествах, и лишь фоновые содержания меди и никеля более чем в 2 раза превышают фоновые содержания в осенних образцах. Весной в максимальных количествах в растениях накапливается марганец, никель, медь, цинк. При этом максимальное количество меди в малине сахалинской в 20 раз, а цинка в березе ребристой в 3—5 раз ниже осеннего. Аномальное содержание никеля и марганца примерно равно осеннему. Биогеохимические аномалии всех этих элементов весной нечеткие, в осенний же период контрастность их очень резкая.

Встречаемость проб с максимальным содержанием осенью значительно выше, чем весной. Так, осенью число проб с аномальным содержанием цинка составило 63%, а весной лишь 18%, меди соответственно 48 и 22%.

Сравнение величин КБП (табл. 66) свидетельствует о том, что растения осенью поглощают элементы из почв и подстилающих пород с большей интенсивностью. Ряды биологического поглощения, составленные по данным табл. 66, выглядят следующим образом (элементы расположены по убывающей энергии биологического поглощения). Осень: $Zn > Cu > Mo > Sn > Pb > Ni > Ag > Mn > Be > V > Cr$. Весна: $Zn > Ni > Mn > Pb > Cu > Mo > Ag > V$.

При сопоставлении этих рядов выясняется, что молибден, цинк, медь, олово и свинец (т. е. преимущественно элементы рудной зоны) наиболее интенсивно накапливаются осенью. Весной в первую очередь накапливаются наиболее подвижные элементы, такие как цинк, никель, марганец, свинец, а олово, хром и бериллий даже не захватываются растениями. Очевидно, элементы, накапливаемые весной, являются жизненно важными элементами питания в начале вегетационного периода. Это хорошо согласуется с данными В. Стайлса (1949) и М. Я. Школьника (1950), которые отмечают, что цинк, марганец, медь и молибден необходимы растениям — они участвуют в окислительно-восстановительных реакциях при процессах ассимиляции и диссимиляции, входят в состав ферментов и витаминов, ускоряют рост и развитие растений. Никель и свинец в малых количествах являются стимуляторами роста и развития растений, а в больших количествах оказывают отрицательное действие (Школьник, 1950).

Таким образом, приведенные сведения показывают, что растения в процессе вегетации поглощают из почвы разное количество элементов, причем максимальные их концентрации отмечаются осенью, в конце периода вегетации. В летний период поглощение микроэлементов растениями имеет в среднем промежуточное значение, т. е. в растениях наблюдаются и биогенные, и небиогенные микроэлементы, но содержание их ниже, чем весной и осенью. В целом опыт биогеохимических исследований показывает, что на Дальнем Востоке в начальный период вегетации, т. е.

Местный геохимический фон элементов в растениях, %

Растение	Be	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Mo	Ag	Sn	Pb
Осоки	<u>0,0001*</u> —	<u>0,001</u> —	<u>0,003</u> —	<u>0,1</u> <u>0,04</u>	<u>0,0001</u> <u><0,001—0,002</u>	<u>0,002</u> <u>0,005—0,008</u>	<u>0,03</u> <u>0,1</u>	<u>0,0001</u> <u>0,0003</u>	<u><0,0001</u> <u><0,0001—0,0001</u>	<u><0,001</u> —	<u>0,001</u> —
Рябинолистник	<u><0,0001</u> —	<u><0,001</u> <u>0,001</u>	— —	<u>0,1</u> <u>0,08</u>	<u>0,0003</u> <u><0,001</u>	<u>0,003</u> <u>0,005—0,008</u>	<u>0,1</u> <u>0,1</u>	<u>0,0001</u> <u>0,0001</u>	<u>0,0001</u> —	<u><0,001</u> —	<u>0,001</u> —
Вейник	— —	<u><0,001</u> —	— —	<u>0,3</u> <u>0,1</u>	<u>0,0001</u> <u>0,001</u>	<u>0,001</u> <u>0,005</u>	<u>0,03</u> <u>0,03</u>	<u>0,0001</u> <u>0,0001</u>	— <u>0,0001</u>	<u>0,001</u> —	<u>0,001</u> <u><0,001</u>
Малина	<u>0,0001</u> —	<u><0,001</u> <u>0,001</u>	<u>0,001</u> —	<u>0,1</u> <u>0,1</u>	<u>0,0001</u> <u><0,001</u>	<u>0,003</u> <u>0,008</u>	<u>0,03</u> <u>0,03</u>	<u>0,0001</u> <u>0,0001</u>	<u>0,0001</u> <u>0,0001</u>	<u><0,001</u> —	<u>0,001</u> <u><0,001</u>
Бузина	— —	<u>0,001</u> <u>0,001</u>	— —	<u>0,08</u> <u>0,05</u>	<u>0,0001</u> <u><0,001</u>	<u>0,003</u> <u>0,005—0,008</u>	<u>0,03</u> <u>0,03</u>	<u>0,0001</u> <u>0,0001</u>	<u>0,0001</u> <u>0,0001</u>	— —	<u>0,001</u> —
Ива	<u>0,0003</u> —	— <u><0,001</u>	— —	<u>0,03</u> <u>0,05</u>	<u><0,001</u> <u><0,001</u>	<u>0,006</u> <u>0,008</u>	<u>0,3</u> <u>0,3</u>	— —	<u>0,0001</u> —	<u><0,001</u> —	<u>0,003</u> <u><0,001</u>
Папоротник	— —	— —	— —	<u>0,05</u> <u>0,01</u>	<u>0,0001</u> <u><0,001</u>	<u>0,001</u> <u>0,006</u>	<u>0,01</u> <u>0,01</u>	<u>0,0001</u> <u>0,0001</u>	— —	<u>0,001</u> —	<u>0,001</u> —
Актинидия	— —	— —	<u>0,001</u> —	<u>0,05</u> <u>0,04</u>	<u>0,0001</u> <u>0,001</u>	<u>0,006</u> <u>0,008</u>	<u>0,03</u> <u><0,01</u>	<u>0,0001</u> <u>0,0001</u>	<u>0,0001</u> —	<u><0,001</u> —	<u>0,001</u> <u><0,001</u>
Береза	<u>0,0001</u> —	<u><0,001</u> —	<u>0,001</u> —	<u>0,3</u> <u>0,3</u>	<u>0,0001</u> <u>0,002</u>	<u>0,003</u> <u>0,008</u>	<u>0,1</u> <u>0,2</u>	<u>0,0001</u> —	<u>0,0001</u> <u><0,0001</u>	<u><0,001</u> —	<u>0,001</u> <u><0,001</u>
Аралия	— —	<u><0,001</u> <u><0,001</u>	<u>0,001</u> —	<u>0,1</u> <u>0,05</u>	<u>0,0003</u> <u><0,001</u>	<u>0,01</u> <u>0,008</u>	<u>0,03</u> <u>0,03</u>	<u>0,0001</u> <u>0,0001</u>	<u>0,0001</u> —	<u><0,001</u> —	<u>0,001</u> —
Элеутерококк	— —	— —	— —	<u>0,08</u> <u>0,05</u>	<u>0,0001</u> —	<u>0,001</u> <u>0,006</u>	<u>0,02</u> —	— —	— —	<u><0,001</u> —	— —
Бархат	— —	— —	— —	<u>0,005</u> <u>0,05</u>	<u><0,001</u> <u>0,001</u>	<u>0,002</u> <u>0,008</u>	<u>0,01</u> <u>0,1</u>	<u>0,0001</u> <u>0,0001</u>	<u>0,0001</u> —	<u><0,001</u> —	<u>0,001</u> <u><0,001</u>
Кедр	— —	<u><0,001</u> —	— —	<u>0,05</u> <u>0,08</u>	<u>0,0001</u> <u>0,001</u>	<u>0,002</u> <u>0,004</u>	<u>0,06</u> <u>0,03</u>	— —	<u>0,0001</u> —	<u><0,001</u> —	<u>0,001</u> —

*Числитель — по данным проб, отобранных осенью, знаменатель — то же, весной. Прочерк означает, что элемент не обнаружен.

Изменение коэффициентов биологического поглощения элементов растениями в зависимости от сроков отбора проб

Элемент	Содержание в почвах, %	Весна		Осень	
		содержание элемента в растениях, %	КБП	содержание элемента в растениях, %	КБП
Be	0,003	Не обн.	—	0,001	0,3
V	0,050	0,001	0,02	0,010	0,2
Cr	0,030	Не обн.	—	0,003	0,1
Mn	0,600	0,800	1,30	0,700	1,1
Ni	0,003	0,006	2,00	0,006	2,0
Cu	0,010	0,010	1,00	0,200	20
Zn	0,030	0,600	20	3,000	100
Mo	<0,001	0,0003	~1,00	0,010	>10
Ag	<0,001	0,0001	~1,00	0,001	>1,0
Sn	0,060	Не обн.	—	0,300	5,0
Pb	0,008	0,010	1,20	0,020	2,5

весной, в растениях, как правило, в наибольшем количестве накапливаются биогенные микроэлементы — марганец, молибден, медь, цинк, никель и др., т. е. геохимически наиболее подвижные в зоне гипергенеза. К концу вегетационного периода, т. е. осенью, в растениях в наибольшем количестве содержатся геохимически менее подвижные и даже инертные в зоне гипергенеза микроэлементы — олово, цирконий, хром, бериллий, вольфрам и др., биохимическая роль которых в растениях пока неясна. На основании этого, по-видимому, можно предполагать, что биогеохимические поиски месторождений в условиях Дальнего Востока предпочтительнее проводить в летне-осенний период, что с большей достоверностью позволит интерпретировать результаты биогеохимической индикации. Приведенные материалы полностью подтверждают данные С. М. Ткалчча (1959б, с. 22) о том, что «наиболее благоприятными временами года для отбора биогеохимических проб являются лето и осень». Эти материалы не противоречат выводам Б. Ф. Мицкевича (1962), П. А. Удодова и Н. М. Шварцевой (1969), А. В. Николаевой (1969) и многих других исследователей, установивших, что к осени содержание микроэлементов в растениях увеличивается.

Следует отметить, что полученные нами результаты согласуются с материалами Р. С. Климовой и др. (1960 г.), которые считают, что лучшим сроком биогеохимического опробования в условиях Дальнего Востока является летне-осенний период, т. е. время наиболее стабильного содержания микроэлементов и в почвах, и в растениях. В этот период в растениях отмечается большее число микроэлементов с их повышенным содержанием, но в травах (надземная часть) наибольшая концентрация элементов отмечается летом. На основании этих данных, указанные исследователи рекомендуют опробовать у древесных растений и кустарников весной ветви с листьями или почками, осенью — ветви, а в летний период — травы (надземная часть).

Нам представляется, что биогеохимические поиски на территории Дальнего Востока можно проводить в течение всего вегетационного периода (и даже зимой), но только дифференцированно, исходя из искомого типа предполагаемой минерализации, содержащей определенные металлы. В случае, когда биогеохимические поиски тех или иных руд по срокам не совсем оптимальны, получающиеся биогеохимические аномалии необходимо интерпретировать с учетом элементов-индикаторов оруденения. Например, при биогеохимических поисках полиметаллических руд (медь, цинк, свинец) в течение всего года биогеохимические аномалии интерпретировать нужно не только по основным металлам оруденения, но и по серебру — аксессуарному элементу в рудах, являющемуся четким

биогеохимическим индикатором полиметаллической минерализации, что подтверждается выводами С. М. Ткалича (1970).

Следует согласиться с мнением Л. И. Грабовской и Е. Д. Астрахан (1963), что в целом колебания в содержании редких элементов в зависимости от времени года и фаз развития растений незначительны, и в ряде случаев находятся в пределах чувствительности спектрального анализа, поэтому биогеохимическое опробование можно проводить в течение всего вегетационного периода, но только в сжатые сроки применительно к тому или иному участку биогеохимических поисков.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ (ДОЖДЕЙ) НА СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ

Как полагают С. М. Ткалич (1959б, 1970), В. В. Поликарпочкин (1969б) и В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина (1964), дождевые осадки оказывают влияние на содержание химических элементов в растениях в двух направлениях. Во-первых, они непосредственно вымывают (выщелачивают) химические элементы из органов (частей) растений. Во-вторых, имеет место косвенное их воздействие на поступление в растения металлов (катионов) через корневую систему вследствие разбавления почвенных растворов атмосферной нейтральной водой и изменения рН почвенной среды. При биогеохимическом опробовании интерес представляет изучение непосредственного воздействия атмосферных осадков на выщелачивание химических элементов из растений, поскольку от этого зависят погодные сроки и время отбора растительных проб.

По данным Н. А. Максимова (1952), наибольшее выщелачивание химических элементов, и особенно калия, из листьев растений производят обильные дожди, и общая потеря зольных веществ может достигать 40%.

Р. Х. Айдинян (1959) установил, что из старого листового опада дуба, клена и березы, пролежавшего на земле менее года, интенсивно выщелачиваются литий, рубидий и цезий.

Согласно данным Г. В. Уоррена и др. (1954), содержание железа и марганца в пихте подвержено влиянию атмосферных осадков.

С. М. Ткалич (1959б) считает влияние дождевых вод на содержание металлов в растениях несомненным. Например, как показал этот автор, содержание железа в золе листьев картофеля до дождя было 1,6%, а после суточного проливного дождя оно упало до 1,0%.

Экспериментальными исследованиями установлен заметный вынос химических элементов из растений дождевыми водами — до 20—50% их исходного количества (Н. В. Tukey, Н. Н. Tukey, 1962).

По данным В. В. Поликарпочкина и Р. Т. Поликарпочкиной (1964), в дождевой воде, прошедшей через крону деревьев, произрастающих на полиметаллических месторождениях, всегда обнаруживается цинк до 40—60 мкг/л при полном отсутствии его в чистой дождевой воде. В водных вытяжках из свежих веток и листьев деревьев с зоны оруденения содержание цинка после 3—4 часов настаивания достигало 20—30 мкг/л, а после суточного — 100—150 мкг/л. На основании этих расчетов видно, что количество цинка, выщелачиваемое из растений дождем в течение года, примерно равно или даже превышает содержание этого металла в растениях. Логично предположить, что после дождя растения восстанавливают необходимое им количество цинка за счет содержания его в почвах и почвообразующих породах. В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина (1964) полагают, что все химические элементы в разной степени способны выщелачиваться из растений, даже малоподвижные, такие как кальций.

Б. А. Колотов и др. (1965) выполнили специальные экспериментальные работы по вымыванию металлов искусственным дождеванием из листьев дуба, произрастающего на разных месторождениях. В воде,

прошедшей через кроны дуба, они обнаружили тяжелые металлы, определенные дитизином: от 10—100 до 1000 мкг/л на полиметаллическом месторождении, 15—20 мкг/л на медном и до 2 мкг/л на оловянном. Оказалось, что наибольшие содержания тяжелых металлов отмечаются в водах, промывших крону деревьев, произрастающих непосредственно над рудными телами.

Н. В. Мина (1965) установил, что дождевыми осадками из крон деревьев выщелачивается до 10 раз больше кальция, магния, калия и аммиачного азота, чем из лесной подстилки.

По данным А. Л. Ковалевского и Г. Д. Чимитдоржиевой (1968), в дождевой воде, прошедшей через крону деревьев, содержание химических элементов может достигать такого количества, которое характерно для минерализации подземных вод, и даже приближаться к содержанию в рудничных водах. Атмосферные осадки, прошедшие через полог растительности, как правило, имеют кислый характер ($\text{pH}=3,7-6,0$), в то время как pH обычных дождевых вод составляет 5,1—6,8 (Свиридова, 1960; Михайленко, 1966). Кислотность таких вод, стекающих по стволам деревьев, даже достигает значений pH , равных 2,6—5,0, с общей минерализацией до 100—350 мкг/л. Так, например, по данным А. Л. Ковалевского и Г. Д. Чимитдоржиевой (1968), концентрация цинка в водах, прошедших через кроны деревьев, достигает 40—60 мкг/л, а в поверхностных водах — 5—10 мкг/л. Указанных исследователей это натолкнуло на мысль, что увеличение содержания цинка в поверхностных водах во время и после дождя полностью или частично обусловлено вымыванием подвижного цинка из растений, а не только выщелачиванием его из почв и почвообразующих пород.

Весьма интересные наблюдения по вымыванию химических элементов дождевыми водами в условиях Тувы сделал Е. П. Захаров (1969а). Им было проведено опробование деревьев разного возраста с четырех сторон на различной высоте — от 0 до 2 м по стволу от поверхности. Оказалось, что распределение рудных компонентов по высоте деревьев одинаковое, а по странам света различное; причем наибольшая разница была установлена после многодневных дождей. Вследствие того, что дождь имел косое падение, обусловленное господствующими ветрами северо-западного направления, то с этой стороны деревьев имело место интенсивное выщелачивание химических элементов, в то время как с юго-восточной стороны деревьев вымывания металлов не отмечалось. Наибольшее выщелачивание химических элементов характерно для хвои и листьев, наименьшее — для ветвей, коры и древесины. Поэтому при биогеохимических поисках в указанном районе Е. П. Захаров (1969а) рекомендует отбирать в пробу сухие или сырые ветки с юго-восточной стороны деревьев, и не следует опробовать молодые побеги с хвоей и листьями. При слабом развитии кроны можно использовать для этой цели внешнюю часть коры деревьев.

Таким образом, литературные материалы свидетельствуют о том, что повсеместно дождевые осадки вымывают из растений химические элементы. Касаясь механизма этого природного явления, Р. А. Мекленбург и др. (Mecklenburg e. a., 1966) полагают, что главным фактором здесь выступает выщелачивание элементов из внутренних клеток, например, листьев вследствие диффузии. Подчиненное значение имеет смывание и растворение микроколичеств минеральных солей, накопившихся в кутикуле и на поверхности листьев в сухую погоду при гуттации и экскреции в ходе жизнедеятельности растений.

С целью определения влияния муссонных дождей на выщелачивание редких и рассеянных химических элементов из древесных и кустарниковых растений, а также трав нами были выполнены опытные режимные работы, т. е. изучение динамики содержания химических элементов в растениях до и после муссонных дождей. Необходимость постановки этих наблюдений обуславливалась тем обстоятельством, что в литературе поч-

Динамика содержания химических элементов в растениях до дождя (1)

Растение	Be		Mo		Ti		Ni	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Дуб монгольский								
листья	0,0003	0,0003	0,0003	0,0001	0,030	0,02	0,002	0,004
ветви	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,030	0,03	0,003	0,004
кора	0,0002	—	0,0001	0,0001	0,020	0,01	0,001	0,030
древесина	0,0002	0,0001	0,0003	0,0001	0,050	0,05	0,040	0,040
Береза даурская								
листья	0,0002	0,0001	0,0002	0,0001	0,020	0,08	0,020	0,003
ветви	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,200	0,08	0,005	0,003
кора	0,0002	0,0001	0,0001	—	0,500	0,02	0,003	0,050
древесина	0,0002	0,0001	0,0001	—	0,020	0,10	0,030	<0,001
Рододендрон амурский								
листья	0,0001	—	0,0004	0,0002	0,060	0,08	0,050	0,020
ветви	0,0002	0,0001	0,0003	0,0002	0,100	0,20	0,010	0,050
Леспедеца двуцветная								
листья	0,0002	0,0001	0,0005	0,0005	0,020	0,02	0,003	0,010
Орляк	—	—	0,0005	0,0003	0,020	0,02	0,005	0,020
Вика	0,0003	0,0001	0,0007	0,0003	0,080	0,08	0,005	0,030
Пижма нителистная	0,0005	<0,0001	0,0003	0,0001	0,060	0,08	0,008	0,002
Клевер луговой	0,0005	0,0004	0,0003	0,0002	0,060	0,02	0,008	0,005
Ломонос шестилественный	He опр.	0,0002	He опр.	0,0003	He опр.	0,08	He опр.	0,010
Польнь Гмелина	0,0001	—	0,0003	0,0002	0,100	0,08	0,003	0,005
» узколистая	0,0001	0,0001	0,0003	0,0003	0,030	0,10	0,005	0,001
Спидиопогон	0,0001	—	0,0003	0,0003	0,050	0,05	0,008	0,003
Купена	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,050	0,05	0,010	0,003
Лук	—	—	0,0002	0,0003	0,030	0,01	0,010	0,040
Очиток	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,050	0,02	0,008	0,001
Келерия	—	—	0,0005	0,0002	0,020	0,05	0,010	0,008
Ясенец	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,030	0,03	0,001	0,001
Лилейник	0,0002	0,0001	0,0003	0,0003	0,050	0,30	0,030	0,010
Лилия	0,0002	0,0001	0,0003	0,0005	0,100	0,10	0,050	0,020
Бубенчик	0,0002	0,0001	0,0005	0,0003	0,020	0,02	0,003	0,001
Чемерица	0,0004	0,0005	0,0005	0,0002	0,050	0,20	0,003	0,010
Ломонос маньчжурский	0,0001	0,0001	0,0005	0,0003	0,040	0,10	0,010	0,010
Кровохлебка аптечная	—	0,0001	0,0005	0,0003	0,005	0,02	<0,001	0,001
Антрактилодес	0,0003	0,0001	0,0005	0,0002	0,060	0,08	0,004	0,001
Ландыш	0,0004	—	0,0001	0,0005	0,030	0,05	0,010	0,008

Примечание. Прочерк означает, что элемент не обнаружен.

ти нет сведений о влиянии дождей на содержание в растениях редких элементов, например, бериллия. Кроме того, отсутствуют также данные об особенностях вымывания микроэлементов из травянистых растений (Ковалевский, Чимитдоржиева, 1968).

Режимные наблюдения выполнены на участке грейзенизированных гранитов с бериллиевой минерализацией. Первый этап биогеохимического опробования проведен 18 июня в сухую солнечную погоду, которой предшествовал 12-дневный бездождевой период. Деревья и кустарники опробованы по органам (листья, ветви, кора, древесина), из трав отобрана надземная часть. Всего было опробовано 25 видов растений: деревья — дуб монгольский и береза даурская, кустарники — рододендрон амурский и леспедеца двуцветная и 21 вид травянистых растений. Второй этап биогеохимических исследований проведен 21 июня после интенсивного ливневого муссонного дождя (количество осадков от 30 до 40 мм), выпавшего 20 июня. Биогеохимические пробы были отобраны из тех же растений в тех же точках наблюдения. Обе партии проб подверглись спектральному анализу, результаты которого приведены в табл. 67.

Сравнение содержания бериллия в растениях до и после дождя показывает, что этот элемент вымывается дождевыми осадками в значитель-

Таблица 67

и после дождя (2) на зоне грейзенизированных гранитов, %

Растение	Pb		Cu		Zn		Ba		Sr		Mn	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Дуб монгольский	0,030	—	He опр.	0,020	0,030	—	0,03	0,02	0,08	0,05	~1,00	~1,00
ветви	0,030	0,080	»	0,100	—	0,08	0,05	0,03	0,30	0,05	~1,00	~1,00
кора	0,010	—	»	0,005	—	—	0,03	0,01	0,30	0,03	~2,00	0,50
древесина	0,020	0,010	»	0,030	0,040	0,01	0,02	0,02	0,30	0,30	0,10	0,50
Береза даурская												
листья	0,001	—	0,05	0,010	0,050	—	0,05	0,03	0,20	0,10	0,50	0,50
ветви	0,001	—	0,01	0,005	0,050	—	0,05	0,03	0,30	0,08	0,30	0,20
кора	—	—	0,01	0,020	—	0,03	0,08	0,20	0,30	0,20	0,10	0,20
древесина	0,005	—	~1,00	0,005	0,001	—	0,10	0,40	0,08	0,10	0,30	0,08
Рододендрон амурский												
листья	0,001	0,020	0,05	0,030	0,300	0,02	0,08	0,03	0,10	0,10	0,50	0,40
ветви	0,001	0,030	0,05	0,100	0,030	0,30	0,05	0,05	0,08	0,30	~1,00	~1,00
Леспедеца двуцветная												
листья	—	—	0,005	0,080	0,010	—	0,03	0,02	0,08	0,10	0,40	0,30
Орляк	0,001	—	0,010	0,020	0,080	0,08	0,10	0,05	0,08	0,20	0,08	0,08
Вика	—	—	0,005	0,030	—	—	0,03	0,01	0,10	0,10	0,20	0,20
Пижма нителистная	—	—	0,050	0,003	—	—	0,01	<0,01	0,10	0,05	0,10	0,05
Клевер луговой	—	—	0,05	0,010	—	—	0,10	0,03	0,20	0,10	0,20	0,08
Ломонос шестилественный	He опр.	—	He опр.	0,010	He опр.	—	He опр.	0,03	He опр.	0,1	He опр.	0,08
Польнь Гмелина	0,003	—	»	0,020	—	—	0,01	<0,01	0,08	0,05	0,10	0,20
» узколистая	0,020	—	»	0,010	—	—	0,01	0,01	0,08	0,10	0,20	0,20
Спидиопогон	0,100	—	»	0,008	0,080	—	0,02	<0,01	0,03	0,05	0,20	0,10
Купена	0,020	0,001	»	0,005	0,030	0,01	0,03	0,02	0,10	0,10	0,10	0,06
Лук	0,030	—	»	0,003	—	—	0,02	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Очиток	0,030	—	»	0,003	—	—	0,03	0,01	0,08	0,05	0,05	0,06
Келерия	0,300	0,100	»	0,100	0,050	0,10	0,01	0,02	0,01	0,03	0,30	0,20
Ясенец	0,003	—	»	0,005	—	—	0,01	0,01	0,05	0,10	0,04	0,03
Лилейник	0,050	—	»	0,010	0,050	0,03	0,02	0,02	0,08	0,10	0,10	0,10
Лилия	0,080	—	»	0,010	0,030	—	0,02	0,02	0,10	0,08	0,05	0,08
Бубенчик	—	—	0,010	0,005	0,010	0,03	0,03	0,01	0,05	0,05	0,10	0,08
Чемерица	—	—	0,003	0,005	—	—	0,01	0,02	0,05	0,20	0,04	0,05
Ломонос маньчжурский	—	—	0,010	0,030	—	—	0,01	0,02	0,10	0,08	0,10	0,20
Кровохлебка аптечная	—	0,001	0,010	0,008	0,020	0,02	0,08	0,03	0,05	0,30	0,30	0,08
Антрактилодес	—	—	0,010	0,005	—	—	0,01	0,01	0,08	0,10	0,05	0,08
Ландыш	—	—	0,010	0,008	—	—	0,05	0,02	0,20	0,10	0,08	0,05

ных количествах как из древесных и кустарниковых растений и их органов, так и трав. Например, после дождя бериллий не обнаружен в коре дуба монгольского, в листьях рододендрона амурского, в орляке, польни Гмелина, спидиопогоне и ландыше. Стабильным оказалось содержание бериллия в листьях дуба, что, может быть, свидетельствует о значительном закреплении этого металла в листовом аппарате названного растения. Вполне вероятно, что эта стабилизация имеет относительный характер и обусловлена двумя факторами: 1) наименьшей подвижностью бериллия в листьях данного растения; 2) относительным «накоплением» бериллия за счет интенсивного выноса других более подвижных химических элементов из листьев дуба. Во всех остальных растениях и их органах бериллий, как правило, содержится в меньших количествах по сравнению с первой партией проб — от 1,5 до 5 раз. Например, в пижме нителистной бериллия до дождя было 0,0005%, а после дождя < 0,0001%, т. е. уменьшилось более чем в 5 раз. Интересно отметить, что у некоторых травянистых растений, в частности у чемерицы и кровохлебки, содержание элемента после дождя оказалось на 0,0001% больше, чем до дождя, что, вероятно, объясняется «вторичным» накоплением его на поверхности этих растений, вымытого дождем из верхнего полога растительного покрова,

особенно из деревьев, кустарников и подроста. Было вычислено среднее содержание бериллия всех опробованных растений и их органов до и после дождя. Оказалось, что эта величина в пробах первой партии равна 0,00028%, второй — 0,00014%. Следовательно, можно утверждать, что сразу после интенсивного дождя (на вторые сутки) содержание бериллия в растениях уменьшается в среднем в 2 раза, что свидетельствует о высокой степени выщелачивания этого элемента атмосферными (дождевыми) осадками.

Молибден также обнаруживает четко выраженную тенденцию вымываться из растений дождевыми водами. Но по сравнению с бериллием содержание его в растениях до и после дождя выражено менее резко, что, видимо, связано с быстрым поступлением молибдена — наиболее характерного биогенного элемента, из почв для восстановления его запасов в количествах, необходимых для нормальной жизнедеятельности растений. Этот тезис подкрепляется тем положением, что в 9 из опробованных видов растений содержание молибдена до и после дождя одинаково. Следовательно, менее чем за сутки растения способны пополнить запасы молибдена, вымытого дождевыми осадками. Несколько увеличилось содержание молибдена после дождя в некоторых травянистых растениях, в частности в лилии и ландыше, что вряд ли объясняется биохимическими причинами. Скорее всего, это поверхностное «заражение» травянистых растений молибденом, вымытым из кроен деревьев и кустарников.

Титан, хотя и относится к числу наиболее геохимически инертных химических элементов, также обнаруживает незначительную биогеохимическую подвижность в растениях, связанную с действием дождевых осадков. Уменьшение его содержания в растениях после дождя отмечено только в 7 видах и их органах, в 9 видах содержание не изменилось, а в 12 видах обнаружено несколько больше титана (от 1,5 до 5 раз), чем до дождя, но это увеличение относительное и обусловлено большей степенью выноса дождевыми осадками других элементов, более подвижных, чем титан. Однако в целом титан также выщелачивается дождями, но слабее других микроэлементов.

Никель обнаруживает интересную биогеохимическую особенность: в деревьях и кустарниках после дождя содержание его несколько повышено по сравнению с преддождевым периодом. Учитывая биогенность никеля, можно предполагать, что он интенсивно поглощается из почв деревьями и кустарниками при благоприятных условиях, наступающих во время дождя (оптимальное значение рН почв, большая подвижность никеля во влажных почвах и т. д.). В травянистых видах содержание никеля, как правило, меньше после дождя, т. е. травы не успевают пополнить запасы никеля в течение суток, вероятно, вследствие менее развитой корневой системы, не выходящей практически за пределы верхнего гумусированного горизонта почв.

Свинец наиболее заметно вымывается из растений дождевыми водами. При достаточно высоком его содержании в растениях до дождя (0,01—0,1%) в этих же растениях после дождя свинец не обнаружен, так как находится за пределами чувствительности анализа. Следует отметить повышенное содержание свинца после дождя в листьях и ветвях рододендрона амурского, превышающее в 20—30 раз количество этого металла в названном растении до дождя. Вероятно, атмосферные осадки, проникая в почву, благоприятствуют поглощению свинца корнями рододендрона вследствие изменения физико-химических параметров почвенной среды.

Медь и **цинк** определялись не во всех видах растений, в частности медь, и обнаружены в них с низкой встречаемостью, особенно цинк. Поэтому делать какие-либо достоверные заключения не представляется возможным. Однако обращает на себя внимание заметное выщелачивание цинка из листьев древесных и кустарниковых растений.

Барий, стронций, марганец характеризуются 100%-ной встречаемостью в растениях до и после дождя и также склонны вымываться атмосферными осадками. Как правило, почти во всех видах растений содержание этих элементов меньше после дождя — от 1,5 до 3 раз. Некоторое незначительное повышение содержания бария, стронция и марганца в растениях, особенно в травах, после дождя следует объяснять вторичным «заражением» трав этими элементами, вымытыми из древесно-кустарничкового полога.

Таким образом, можно утверждать, что интенсивные дожди способны выщелачивать из деревьев, кустарников и трав редкие рассеянные химические элементы, как биогенные (молибден, марганец, никель, медь, цинк, стронций и др.), так и те, биогенность которых пока неясна (бериллий, титан, свинец и др.). Следовательно, биогеохимическое опробование в дождливую неустойчивую погоду или непосредственно после прекращения интенсивных муссонных дождей неблагоприятно и может привести к несопоставимым результатам биогеохимических поисков. Эти выводы полностью согласуются с данными С. М. Ткалича (1959б) по изучению им динамики содержания химических элементов в растениях в зависимости от атмосферных осадков.

ВОЗМОЖНОСТЬ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ СУХОСТОЯ

В пределах лесной зоны Дальнего Востока встречаются территории, где широко развит сухостой вследствие пожаров и других антропогенных факторов. Весьма часто сухостой образуется на заболоченных равнинных участках — марях, особенно с прогрессирующим процессом заболачивания, что приводит к отмиранию древостоя, состоящего из лиственницы даурской, ели аянской, пихты белокорой, ольхи и других древесных и кустарничковых растений. Опыт показывает, что в ряде случаев на профиле биогеохимического опробования в отдельных точках наблюдения присутствуют только сухостойные деревья с хорошо развитой корневой системой, которые приходится опробовать за неимением вегетирующих древесных видов. Следовательно, изучение особенностей содержания микроэлементов в сухостое имеет важное практическое значение при проведении биогеохимических поисков. Между тем этот вопрос не разработан и в специальной литературе, и в инструкциях по биогеохимическому методу поисков, т. е. в наиболее доступных для геологов-поисковиков источниках, насколько нам известно, сведений по указанной тематике нет (Ткалич, 1959б, 1970; Малюга, 1963; Грабовская, Астрахан, 1963; Сауков, 1963; Поликарпочкин, Поликорпочкина, 1964; Хокс и Уэбб, 1964; Инструкция по геохимическим методам поисков..., 1965; Гинзбург и др., 1966; Сафронов, 1967, 1968).

В связи с этим при проведении биогеохимических исследований на некоторых участках, там, где это было возможно, одновременно с живыми растениями опробовался и сухостой. В табл. 68 приведены данные наибольшего содержания серебра, олова и молибдена в органах сухих и живых древесных растений, опробованных в пределах двух оловянно-полиметаллических зон оруденения (участок Нижний и месторождение Комсомольского рудного узла.)

Серебро, как видно из табл. 68, содержится в сухостое, особенно в его частях даже больше, чем в живых растениях. Так, например, количество серебра в хвое сушины (ели аянской достигает 0,005%, а в хвое живого дерева содержание серебра находится в пределах геохимического фона (0,0001%), т. е. в хвое сухой ели содержание указанного металла в 50 раз больше, чем в хвое вегетирующей ели. Следовательно, можно

Наибольшие содержания микроэлементов в сухостое (1) и живых древесных растениях (2) на участках рудной минерализации, %

Растение	Хвоя		Ветви		Кора		Древесина	
	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Серебро</i>								
Ель аянская . . .	0,0050	0,0001	0,0003	0,0003	0,0010	0,0003	0,0010	0,0010
Пихта белокорая .	Не опр.	0,0001	Не опр.	0,0005	0,0003	0,0005	0,0003	0,0030
Кедр корейский . .	»	<0,0001	»	0,0010	0,0001	0,0006	0,0010	0,0010
<i>Олово</i>								
Ель аянская . . .	0,0010	0,0010	0,003	0,0100	0,0030	0,0010	0,0020	0,0100
<i>Молибден</i>								
Ель аянская . . .	0,0003	0,0001	Не опр.	0,0003	0,0003	0,0003	0,0010	0,0003

сделать вывод о том, что сухая хвоя вследствие испарения из нее влаги представляет собой как бы аналог растительной пробы, уже подвергшейся обогащению, подобному «озолению»; поэтому после настоящего озоления в ней произошло обогащение в 50 раз по сравнению с хвоей живого растения. Содержания серебра в ветвях и древесине сухой и живой ели одинаковы и соответственно равны 0,0003 и 0,001%, что от 3 до 10 раз выше фона. Несколько меньше серебра в коре и древесине сушины пихты белокорой по сравнению с живым видом, но и эти содержания в 3 раза выше фона. В сухом и живом кедре корейском содержания серебра в древесине одинаковы — 0,001%, что в 10 раз выше фона в растениях. Следовательно, серебро является четким биогеохимическим индикатором полиметаллических и оловянно-полиметаллических зон минерализации по содержанию его не только в живых хвойных деревьях (как указывалось выше), но и в сухостое, представленном хвойными видами.

Олово содержится в хвое сухой и вегетирующей ели аянской в одинаковом количестве — 0,001% (в пределах фона). В коре сухой ели содержание этого металла равно 0,003%, что в 3 раза больше, чем в коре живой ели, где оно не превышает значения фона — 0,001%. Правда, в ветвях и древесине вегетирующей ели содержание олова больше, чем в сухом дереве, но надо иметь в виду, что эти виды опробованы в разных точках наблюдения: вегетирующий вид ели над эпицентром рудного тела, а сушина — только лишь в пределах экзогенного ореола рассеяния.

Молибден как биогенный элемент, с одной стороны, и геохимически подвижный — с другой, обнаруживает даже склонность накапливаться в сухостое ели аянской по сравнению с вегетирующим видом. Наибольшее содержание его в хвое сушины ели равно 0,0003%, а в живой хвое только 0,0001%. В коре содержание молибдена одинаково — 0,0003%, а в древесине сухого олового дерева содержание этого металла достигает 0,001%, что в 3 раза больше, чем в живой ели, и в 10 раз больше местного геохимического фона (0,0001%).

Таким образом, приведенные материалы свидетельствуют о том, что содержание микроэлементов (как биогенных, так и небигенных) в сухостое иногда даже выше, чем в живых древесных растениях, т. е. имеет место обогащение металлами сухостоя, развитого в пределах рудной зоны. Этот природный процесс относительного накопления при высыхании деревьев аналогичен искусственному озолению проб живых растений для обогащения золы тяжелыми рудными элементами. Поэтому биогеохимическое опробование сухостоя, представленного древесными видами, в частности хвойными, может дать положительные результаты при выявлении биогеохимических аномалий.

По-видимому, необходима постановка широких методических биогеохимических исследований по установлению особенностей содержания микроэлементов в сухих растениях — в деревьях, кустарниках, травах и их органах в пределах различных ландшафтных зон нашей страны.

НЕКОТОРЫЕ ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Как известно, ботанические индикаторы, фиксирующие руды и вмещающие их комплексы пород, составляют основу геоботанического метода поисков (Несветайлова, 1955а, б, 1960, 1962, 1965, 1968, 1970; Викторова, 1957; Востокова, 1957; Гинзбург, 1957; Ткалич, 1938, 1952, 1953, 1960, 1970; Жбанова, 1962; Григорян, 1971; Roddar, 1965; Brooks, 1968а; Cole e. a. 1968; Douglas, 1968; и др.). Согласно классификации биогеохимических методов поисков В. В. Поликарпочкина и Р. Т. Поликарпочкиной (1964), геоботанический метод входит в группу биологических методов, занимая в ней равноправное место наряду с микробиологическим (бактериальным) методом. По С. М. Ткаличу (1970), среди индикаторных растений наибольшее значение имеют прямые положительные индикаторы, в составе которых выделяются: 1) универсальные; 2) локальные (местные); 3) характерные фитоценозы; 4) тератологические и другие изменения растений; 5) угнетение и отсутствие растительного покрова. Из перечисленных групп геоботанических индикаторов несомненно наибольшая роль в обнажении зон минерализации принадлежит тератологическим изменениям растений, особенно при использовании их в комплексе с собственно биогеохимическим методом. Тератологические или симптоматические индикаторы возникают вследствие морфологических, анатомических, физиологических и других изменений в растениях под влиянием повышенного или недостаточного содержания тех или иных химических элементов и минеральных солей в почвах и почвообразующих породах. Наиболее часто у растений возникают изменения, связанные с увеличением или уменьшением их органов и в целом всего растения, появление патологических уродливых форм, карликовость или гигантизм всего растения или отдельных его органов, изменение естественного цвета листьев, ветвей, стеблей и цветков, преждевременное отмирание всего растения или его некоторых органов (например, раннее пожелтение листьев), появление усложненных форм органов растений, а также все другие отклонения от нормального развития этих же видов в обычных экологических условиях. В ряде случаев на участках с повышенным содержанием в субстрате того или иного химического элемента растительный покров разрежен или вообще отсутствует, особенно древесно-кустарниковый ярус. Так, на участках с высоким содержанием бора и хрома в растительном покрове появляются «прогалдины». По таким пятнам в США установлены месторождения хрома. Под влиянием повышенного содержания металлов в почвах у растений изменяется окраска цветков. Медь, например, вызывает появление синих и голубых оттенков, никель обесцвечивает цветки, марганец придает им красную и розовую окраску (Сауков, 1963).

Часто вследствие высокого содержания металлов в почвах и почвообразующих породах растения изменяются морфологически (Cannon, 1960). Так, в результате повышенного содержания бериллия в почве у молодых сосен вместо обычных образуются уродливые метелкообразные ветви. Повышенное содержание алюминия вызывает укорочение корней у растений, скручивание и пятнистость листьев. Бор обуславливает образование темной листвы, скручивание листьев по краям; под влиянием этого элемента задерживается рост растений, образуются деформированные укороченные междоузлия, возникают ползучие формы с сильной опу-

шенностью, происходит усиленное галлообразование (патологические наросты на молодых частях растений). При повышенном содержании хрома появляются желтые листья с зелеными прогалинами, кобальта — белые омертвевшие пятна на листьях, никеля — безлепестные бесплодные формы растений. Медь часто вызывает образование омертвевших пятен на кончиках листьев, появление хлорозных (пожелтевших) листьев с зелеными прожилками, а также задержание роста корней и возникновение у некоторых видов растений ползучих бесплодных форм. Если под влиянием повышенного содержания железа верхушки растений задерживаются в росте и утолщаются корни, то повышенные количества марганца вызывают образование хлорозных листьев, скрученных и сухих участков по их краям, наблюдается деформация листовой пластинки и поражение стеблей и черешков. Цинк, кроме появления хлорозных листьев с зелеными прожилками, приводит к отмиранию кончиков листьев и задержанию роста корней. На почвах, обогащенных ураном и торием, отмечаются глубокие изменения в облике растений с нарушением пропорций органов, возникают гигантские или карликовые виды, а также безлепестные бесплодные формы растений с собранными в розетку листьями.

Д. П. Малюга (1963) указывает на изменение формы черных пятен на лепестках мака спутанного (*Papaver commutatum*) вследствие повышенного содержания в почвах меди и молибдена (Каджаранское месторождение, Армения).

Е. П. Захаров (1969ж) наблюдал патологические изменения караганника (*Caragana pigmaea*), произрастающего на участках кобальтовых и кобальтово-медных зон минерализаций. Эти изменения заключаются в появлении линзообразных и бочкообразных вздутых паренхимной ткани, отчего караганник становится кривым и уродливым. У другого растения — кизильника (*Cotoneaster*) появляется гигантизм, выраженный в аномальном развитии листовой пластинки, диаметра и высоты ствола, а также ветвей в 2—5 раз больше по сравнению с органами нормальных видов. Вблизи арсенидных кобальтовых и сульфоарсенидных кобальтово-медных руд наблюдается ненормальное развитие лиственниц и берез — неоднократно появляются шишки и семянные сережки (2—4 раза) за летний период (Захарова, Захаров, 1969а). Имеются также линзообразные вздутия паренхимной ткани и у берез. Наросты бывают таких размеров, что под действием собственного веса они опущены вниз. Длина их достигает 0,5—0,7 м, толщина 10—15 см.

Явление хлороза у растений, или пожелтение листьев, может служить геоботаническим признаком на руду. Известно, что никель, медь, кобальт, хром, цинк и марганец являются антагонистами железа в процессе метаболизма растений. Повышенное количество этих металлов в почвах ведет к увеличению их содержания в растениях при недостатке железа, необходимого для образования хлорофилла, вследствие чего листья обесцвечиваются (Хокс и Уэбб, 1964).

Интересные тератологические изменения у растений установлены К. И. Жбановой и Э. Ф. Жбановым (1966б). Так, на свинцово-цинковом рудопроявлении они отметили необычайно обильное кущение у стивении (*Stevenia cheiranthoides*), нарушение точки роста основного стебля и изменение формы соцветия у подмаренника (*Galium verum*), нарушение точки роста боковых побегов с образованием мутовчатых пучков листьев на болезненно вздутых концах побегов у полыни монгольской (*Artemisia mongolica*), изменение окраски венчика у мака (*Papaver nudicaule*), выражающееся в появлении крапин ржаво-бурого цвета, возникновение хлороза древесной растительности — пожелтение хвои у лиственницы, листьев у березы и преждевременный их опад. На рудометальном рудопроявлении с бериллием, ниобием, танталом, торием и ураном почти у всех видов, произрастающих непосредственно над рудными телами, этими исследователями наблюдалось патологическое явление — гигантизм. Он

хорошо выражен в развитии листовой пластинки у березы, ольхи, багульника, рябинолистника, которая в 2—4 раза больше обычной. Причем это отмечалось у растений, распространенных на участках редкометальной минерализации с преобладанием родоновой активности. На таких же участках, но с преобладанием тороновой активности происходило обратное явление, т. е. уменьшение листовой пластинки, в частности, у берез в 2—4 раза.

По данным М. Ф. Кузина (1959), для некоторых видов осины (*Populus tremula*), произрастающих на почвах с высоким содержанием редких земель и тория, также характерен гигантизм: диаметр стволов этих деревьев достигает 70 см, а ширина листьев — до 30 см.

Как отмечают С. В. Викторов и Е. А. Востокова (1961), в Южной Фергане у полыни (*Artemisia* sp.), растущей на почвах с высоким содержанием железа, для листьев характерен ярко-желтый цвет.

В некоторых случаях, например на полиметаллических месторождениях Польши, кора сосен, произрастающих на выходах рудных тел, покрыта пятнами ржавого цвета (*Bobrowski, Piechota, 1953*).

С. М. Ткалич (1970) отмечает, что в Восточном Саяне на зонах оруденения древесина взрослых видов березы (*Betula verrucosa*) и осины (*Populus tremula*) имеет неестественный зеленый цвет, причем в золе ее обнаружено много бария и стронция. По наблюдениям этого же исследователя, конские бобы (*Vicia faba*), растущие на породах с повышенным содержанием меди или цинка, цветут с запозданием по сравнению с обычными растениями, а некоторые травянистые виды, растущие на сильно засоленных почвах (например, солями меди), по сравнению с другими видами имеют небольшой рост и угнетенный вид.

По данным М. М. Сторожевой (1954), на месторождениях силикатного никеля Южного Урала у анемоны (*Pulsatilla patens*) синяя окраска лепестков окологветника переходит в белую.

Как показывают наблюдения П. З. Литвина и др. (1963), отмирание отдельных частей и целых органов растений, распространенных на участках с избыточным содержанием химических элементов в почвах, весьма обычное явление, наиболее часто выражающееся в раннем пожелтении (хлорозе) листьев или хвои и их преждевременном опадении, особенно у растений, растущих непосредственно на зонах минерализации и рудных телах.

Весьма интересные тератологические индикаторы установили И. А. Авессаломова и Л. И. Грабовская (1968). Над рудными телами редкометальных месторождений и на прилегающей к ним территории в радиусе 500 м ими отмечалась устойчивая голубая окраска листьев березы и хвои сосны. Причем распределение «голубых» берез и сосен совпадает с контурами биогеохимических ореолов бериллия, цинка и других элементов. Кроме того, установлено наличие корреляционной зависимости интенсивности окраски от содержания в растениях бериллия и цинка.

Материалы Л. И. Грабовской, Г. А. Кузьминой и Л. Н. Павловой (1965 г.) свидетельствуют о том, что на участках танталоносных циннвальдит-топазовых грейзенов отмечается раннее пожелтение и осыпание листьев деревьев. Такое природное явление эти исследователи объясняют увеличением концентрации редких и рассеянных химических элементов — лития, рубидия, тантала, ниобия, бериллия, олова и фтора в породах и в почвах в количествах, во много раз превышающих их кларковые содержания. Особенное значение в хлорозе растений здесь имеет повышенное количество в почвах фтора в результате разрушения слюд, топаза и флюорита. Как известно, большие концентрации этого элемента в субстрате ядовиты для растений (Грабовская, 1968). В этих же условиях у травянистых растений (полыни рассеченная и обыкновенная и прострел) изменяется окраска листьев до темно-зеленой, что, вероятно, связано с повышенным содержанием в почвах бериллия, который, по данным М. Я. Школьника (1950), оказывает на растения действия, аналогичные бору.

На участке литионит-амазонит-альбитовых апогранитов с редкометальной минерализацией у некоторых растений отмечаются отклонения от их нормального роста и развития, выражающиеся в раннем пожелтении листьев деревьев, в заболевании коры березы и осины, в угнетенном (слабом) развитии корневой системы, вследствие чего деревья становятся неустойчивыми, падают от ветра и легко выкорчевываются. Л. И. Грабовская и др. (1965 г.) связывают это с повышенным содержанием в почвах лития, рубидия и других редких элементов.

На участке мусковит-альбитовых апогранитов с минералами бериллия Л. И. Грабовской и др. (1965 г.) замечено угнетение в развитии трав, распространенных непосредственно над рудными телами. Травы низкорослые, плохо облиственные, травостой редкий. Весьма характерны для них нарушения в циклах развития. Они поздно цветут, семена их не успевают вызреть за вегетационный период, в то время как эти же виды трав вне зоны оруденения проходят полный цикл развития. Задержка в цикле развития трав в пределах оруденения зависит, вероятно, от высокого содержания в почвах бериллия, ниобия, молибдена.

В условиях Дальнего Востока также имеются тератологические изменения у растений, распространенных в пределах зон оруденения. Так, по данным Л. И. Грабовской и Е. Д. Астрахан (1963), на зоне редкометальной минерализации полынь холодная, полынь Гмелина и лапчатка бесстебельная часто имели чуждую им белую или сизую окраску стеблей и листьев, которые были покрыты плесневидным налетом. В золе полыни холодной и лапчатки бесстебельной обнаружены сотни доли процента лития при содержании его в почвах в пределах десятых долей процента. В золе полыни Гмелина с характерной (аномальной) белой окраской стеблей и листьев содержался ниобий (0,005—0,01%). Весьма интересно, что при повышенном содержании в почве бериллия, иттрия и иттербия у горчицета амурского и лапчатки пияжмолистной увеличивалась плотность листьев и изменялся характер опушения. На гидротермальном оловянно-бериллиевом месторождении в пределах рудного поля и в 150 м вокруг него Л. И. Грабовская и Е. Д. Астрахан (1963) наблюдали суховершинность раkitника и появление на многих видах кустарников ржавых пятен, по внешнему виду напоминающих ожоги. По материалам Е. Д. Астрахан, Л. И. Грабовской и др. (1960 г.), в этих же экологических условиях у некоторых растений, например у раkitника, характерна плохая облиственность, а у леспедецы двуцветной задерживалось распускание почек. Дуб монгольский имеет удлиненные верхушечные побеги (до 25—40 см), не свойственные для этого растения в обычных условиях. В ряде случаев у древесных растений (дуб, береза и др.) листья крупные — в 3—4 раза больше нормальных, а высота этих деревьев, растущих над рудной зоной, на 1,5—2 м больше, чем высота таких же деревьев вне оруденения. Увеличение листовых пластинок и высоты деревьев, т. е. проявление признаков гигантизма, скорей всего связано с повышенным количеством в почвах редких элементов, и в частности аксессуарного урана.

При биогеохимических исследованиях на зоне грейзенизированных гранитов с бериллиевой минерализацией с наличием топаза, флюорита и аксессуарных ортита, монацита, ксенотима и торита нами также наблюдалось раннее пожелтение листьев деревьев непосредственно на участках редкометальной минерализации, вероятно, из-за повышенного содержания в почвах фтора. Это согласуется с мнением Л. И. Грабовской (1968) о токсических свойствах названного элемента по отношению к растениям. Кроме того, на зоне грейзенизированных гранитов отмечалось необычайно позднее (в середине сентября) цветение рододендрона амурского, что опять же совпадает с выводами Л. И. Грабовской и др. (1965 г.) о позднем цветении растений на грейзенизированных породах, содержащих редкометальную минерализацию.

На участке редкометалльных пегматитов в составе кварцево-слюдистых сланцев нами установлено, что непосредственно над зоной минерализации некоторые виды растений, в частности полынь Гмелина и чистотел большой, отличаются заметным гигантизмом, а папоротник—страусопер германский, наоборот, имеет меньше обычных размеры, т. е. угнетенный вид, хотя все указанные растения содержат примерно одинаковые количества лития и бериллия. Однако по сравнению с обычными видами в проявляющих гигантизм экземплярах полыни Гмелина содержится в 3 раза больше марганца (0,2%), в 6 раз больше титана (0,006%), в 3 раза бария (0,03%), в 2 раза фосфора (2,0%). В то же время содержание цинка в золе полыни с признаками гигантизма было в 2 раза ниже (0,02%) обычного. Склонные к гигантизму виды полыни Гмелина представлены сильно ветвистыми кустами высотой 2,5 м, растущие же вне зоны оруденения особи имеют высоту не более 1 м и кустятся гораздо слабее. Вполне возможно, что гигантизм полыни Гмелина и чистотела большого на указанном участке обусловлен не столько присутствием лития, рубидия, цезия и бериллия — основных элементов в редкометалльных пегматитах, сколько наличием акцессорных урана и тория. Между прочим, гигантизм иван-чая и полыни эстрагон на участках ториево-редкоземельной минерализации отмечен А. В. Николаевой (1969).

Наши наблюдения совместно с геоботаником А. А. Бабуриным показали, что на вольфрамовом рудопроявлении, минерализация которого представлена зейригитом (молибденсодержащий шеелит), льянка обыкновенная образовывала настолько мощные кусты высотой до 1,1 м, что они полегли. Здесь же над зоной оруденения произрастали сильно рослые экземпляры карпезия поникшего, а золотарник тихоокеанский в пределах рудной зоны обращал на себя внимание сильно разветвленным метельчатым соцветием и наличием прикорневой розетки листьев у цветущих экземпляров, в то время как у видов, отобранных в другом месте вне зоны молибден-вольфрамового оруденения, соцветия золотарника чаще всего были компактные, с полным отсутствием прикорневых розеток.

На оловярудном месторождении Малого Хингана встречены мощные особи иван-чая узколистного, которые отличались от обычной формы не только ростом, но и значительным количеством хорошо развитых пазушных побегов. Листья у этих экземпляров матовые, тусклые и опушенные, а не глянцеваыте, как у обычных видов. Кроме того, листовая пластинка их имела гораздо более широкую эллиптическую форму по сравнению с такими же растениями вне зоны оловянного оруденения.

На оловянных рудопроявлениях в зоне лесостепи было отмечено, что смолевка ползучая характеризуется линейными мелкими листьями длиной 3,5—4 см и шириной 0,3 см, слабой облиственностью и незначительными размерами (высота растения не превышает 30 см). У большинства же экземпляров этого вида, отобранных вне зоны оловянного рудопроявления и в других районах, листья названного растения ланцетные, т. е. длина листа превышает его ширину в 3—4 раза; они гораздо крупнее — длиной до 8 см, шириной до 1,2 см.

В пределах рудной зоны касситерит-станнино-сульфидного месторождения какалия ушастая характеризуется крупными листьями, ширина их (20—22 см) вдвое превышает длину. Кроме того, у этого растения отмечены бледно-сиреневые оттенки цветов, собранных в крупное узкометельчатое соцветие. За пределами месторождения у названного вида такая форма листовой пластинки с характерной вырезанностью и зубчатостью встречается редко, так же как и сиреневые оттенки цветов.

Принимая во внимание описанные выше тератологические изменения у растений, надо иметь в виду, что в ряде случаев более мощное развитие растений в зонах минерализации, возможно, зависит от более благоприятных экологических условий (разрыхление почвенного покрова в результате поисково-разведочных работ, особенности проникновения солнечно-

го цвета, почвенной влаги, а также минерального питания и т. д.), чем под пологом леса. Поэтому более рослые особи растений, особенно с повышенным количеством микроэлементов, не всегда могут свидетельствовать о признаках гигантизма как биологического явления, возникающего вследствие аномального содержания в растениях тех или иных металлов. Кроме того, многие опубликованные материалы и наши данные говорят о том, что накопление химических элементов растениями не всегда вызывает морфологические изменения последних. Поэтому, сопоставляя поисковую ценность геоботанического и собственно биогеохимического метода, следует согласиться с мнением В. В. Поликарпочкина и Р. Т. Поликарпочкиной (1964) о подчиненном значении геоботанического метода. Совершенно очевидно, что при комплексном применении этих поисковых методов ведущим должен быть собственно биогеохимический, основанный на определении химических элементов в золе растений и характеризующийся высокой чувствительностью в обнаружении оруденения.

Таким образом, изложенные предварительные сведения о геоботанических индикаторах рудной минерализации разного генетического типа и различных химических элементов в условиях Дальнего Востока не дали пока возможности выявить достаточно четкие и надежные индикаторные признаки, которые можно было бы автономно использовать в практике поисковых работ. Тем не менее разница в геоботанических особенностях в пределах зон оруденения и вне их установлена, и она, безусловно, существует, особенно тератологические изменения растений. Поэтому дальнейшее направление исследований для целей геоботанической индикации оруденений, а главное обнаружение универсальных и локальных геоботанических индикаторов должно проводиться в областях эндемизма тех или иных растений в пределах Дальнего Востока (Ворошилов, 1966). В. В. Ковальский и Н. С. Петрунина (1965) считают эндемизм, как и видообразование, следствием реакций растений на своеобразную химическую среду условий их местообитания. Эндемичные растения рассматриваются этими исследователями как привычные концентраторы, т. е. такие растения, которые адаптировались к переменным концентрациям химических элементов в субстрате. Видообразование трактуется ими как закрепленная в наследственности морфологическая изменчивость непривычных концентраторов и, возможно, как реакция растений, неадаптированных к переменным содержаниям химических элементов в почвах и почвообразующих породах. В качестве примера эндемизма, т. е. обособления растений-концентраторов в виде новых разновидностей и даже видов с узколокализированным ареалом распространения, в литературе указываются кобальтофиты Катанги, медифиты Рудного Алтая, цинкофиты Западной Германии, Финляндии и Бельгии, «медные мхи» Швеции, оловофиты Богемии, «серпентинитовая флора» Скандинавии, Канады и Восточной Азии, железифиты Новой Каледонии, литиевая и алюминиевая флоры и т. д. (Виноградов, 1952; и др.). Следовательно, находки универсальных геоботанических индикаторов на территории Дальнего Востока возможны среди эндемичной флоры. В связи с этим вопросы геоботанической индикации приобретают весьма важное теоретическое значение, особенно для такой территории, специфической во флористическом отношении, как Дальний Восток.

ВОПРОСЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ЗНАЧЕНИЕ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА

Геохимия ландшафта является одной из теоретических основ геохимических методов поисков, так как ее методика включает различные разделы геохимии, в частности биогеохимию и учение о миграции химических элементов в зоне гипергенеза.

За последние годы в результате многочисленных ландшафтно-геохимических исследований были получены ответы на многие вопросы по особенностям миграции и накопления химических элементов в различных ландшафтных зонах нашей страны в целом, и в частности в компонентах ландшафта — в современной коре выветривания, в почвах, в поверхностных и грунтовых водах, в растениях и т. д. На основе этих данных представляется возможность установить особенности миграции и накопления химических элементов в геохимическом ландшафте в пределах рудных узлов и месторождений и выяснить закономерности формирования экзогенных ореолов рассеяния рудных химических элементов — механических и солевых в современной коре выветривания и почвах, гидрохимических — в поверхностных и грунтовых водах, биогеохимических — в растениях, газовых в почвенном воздухе и т. д. По существу, ландшафтно-геохимические исследования в рудных районах с целью разработки теоретических основ геохимических методов поисков сводятся к установлению взаимоотношений в пространстве и во времени между вторичными ореолами рассеяния химических элементов, на основании чего возможно рекомендовать применение того или иного геохимического метода — литогеохимического, гидрогеохимического, биогеохимического, газового и др. (Ивашов, 1968а).

Следовательно, говоря о возможности применения биогеохимического метода, и в частности, о его эффективности, необходимо знать разрешающую способность биогеохимических поисков в сравнении с другими геохимическими методами, в том числе и с литогеохимическим. На этот вопрос могут ответить только опытно-методические ландшафтно-геохимические исследования на ключевых участках в пределах регионов, где предполагается постановка геохимических поисков тех или иных руд в конкретных ландшафтных условиях. При этом совершенно очевидно то, что биогеохимический метод можно использовать применительно к территории Дальнего Востока без предварительных опытных работ на ключевых участках в таких местах, где другие геохимические методы не дают эффекта, в частности, на заболоченных пространствах, в горных районах с крупноглыбовыми склоновыми образованиями и в краевых частях мезокайнозойских впадин, где мощность аллохтонного чехла рыхлых покровных отложений не превышает 25—30 м (Махинин, 1969).

Значение ландшафтных условий применения биогеохимического метода поисков показано, например, в хорошей работе М. Н. Яковлевой (1969).

ОПЫТ ВЫЯВЛЕНИЯ РУДНЫХ АНОМАЛИЙ БИОГЕОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

За последние годы получены материалы по установлению рудопроявлений и месторождений цветных, редких и рассеянных химических элементов биогеохимическим методом как за рубежом, так и в нашей стране (Виноградов, 1954; Ткалич, 1959б, 1970; Малюга, 1963; Грабовская и Астрахан, 1963; Поликарпочкин и Поликарпочкина, 1964; Ковалевский, 1967а; Мицкевич, 1962, 1969; Поликарпочкин и др., 1969; Поликарпочкин, 1969а, б, 1971; Захаров, 1969а; Хокс и Уэбб, 1964; Hornbrook, 1969а,б; Fortescue, 1970; и др.). При этом оказалось, что вероятность обнаружения рудных тел биогеохимическим методом в ряде случаев выше, чем литогеохимическим методом, поскольку высококонтрастные биогеохимические аномалии в растениях фиксируют наличие оруденения и там, где оно может быть установлено литогеохимическим методом, и там, где применение его бесполезно (заболоченные пространства с мощными торфяниками, рыхлые покровные образования, крупноглыбовые, курумообразные склоновые накопления, пустыни, а также зимние условия и т. д.). Иными словами, если на перспективных участках, где возможно применение геохимических методов вообще, предположительно имеется та или иная рудная минерализация, то при биогеохимических поисках последняя будет, безусловно, отражена биогеохимическими ореолами рассеяния и биогеохимическими аномалиями внутри их.

Это положение не является исключением и для территории Дальнего Востока. Так, в 1966 г., при биогеохимических исследованиях на касситерито-станныно-сульфидном месторождении (Южное Приморье) по профилю V (рис. 96) нами в т. н. 1 и 2 были выявлены биогеохимические аномалии олова при фоновых содержаниях его в растениях 0,001%. В т. н. 2 олово обнаружено в березе (ветви — 0,03%), клене (листья — 0,03%), кедре (хвоя — 0,003%), ели (древесина — 0,001%), чубушнике (древесина — 0,004%, корни — 0,01%). В т. н. 1 этот металл установлен в древесине и коре березы (0,002%), в ели (хвоя — 0,02%, ветви — 0,003, древесина — 0,01%). При проверке в 1968 г. этих биогеохимических аномалий,

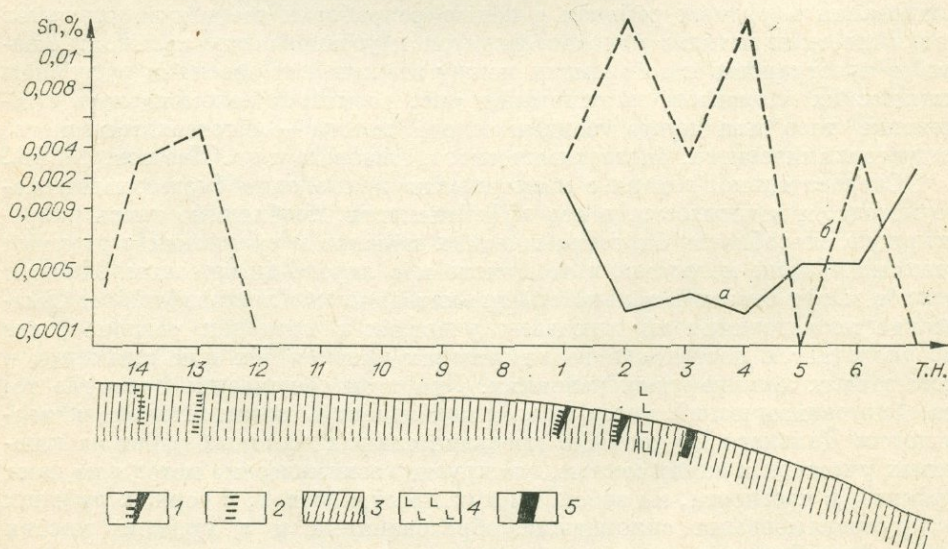


Рис. 96. Выявленные и предполагаемые рудные жилы, зафиксированные с помощью биогеохимического метода на фланге рудного тела касситерито-станныно-сульфидного месторождения (профиль V).

Рудные жилы: 1 — выявленные; 2 — предполагаемые; 3 — алевроито-песчаники; 4 — дайка порфириров; 5 — рудное тело. Кривые содержания олова: а — в почвах; б — в растениях.

находящихся в 20—40 м вверх по склону от основного рудного тела, удалось установить две маломощные жилы с сульфидно-касситеритовой минерализацией на глубине до 1,5 м. Весьма характерно, что в почвах на этом участке олово не фиксируется спектральным анализом с чувствительностью 0,001%, принятой в настоящее время для обработки массовых металлотометрических проб в геологических управлениях (Методические материалы..., 1964). Только специальный пережог почвенных проб с т. н. 1 и 2 на приборе ДФС-13 с чувствительностью на олово, равной 0,0001%, т. е. на порядок выше, позволил установить в почвах содержание олова от 0,0001 до 0,0005%. Проведенные дополнительные биогеохимические исследования по этому же профилю V в 1968 г. позволили выявить биогеохимические аномалии олова в т. н. 13 и 14 в 200 м от основного рудного тела, при содержании этого металла только в золе листьев желтого клена от 0,003 до 0,005% и при отсутствии олова в почвах с чувствительностью анализа 0,0001%. Причем в данных точках биогеохимические аномалии обнаружены по древесному растению с глубокой корневой системой, которая поглощает ионы олова не только из почв, но и непосредственно из окисленных руд. К сожалению, эта аномалия осталась не проверенной, но есть все основания предполагать, что она фиксирует оловянную минерализацию, не отраженную на поисковых картах геологоразведочной партии.

Таким образом, можно утверждать, что на флангах основных рудных тел указанного месторождения с помощью биогеохимического метода нами выявлены дополнительные сульфидно-касситеритовые рудопроявления, зафиксированные биогеохимическими аномалиями с контрастностью от 3 до 30 единиц. Совершенно очевидно, что металлотометрия с чувствительностью анализа на олово 0,001% дала на этом участке отрицательные результаты. Отсюда можно предположить, что изучение в настоящее время флангов известных оловорудных месторождений Дальнего Востока с помощью литогеохимического метода в ряде случаев дает отрицательные оценки на прирост запасов руд, особенно глубоко залегающих от поверхности рудных тел, а на перспективных по геологическим соображениям участках (продолжение рудоносных структур, развитие экранирующих пород и т. д.) металлотометрия может привести к отрицательной оценке результатов поисков. Следовательно, бытующее пока у геологов-поисковиков мнение об универсальности литогеохимического метода по вторичным ореолам рассеяния, причем именно в тех ландшафтных условиях, где металлотометрия в принципе применима, не совсем правильно. Об этом достаточно убедительно свидетельствуют приведенные материалы на конкретном примере.

Аналогичные данные по установлению рудопроявлений по биогеохимическим аномалиям на флангах основного рудного тела были получены нами также в Южном Приморье на одном из полиметаллических месторождений (рис. 97). Здесь на профиле, заданном вкрест простирания рудной зоны, в т. н. 13 и 19, кроме основного рудного тела, были выявлены дополнительные контрастные биогеохимические аномалии по свинцу, соответствующие, очевидно, рудопроявлениям, не отраженным на поисковой карте разведочной партии. Предполагаемые рудопроявления служат продолжением основных рудоносных структур данного месторождения. При этом следует отметить, что над основным рудным телом (т. н. 4) биогеохимические аномалии контрастны и четко выражены по всем трем видам растений, но наиболее резко у аралии маньчжурской. На установленных рудопроявлениях аномалии особенно четки по папоротнику-страусоперу германскому, содержащему в золе до 0,009% свинца, контрастность же достигает 9 единиц. Обнаруженные биогеохимическим методом рудопроявления в т. н. 13 и 19 одновременно нами были зафиксированы и литогеохимическими аномалиями с наибольшим содержанием свинца до 0,02% (при фоне по горизонту ВС—0,01%). Однако контраст-

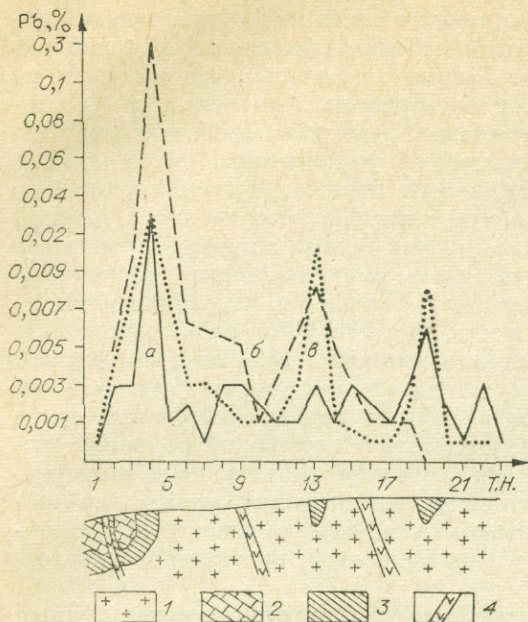


Рис. 97. Биогеохимические аномалии свинца на известном (т. н. 4) и предполагаемых т. н. 13 и 19) рудных телах полиметаллического месторождения.

1 — граниты; 2 — мрамор; 3 — скарны; 4 — дайки кварцевых порфиров. Кривые содержания свинца: а — в ветвях чубушника тонколистного; б — в древесине аралии маньчжурской; в — в старосопере германском.

ми ореолами рассеяния. При этом надо всегда помнить, что идею биогеохимического метода поисков рудных месторождений, к которой ряд геологов-производственников до сих пор относится скептически, можно опорочить, если биогеохимический метод применять формально или на заведомо бесперспективных, безрудных площадях. Поиски рудных месторождений вообще, в том числе и биогеохимические, прежде всего искусство, и руду можно обнаружить в земной коре лишь там, где она есть.

ОТБОР И ОБРАБОТКА БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОБ

Говоря об эффективности биогеохимического метода поисков, например, по сравнению с литогеохимическим, необходимо иметь сравнительные данные по затратам времени на отбор и обработку биогеохимических проб. В связи с этим нами выполнены хронометрические работы по отбору одновременно биогеохимических и литогеохимических проб на оловорудном месторождении Малого Хингана. Так, в т. н. 19 и 32 (профиль I) были отобраны растительные пробы со следующими затратами времени (в мин):

Вейник Лангсдорфа	2,0	Липа амурская (листья) . . .	1,5
Польнь побегоносная	1,0	Кипрей узколистный	2,0
Осока лесолюбивая	1,5	Кочедыжник женский	2,0
Кедр корейский (кора)	0,5	Осока бледная	3,0
Кедр (древесина)	1,0	Береза ребристая (ветви) . .	1,0

Среднее 1,55 мин

ность их (2 единицы) значительно ниже биогеохимических примерно в 4,5 раза.

Таким образом, полученный опыт установления рудопроявлений на флангах рудных тел касситерито-станнино-сульфидного и полиметаллического месторождения по биогеохимическим аномалиям свидетельствует о том, что биогеохимический метод можно с успехом применять для фиксации не только крупных рудных залежей, но и маломощных и относительно глубоко залегающих рудопроявлений, которые не улавливаются литогеохимическим методом в таких условиях, где последний по идее должен установить надрудную литогеохимическую аномалию. Это еще раз свидетельствует о том, что, если имеется рудная минерализация в определенных ландшафтных условиях, пригодных для применения биогеохимического метода, она бесспорно будет зафиксирована биогеохимически

Таким образом, для отбора разовых проб растений требуется от 0,5 до 3 мин. Однако при этом надо иметь в виду, что на отбор проб растений, принадлежащих к одному и тому же роду, но к разным видам, затрачивается разное время. Например, на отбор пробы осоки лесолюбивой требуется 1,5 мин, а осоки бледной — 3 мин, так как объем надземной массы этих двух осок разный.

Затраты на отбор одной литогеохимической пробы с глубины 40 см в связи с высокой щебенистостью почв составили 10—12 мин. Следовательно, для отбора одной биогеохимической пробы требуется времени в 7—8 раз меньше, чем одной литогеохимической для данных ландшафтных условий. Учитывая, что при биогеохимических поисках с одной точки наблюдения следует для контроля отбирать 2—3 пробы из разных растений, можно утверждать, что на это времени будет затрачено все равно в 4—5 раз меньше. При этом необходимо учитывать, что контрастность биогеохимических аномалий практически всегда выше и последние будут четко отбивать эпицентры залегания рудных тел. Это в конечном счете скажется на наименьших затратах средств и времени при вскрытии рудных тел. Что касается затрат времени на обработку и подготовку биогеохимических проб к спектральному анализу, то они в настоящее время также меньше литогеохимических. Еще в 1964 г. В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина (1964) отмечали, что производительность озоления биогеохимических проб доведена до производительности обработки литогеохимических проб. Как указывалось выше, при описании методики исследований нами разработан быстрый метод озоления биогеохимических проб в медицинских стерилизаторах, который позволил резко поднять производительность подготовки проб растений к спектральному анализу (Ивашов, Бардюк, 1968а). В частности, используя два противня с набором стерилизаторов к ним по 100 шт., бригаде из трех человек можно сжечь до черной золы в смену до 400 проб, включая все подготовительные операции. Опыт показывает, что стерилизаторы могут выдержать свыше 150 сеансов озоления длительностью 1,5—2,0 ч. Стоимость одного стерилизатора 1 р. 48 к. Затраты дров при этом не выше, чем при других методах озоления (Малюга, 1963; Грабовская, Астрахан, 1963; Поликарпочкин, Поликарпочкина, 1964; Ковалевский, Ковалевская, 1966, 1967, 1969; Жбанов, Жбанова, 1966а; Солодянкин и др., 1966).

Разработанный нами полевой способ сжигания биогеохимических растительных проб до черной золы по сравнению с известными методами имеет следующие преимущества: 1) высокую производительность; 2) простоту; 3) отсутствие необходимости измельчения проб; 4) возможность сжигания проб без предварительного подсушивания; 5) небольшую стоимость необходимого оборудования, его долговечность и простую конструкцию. Применение этого способа по сравнению с металлометрическим опробованием позволяет высоко оценить биогеохимический метод, поскольку отбор и приготовление проб растений для спектрального анализа проще, дешевле и быстрее, чем литогеохимических проб.

Хотя в настоящее время описанные выше стерилизаторы изготавливаются предприятиями, выпускающими медицинское оборудование, однако производство аналогичных коробок с крышками могут без особых затрат освоить заводы, поставляющие геологоразведочное оборудование.

Между прочим, медицинские стерилизаторы находят применение и в другой области геологоразведочного дела. Как показал наш опыт, аналогичные коробки с крышками, только меньших размеров, оказались незаменимыми при транспортировке мокрых плихов в маршруте при проведении шлиховых поисков. В результате — большой выигрыш во времени, поскольку отпадает необходимость высушивания и ссыпания в бумажный пакет шлиха непосредственно в пункте отмыва шлиховой пробы. Эти операции можно проводить в конце рабочего дня (маршрута) или в другое удобное для поискового отряда время.

Следует отметить, что наши предварительные расчеты затрат по времени на биогеохимическое опробование по сравнению с литогеохимией совпадают с исследованиями зарубежных авторов. Так, Р. Р. Брокс (Brooks, 1968б) положительно оценивает перспективы применения биогеохимических методов поисков в условиях Новой Зеландии, поскольку они имеют определенные преимущества перед почвенным опробованием. В частности, этот исследователь указывает, что опробование деревьев и кустарников в 3 раза быстрее почвенного опробования.

В последние годы большие работы по внедрению в практику биогеохимических поисков в производственном масштабе выполнены Бурятским геологическим управлением: проведен финансово-экономический расчет (Тарасов, 1969), в результате которого выяснено, что отряд по биогеохимическому опробованию с ежемесячной производительностью отбора и озоления в 4000 проб должен состоять из пяти человек (двух техников и трех рабочих.) При этом наилучшие экономические и поисковые результаты могут быть достигнуты при опробовании крупных полигонов на закрытых ландшафтах.

Преимущество биогеохимического метода поисков в конкретных ландшафтных условиях Тувинской АССР установлено работами Красноярского геологического управления. В частности, показано, что на площадях развития серых горно-лесных почв литогеохимические поиски с отбором металлотрических проб с глубины менее 0,6 м приведут к пропуску богатых кобальтовых руд. И только отбор литогеохимических проб с глубины 0,6—0,8 м дает возможность в этих условиях обнаружить литогеохимические аномалии кобальта, никеля, меди, мышьяка, свинца и цинка, указывающие на местоположения рудных тел. Однако такие глубины отбора металлотрических проб удорожают литогеохимические поиски на 300—460%. Следовательно, в данных ландшафтных условиях, естественно, целесообразнее применять биогеохимические поиски как более эффективные и дешевые по сравнению с литогеохимическими, когда отбор проб нужно проводить из почвогрунтов с глубины 0,6—0,8 м (Захаров, 1969е).

РАЗРЕШАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА

Одним из преимуществ биогеохимического метода поисков рудных месторождений, как известно, является его глубинность вследствие проникновения корневой системы растений в почвогрунты (Виноградов, 1954, Ткалич, 1959а, б, 1970; Малюга, 1963; Поликарпочкин, Поликарпочкина, 1964; Поликарпочкин, 1969а, б, 1971; Поликарпочкин и др., 1969; Ковалевский, 1967а; и др.). По данным Д. П. Малюги (1959а, б), в нормальных условиях корни растений проникают в современные рыхлые образования на различную глубину в зависимости от природных ландшафтно-климатических зон: в тундре — до 1,5 м, в тайге и лесостепи — до 4 м, в полупустыне — до 10 м. Некоторые виды характеризуются глубокой корневой системой, например корни люцерны (*Medicago sativa*) достигают глубины 15 м, а верблюжьей колючки (*Achagi camelorum*) — 30 м (Ткалич, 1970). По существу, глубинность биогеохимического метода определяется глубиной проникновения корней, т. е. до 20—30 м. Однако описываются случаи обнаружения рудных тел полезных ископаемых биогеохимическим методом, залегающих на глубинах 50—90 м (Виноградов, 1954). Естественно, на такую глубину, как нам представляется, корни растений не проникают, но в накоплении химических элементов в растениях в таких случаях имеют значение другие факторы. В частности, здесь существенную роль играют глубинные (закрытые) ореолы рассеяния руд и грунтовые воды, дренирующие на глубине руды и выносящие в приповерхностные горизонты зоны гипергенеза и в почвы (т. е. к корням

Глубина залегания рудных тел (по С. М. Ткаличу, 1970)

Месторождение	Местонахождение	Глубина залегания, м	Источник
Никелевое	Макола, Финляндия	4	Ранкама, 1954
Молибденовое	Рауцио, Финляндия	7	Мармо, 1954
Хромитовое	Склэри, Нижняя Силезия	15	Walenczak, 1962
Железорудное	Октябрьское, Сибирь	20	Ткалич, 1938
Медное	Калугинское, Урал	25	Поскотин, Любимова, 1963
Урановое	Плоскогорье Ла-Вентана, штат Колорадо (США)	25	Кэннон, Клейнхемпл, 1956
Полиметаллическое	Уинтворт, США	30	Карбух, 1954
Медноколчеданное	Урал	33	Веселов, 1962

растений) металлы в виде ионов или комплексных соединений, доступных для растений. Например, Н. А. Авессаломова и Л. И. Грабовская (1968) установили, что в гумидных условиях мощность до 20 м рыхлых, хорошо дренирующихся кварцевых песков, перекрывающих зону бериллиевой минерализации, не оказывает влияния на концентрацию бериллия в растениях. В данном случае естественно, что накопление бериллия растениями происходит не вследствие проникновения корней на такую глубину, а благодаря подтоку грунтовых вод, содержащих бериллий, к земной поверхности, где рудные химические элементы, в частности бериллий, становятся доступными для растений.

В табл. 69 приведены сведения о глубине залегания рудных тел, установленных с помощью биогеохимического метода.

Вопрос об оптимальном применении биогеохимического метода является одним из важных по эффективности. В первую очередь имеются в виду такие условия, где применение других геохимических методов, например литогеохимического, не дает положительных результатов или биогеохимический метод имеет определенное преимущество перед другими методами поисков. Систематизируя опыт биогеохимических поисков С. М. Ткалича (1959а, б, 1970), Д. П. Малюги (1963), В. В. Поликарпочкина и Р. Т. Поликарпочкиной (1964) и многих других исследователей, а также личных наблюдений, можно утверждать, что биогеохимический метод целесообразно применять в следующих случаях:

1) для обнаружения слепых рудных тел, сопровождающихся закрытыми первичными и вторичными ореолами рассеяния, не выходящими на поверхность, но доступными для корней растений, например, поиски урана на плато Колорадо в США (Anderson, Kurtz, 1955);

2) в районах с интенсивным выщелачиванием верхних горизонтов современной коры выветривания и почв, например исследования М. А. Глазвской и др. (1961) на медноколчеданных месторождениях восточного склона Южного Урала;

3) на площадях с мощной, преимущественно элювиальной современной корой выветривания (автохтонные образования) со слабо выраженными или отсутствующими близповерхностными экзогенными ореолами рассеяния, например опыт биогеохимических поисков меди и золота А. А. Веселова (1958) и А. М. Григорьева (1955) на Урале и в Бурятии;

4) на территориях, покрытых аллохтонными наносами разного генезиса: аллювиальными (опыт работ С. М. Ткалича (1961) на железорудном месторождении Восточной Сибири); делювиальными и курумами (работы С. М. Ткалича (1959б) на редкометальном месторождении Сибири); моренными и флювиогляциальными (опыт биогеохимических поисков руд К. Ранкамы (1954) в Финляндии, биогеохимические исследования Б. А. Судова (1963) в Прибалтике); эоловыми (опыт поисков месторождений урана

в условиях сухого климата Колорадского плато (Cannon, 1952) и в других местах США);

5) на заболоченных равнинных пространствах (опыт биогеохимических поисков в Финляндии — Мармо, 1954; Salmi, 1956; и в СССР — работы У. И. Моисеенко, 1959; Т. А. Владимировой, 1970);

6) в зоне многолетней мерзлоты (опыт биогеохимических работ Ю. В. Казицина и Г. В. Александрова, 1960; Л. В. Разина и И. С. Рожкова, 1966; В. Л. Кожары, 1964);

7) при поисках руд в зимних условиях (опытные работы С. М. Ткалича, 1953, 1956; В. В. Поликарпочкина и Р. Т. Поликарпочкиной, 1964);

8) в горных и высокогорных районах на площадях развития крупноглыбовых современных образований при отсутствии в приповерхностных горизонтах мелкозема (опыт наших работ в условиях Баджала).

По существу все указанные особенности условий применения биогеохимического метода имеют место и на Дальнем Востоке, за исключением участков, покрытых современными эоловыми образованиями. При этом на Дальнем Востоке наиболее целесообразно применять биогеохимический метод как автономно, так и в комплексе с другими в ландшафтах горных районов с крупноглыбовыми склоновыми образованиями, на заболоченных пространствах, в мерзлотных ландшафтах и на территории с аллохтонными образованиями. Однако, как нами было показано выше, биогеохимические поиски можно проводить и по открытым ореолам рассеяния вследствие резкой контрастности возникающих биогеохимических аномалий, четко фиксирующих эпицентры залегания рудных тел, по сравнению с малоконтрастными, значительно смещенными литогеохимическими аномалиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биогеохимические исследования на территории Дальнего Востока были выполнены на многочисленных оловорудных, редкометалльных, вольфрамовых, полиметаллических месторождениях, рудопроявлениях и зонах минерализаций, в результате чего представилась возможность изучить биогенные ореолы рассеяния олова, вольфрама, молибдена, меди, цинка, свинца, серебра, сурьмы, ванадия, хрома, марганца, никеля, кобальта, лития, бериллия, галлия, циркония, золота и др. Наибольшее внимание было уделено биогеохимическим ореолам рассеяния олова, поскольку этот металл является наиболее характерным для той части Тихоокеанского рудного пояса, которая приходится на территорию Дальнего Востока. Биогеохимические исследования на оловорудных месторождениях выполнены в различных ландшафтных зонах: в зоне темнохвойных лесов, в зоне хвойно-широколиственных лесов с северной и средней подзонами, в зоне широколиственных лесов и в зоне лесостепи. По генетическому типу оловорудные месторождения и рудопроявления, на которых выполнены биогеохимические исследования, относятся к кварц-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой (со станнином) формациям.

Исследования показали, что любая рудная минерализация — оловорудная, редкометалльная, полиметаллическая и золоторудная во всех ландшафтных зонах Дальнего Востока фиксируется биогеохимическими ореолами рассеяния, в пределах которых выделяются биогеохимические аномалии, четко отбивающие рудные тела. Причем биогенные ореолы рассеяния металлов образуют все растения — мхи, травы, кустарники, деревья. По особенностям накопления металлов в растениях в одних случаях преобладает акропетальное поглощение элементов (Сабинин, 1955), например олова, т. е. накопление его в старых органах — в коре и древесине кустарников и деревьев в северной подзоне зоны хвойно-широколиственных лесов. В средней подзоне этой же зоны характерно безипетальное поглощение олова, т. е. накопление в молодых и репродуктивных органах деревьев и кустарников. Для циркония и бериллия отмечено почти повсеместное накопление в корнях различных видов; польней, что согласуется с данными других исследователей (Каганович, Потемкин, 1965; Грабовская, Астрахан, 1963).

Установлена общая закономерность в образовании биогеохимических аномалий: геохимически малоподвижные и инертные элементы — олово, бериллий, вольфрам, цирконий и др. дают четкие контрастные аномалии в растениях при полном отсутствии ложных аномалий. Легкоподвижные, или так называемые биогенные, элементы — медь, цинк, марганец, молибден в ряде случаев дают ложные биогеохимические аномалии, не связанные с зонами оруденения.

Выявлены химические элементы — биогеохимические индикаторы руд. Так, для сульфидных (свинцово-цинковых) и сульфидно-касситеритовых месторождений четким биогеохимическим индикатором является серебро. Этот элемент дает контрастные надрудные биогеохимические аномалии, фиксирующие свинцово-цинковую минерализацию.

Для большинства указанных химических элементов установлены растения-концентраторы, накапливающие повышенное количество того или иного металла. Так, для олова во всех ландшафтных зонах Дальнего Востока выявлены общие растения-концентраторы: из кустарников — ива Бредина и спирея средняя, из трав — полыни, осоки, папоротники, а также зеленые мхи. При этом следует особо подчеркнуть большое значение в накоплении олова зеленых мхов, в частности политрихума обыкновенного, который практически во всех ландшафтных зонах Дальнего Востока на участках оловянной минерализации содержит повышенное количество олова (до 0,1%). Наилучшим растением-концентратором являются осоки, в частности типично дальневосточные виды — осока горная маньчжурская и осока уссурийская, накапливающие олово до 0,3%, что по А. П. Виноградову (1954), в 600 раз больше кларка олова в растениях, равного 0,0005%.

Коэффициенты биологического поглощения большинства металлов, рассчитанные по методике А. И. Перельмана (1966) как частное от деления процентного содержания металла в золе растений на процентное содержание в почвах в пределах рудных месторождений, как правило, больше единицы. Например, для олова во всех ландшафтных зонах Дальнего Востока коэффициент биологического поглощения колеблется от 1,3 до 10, что свидетельствует о достаточно высокой степени биологического поглощения этого металла, биогенная природа которого пока неизвестна. Наибольшие величины коэффициентов биологического поглощения — от 15 до 100, как правило, характерны для биогенных элементов — меди, цинка, молибдена, марганца и др.

Практически все растения-концентраторы различных химических элементов, установленные нами, по классификации В. В. Ковальского и Н. С. Петруниной (1965) относятся к непривычным растениям-концентраторам, которые накапливают тот или иной металл только в местах повышенного содержания последнего в почвах. Вероятно, такие растения следует называть локальными растениями-концентраторами определенного элемента. Ряд растений, накапливающих олово в пределах рудных районов во всех ландшафтных зонах Дальнего Востока, мы предлагаем именовать региональными растениями-концентраторами этого элемента (Ивашов, 1971б), к которым можно отнести иву Бредина, спирею среднюю, некоторые виды осок и полынь и зеленые мхи, в частности политрихум обыкновенный.

Растения, накапливающие тот или иной химический элемент независимо от количества его в почвах (привычные растения-концентраторы по В. В. Ковальскому, Н. С. Петруниной, 1965), следует называть универсальными растениями-концентраторами. В условиях Дальнего Востока к универсальным растениям-концентраторам молибдена можно отнести типичное дальневосточное растение — леспедуцу двуцветную из семейства бобовых, с ареалами распространения от Забайкалья и далее к востоку, включая Хабаровский и Приморский края, Амурскую область, Южный Сахалин, Курилы, а за пределами нашей страны — Японию, Корею и Китай (Воробьев, 1968). Там, где это растение опробовалось в пределах Дальнего Востока, содержание молибдена в нем независимо от молибденовой минерализации колеблется от 0,0001 до 0,01%, а иногда даже и при отсутствии этого элемента в почвах при определении его с чувствительностью 0,0001%. Коэффициент биологического поглощения молибдена в этом растении достигает 80. Известно (Пейве, 1969), что данный микроэлемент принимает в растениях из семейства бобовых активное участие

в биохимических реакциях фиксации молекулярного азота и восстановления нитратов и находится в составе ферментов азотфиксирующих бактерий и клубеньков бобовых растений. Поэтому поглощение леспедецей двуцветной молибдена при кларковом его содержании в субстрате вполне естественно. Конечно, поисковое значение этого растения как универсального концентратора молибдена при применении биогеохимического метода поисков молибденовой минерализации в условиях Дальнего Востока весьма низкое.

К универсальным концентраторам серебра, вероятно, следует отнести хвойные древесные растения, в частности ель аянскую, которая накапливает этот элемент в древесине до 0,003%, что в 30 раз больше кларка в растениях (Малюга, 1963), даже при содержании этого металла в почвах ниже предела чувствительности анализа (0,0001%).

Выполнены работы по установлению особенностей поглощения химических элементов растениями в зависимости от сезонов года. Оказалось, что весной накапливаются наиболее подвижные, биогенные элементы, т. е. цинк, марганец, медь, никель и др. Геохимически инертные элементы—олово, хром, цирконий, бериллий и др., биогенная природа которых пока неизвестна, в наибольшем количестве обнаружены в растениях осенью. Весной в этих же растениях указанные элементы не установлены. Содержание их, вероятно, находится за пределами чувствительности анализа.

Режимные наблюдения показали, что интенсивные муссонные дожди резко выщелачивают (вымывают) из растений многие химические элементы, особенно из листьев деревьев и кустарников, а также трав. Содержание химических элементов в растениях после дождей в среднем в 2 раза ниже, чем до дождя. Следовательно, биогеохимическое опробование растений непосредственно после интенсивных муссонных дождей нецелесообразно.

Изучено соотношение биогеохимических и литогеохимических ореолов рассеяния. Оказалось, что в подавляющем большинстве случаев биогеохимические ореолы рассеяния четче оконтуривают зоны оруденения, а биогеохимические аномалии непосредственно фиксируют рудные тела. Так, сдвиг биогеохимической аномалии олова от рудного тела на одном из участков работ составляет 40 м при крутизне склона 32°, в то время как сдвиг литогеохимической аномалии в этих же условиях достигает 100 м и более. При меньшей крутизне склона биогеохимические аномалии смещены незначительно.

Контрастность биогеохимических аномалий практически всех металлов значительно выше контрастности литогеохимических аномалий. Например, контрастность биогеохимических аномалий олова колеблется от 10 до 300 единиц, в то время как по почвам этот параметр не превышает 20 единиц, свинца соответственно 20 и 2,5, цинка — 300 и 3, молибдена — 100 и 1, никеля — 60 и 1, марганца — 60 и 4, меди — 200 и 20, серебра — 30 и 1, бериллия — 10 и 1, хрома — 3 и 2,5.

Выполнены экспериментальные работы по скорости отбора биогеохимических и литогеохимических проб. Так, если на отбор одной биогеохимической пробы требуется в среднем от 1,5 до 2 мин, то на отбор одной литогеохимической пробы с глубины 40 см, согласно Инструкции (Инструкция по геохимическим методам..., 1965), требовалось от 10 до 12 мин, т. е. примерно в 6—7 раз больше.

В процессе биогеохимических исследований разработан эффективный и быстрый способ озоления растительных проб до черной золы, позволяющий значительно сократить время на подготовку проб к аналитическим работам.

По нашему мнению, применение биогеохимического метода поисков руд в условиях Дальнего Востока вполне возможно даже в открытых районах и благоприятно по следующим причинам:

1) благодаря наличию достаточного числа растений-концентраторов различных металлов, что расширяет диапазон применения метода;

2) высокой концентрации металлов в золе растений и резкой контрастности биогеохимических аномалий (последние более чувствительны к фиксации рудных тел, чем почвы).

3) меньшему сдвигу биогеохимических аномалий относительно рудных тел по сравнению с литогеохимическими;

4) высокой производительности отбора и обработки биогеохимических проб по сравнению с литогеохимическими пробами.

Вероятно, наиболее целесообразно совместное применение биогеохимического и литогеохимического методов, например, в горных районах Дальнего Востока, исходя из ландшафтных особенностей, в частности вертикальной зональности горных ландшафтов. Кроме того, биогеохимический метод может быть применен автономно при региональном опосковании слабо изученных территорий с целью общей оценки перспектив того или иного района.

Очевидно, наибольшую отдачу в практике поисков рудных месторождений в условиях Дальнего Востока биогеохимический метод даст при применении его в закрытых районах, т. е. на заболоченных пространствах и на территории, где мощность рыхлых аллохтонных отложений не превышает 20—30 м.

В условиях Дальнего Востока возможно применение комбинированного гидро-биогеохимического метода (Поликарпочкин, 1969а, б, 1971). Так, на некоторых участках биогеохимических исследований было установлено, что растения, распространенные в местах выхода на поверхность грунтовых вод, дренирующих рудное тело, дают биогеохимические аномалии, в том числе и олова. Поэтому такой комбинированный метод применительно к условиям Дальнего Востока заслуживает серьезного внимания и теоретической разработки.

Дальнейшие работы по биогеохимическому методу должны быть направлены на оценку его разрешающей способности в сравнении с другими геохимическими методами и на районирование территории Дальнего Востока по условиям оптимального применения биогеохимических поисков.

ЛИТЕРАТУРА

Авессаломова И. А., Алексинская Л. П. К вопросу о биогеохимических и гидро-геохимических исследованиях в районе бериллиевого месторождения в условиях горно-таежных ландшафтов.— В кн.: V Научн. конф. молодых сотрудников Ин-та минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов АН СССР. М., Изд-во АН СССР, 1967.

Авессаломова И. А., Грабовская Л. И. Биогеохимические исследования при поисках редкометалльных месторождений в условиях южнотаежных ландшафтов.— «Бюлл. научн.-техн. информ.», № 4. Биогеохимические поиски в различных ландшафтных условиях». М., ОНТИ ВИЭМС, 1968.

Айвазян А. Д. Медь в разных видах растений черневой тайги.— В кн.: Микроэлементы в растениях. Улан-Удэ, 1969. (Тр. Бурят. ин-та естеств. наук БФ СО АН СССР, № 5).

Айвазян А. Д. Опыт использования геоботанических признаков при поисках полезных ископаемых на Юго-Западном Алтае.— В кн.: Биогеография, 1970. М., Изд-во Геогр. об-ва СССР. (Матер. Моск. фил. Геогр. об-ва СССР, вып. 4).

Айдинян Р. X. Распределение редких щелочей в коллоидах почв и участие растительности в этом процессе.— «Геохимия», 1959, № 4.

Алексеева-Попова Н. В. Содержание микроэлементов в растениях Полярного Урала, произрастающих на различных горных породах.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, 1969. (Тез. докл. III Сиб. конф.).

Алексовский В. Б., Мохов А. А., Спинов В. А. Использование биогеохимического метода поисков никеля на Кольском полуострове.— «Геохимия», 1959, № 3.

Алисов Б. П. Климат СССР. М., Изд-во МГУ, 1956.

Альбов М. Н. Образование штольцита в зоне окисления.— «Зап. Всес. минералог. об-ва», ч. 83, 1954, № 2.

Арипова Х., Приходько П. Л. Определение золота в растениях и почвах при биогеохимических исследованиях.— «Узб. геол. ж.», 1965, № 4.

Арипова Х., Талипов Р. М. Особенности концентрации золота в почвах и растениях южной части Тамдынских гор.— «Узб. геол. ж.», 1966, № 3.

Бардюк В. В., Ивашов П. В. О ландшафтно-геохимических исследованиях на касситеритово-сульфидном рудопроявлении юга Дальнего Востока.— В кн.: Геоморфологические, ландшафтные и биогеохимические исследования в Приамурье. М., «Наука», 1968а.

Бардюк В. В., Ивашов П. В. Сезонные изменения содержания микроэлементов в растениях (на примере оловорудного месторождения юга Дальнего Востока).— В кн.: Геоморфологические, ландшафтные и биогеохимические исследования в Приамурье. М., «Наука», 1968б.

Бардюк В. В., Ивашов П. В. О накоплении микроэлементов в растениях на оловорудном месторождении юга Дальнего Востока.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

Бардюк В. В., Ивашов П. В. Биогеохимические ореолы рассеяния олова в условиях муссонного климата юга Дальнего Востока.— «Геология и геофизика», 1970, № 12.

Бардюк В. В., Ивашов П. В. Ландшафтно-геохимические исследования на оловорудном месторождении Малого Хингана.— В кн.: Матер. научн. конф. молодых ученых Хабаровского края. Хабаровск, Хабаровск. кн. изд-во, 1971.

Баситова С. М., Засорина Е. Ф., Хамидова Р. М., Калашникова Г. М. Биогеохимические исследования в Северном Таджикистане.— «Изв. АН ТаджССР. Отд. физ.-техн. и хим. наук», 1964, № 1 (14).

Басятова С. М., Засорина Е. Ф., Муладжанова Б. С. Марганец, цинк, кобальт, медь и молибден в растениях Южного Таджикистана.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурятск. кн. изд-во, 1969.

Батраева А. А., Мясников А. А. Опыт биогеохимических исследований (при поисках меди, свинца и цинка) в условиях южной части Северо-Западного Прибайкалья.— В кн.: Матер. Первой конф. молодых ученых. Иркутск, 1970.

Беренгилова В. В. Характеристика экзогенных ореолов рассеяния танталоносных апогранитов в условиях таежных ландшафтов.— «Сов. геология», 1967, № 6.

Беренгилова В. В. Вторичные (экзогенные) литогеохимические ореолы рассеяния месторождений тантала.— В кн.: Геохимические поиски эндогенных месторождений редких элементов (на примере тантала). М., «Недра», 1968.

Беренгилова В. В., Грабовская Л. И. Методика геохимических поисков месторождений тантала по экзогенным ореолам рассеяния (биогеохимический метод).— В кн.: Геохимические поиски эндогенных месторождений редких элементов (на примере тантала). М., «Недра», 1968.

Берсенев И. И. Основные черты тектоники Приморского края.— «Матер. I Всес. конф. по геологии и металлогении Тихоокеанского рудного пояса», вып. 1. Владивосток, 1960.

Беус А. А. Бериллий.— В кн.: Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов, т. 1. М., «Наука», 1964.

Беус А. А., Григорян С. В. Использование методов математической статистики при геохимических поисках. М., Госгеолком СССР, 1965.

Беус А. А., Беренгилова В. В., Грабовская Л. И., Кочемасов Г. Г., Леонтьева Л. А., Ситни А. А. Геохимические поиски эндогенных месторождений редких элементов (на примере тантала). М., «Недра», 1968.

Бойко Т. Ф. Редкие щелочи в зоне гипергенеза.— В кн.: Редкие элементы в осадочных и метаморфических породах. М., «Наука», 1964а.

Бойко Т. Ф. Литий, рубидий, цезий.— В кн.: Металлы в осадочных толщах (черные металлы, цветные легкие металлы). М., «Наука», 1964б.

Большаков А. П., Дьякова Н. П., Птушко Л. И., Щербатов В. П. К фитогеохимии ртути.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1969.

Боровик-Романова Г. Ф. О содержании лития в растениях.— В кн.: Проблемы геохимии. М., «Наука», 1965.

Боровицкий В. П. Изучение микроэлементов торфяно-мохового покрова болот в районах развития многолетней мерзлоты при поисках рудных месторождений.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, 1969. (Тез. докл. III Сиб. конф.).

Ботова М. М., Малюга Д. П., Моисеенко У. И. Опыт применения биогеохимического метода при поисках урана в условиях пустыни.— «Геохимия», 1963, № 1.

Буренков Э. К., Кузина К. И. О значении поисковой достоверности растительных индикаторов при поисках полезных ископаемых (на примере поисков месторождений бора).— «Сов. геология», 1965, № 8.

Бурков В. В., Подпорина Е. К. Геохимия и месторождения малых и редких элементов в коре выветривания.— В кн.: Матер. семинара по геохимии гипергенеза и коры выветривания. Минск, 1969.

Бурков В. В., Подпорина Е. К. Некоторые особенности геохимии редких элементов в корах выветривания.— «Литология и полезн. ископ.», 1971, № 4.

Бурксер Е. С. Биогеохимические исследования на Украине.— «Геол. ж.», 1953, № 1.

Бурксер Е. С., Мицкевич Б. Ф. Геохимические поиски редких элементов.— «Докл. АН УССР», 1960, № 3.

Бюллетень научно-технической информации Министерства геологии СССР. Серия: Методика съемки, поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых, № 4. Биогеохимические поиски в различных ландшафтных условиях. М., ОНТИ ВИЭМС, 1968.

Васильева Н. Н. Особенности поглощения химических элементов растениями равнинных территорий степной и полупустынных зон и значение их для поисков рудных месторождений.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Васильева Н. Н., Ульянов Н. К. Значение растений для поисков рудных месторождений (на примере Центрального Казахстана).— В кн.: Матер. Годичной сессии Ученого Совета по результатам работ 1959 г. Аннотация докл. Л., ВСЕГЕИ, 1960.

Вахромеев Г. С. Опыт применения биогеохимического метода поисков на одном из массивов ультраосновных щелочных пород и карбонатитов.— «Зап. Вост.-Сиб. об-ва», вып. 4, 1962.

Вернадский В. И. Проблемы биогеохимии. М., Изд-во АН СССР, 1940а.

Вернадский В. И. Биогеохимические очерки. М., Изд-во АН СССР, 1940б.

Вернадский В. И. Очерки биогеохимии. Избр. труды в 5 томах, т. I. М., Изд-во АН СССР, 1954.

Вернадский В. И. Биосфера. Избр. труды. т. V. М., Изд-во АН СССР, 1960.

Вершинин А. С. Особенности методики биогеохимических поисков урановых месторождений в зоне гумидного климата.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

- Вершинин А. С.** Особенности методики биогеохимических поисков урановых месторождений в зоне гумидного климата.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Веселов А. А.** Опыт применения биогеохимического метода поисков.— «Бюлл. научн.-техн. информ. МГ и ОН СССР», 1958, № 5 (17).
- Веселов А. А.** Железо в растениях как элемент — указатель медно-колчеданного оруденения.— «Бюллетень научн.-техн. информ. МГ и ОН СССР», 1962, № 1 (35).
- Викторов С. В.** Биологические индикаторы в геологии.— «Успехи современной биологии», 1947, т. 23, вып. 2.
- Викторов С. В.** Использование геоботанического метода при геологических и гидрогеологических исследованиях. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Викторов С. В.** Геоботанические методы поисков рудных месторождений.— В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Викторов С. В., Востокова Е. А.** Основы индикационной геоботаники. М., Госгеолтехиздат, 1961.
- Виноградов А. П.** Геохимия живого вещества.— М., Изд-во АН СССР, 1932.
- Виноградов А. П.** Химический элементарный состав организмов и периодическая система Д. И. Менделеева.— «Тр. Биогеохим. лаборатории АН СССР», т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1935.
- Виноградов А. П.** Биогеохимические провинции.— В кн.: Тр. Юбилейной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В. В. Докучаева. М., Изд-во АН СССР, 1949.
- Виноградов А. П.** Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., Изд-во АН СССР, 1950.
- Виноградов А. П.** Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой.— В кн.: Микроэлементы в жизни растений и животных. М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Виноградов А. П.** Поиски рудных месторождений по растениям и почвам. «Тр. Биогеохим. лаборатории АН СССР», т. 10. М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Виноградов А. П.** Закономерности распределения химических элементов в земной коре.— «Геохимия», 1956, № 1.
- Виноградов А. П.** Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М., Изд-во АН СССР, 1957.
- Виноградов А. П., Малюга Д. П.** Биогеохимические методы поисков рудных месторождений.— В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Виноградов А. П., Малюга Д. П.** Биогеохимический метод поисков и разведки руд.— «Тр. XX Междунар. геол. конгр.», т. 1. Мехико, 1958.
- Виноградова Х. Г.** О содержании молибдена в растениях семейства *Leguminosae*.— «Докл. АН СССР», 1943, т. 40, № 1.
- Виноградова Х. Г.** Молибден в растениях в связи с их систематическим положением.— «Тр. Биогеохим. лаборатории АН СССР», т. 10. М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Витвицкий Г. Н.** Климат.— В кн.: Дальний Восток (Физико-географическая характеристика). М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Вишневский А. С.** К минералогии и геохимии олова в зоне гипергенеза.— «Геол. ж. АН УССР», 1959, т. 19, вып. 1.
- Владимирова Т. А.** Особенности формирования биогеохимических ореолов бериллия в заболоченных ландшафтах.— В кн.: VI Научн. конф. молодых сотрудников ИМГРЭ. М., Изд-во АН СССР, 1970.
- Войткевич Г. В., Алексеев В. А.** Опыт применения биогеохимических методов при поисках некоторых рудных элементов в Джунгарском Алатау.— «Изв. высш. учебн. завед. Серия Геология и разведка», 1970, № 2.
- Волков С. А.** О литии и рубидии в четвертичных отложениях и почвах Молдавской ССР.— В кн.: Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов. М., «Наука», 1966.
- Воробьев Д. П.** Дикорастущие деревья и кустарники Дальнего Востока. Л., «Наука», 1968.
- Воробьев В. Я., Гудошников В. В.** Результаты биогеохимических исследований на восточном склоне Южного Урала.— «Сов. геология», 1967, № 3.
- Воробьев Д. П., Ворошилов В. Н., Горовой П. Г., Шретер А. И.** Определитель растений Приморья и Приамурья. М.— Л., «Наука», 1966.
- Ворошилов В. Н.** Флора Советского Дальнего Востока. М., «Наука», 1966.
- Востокова Е. А.** Ботанические методы поисков ураносодержащих руд.— «Разведка и охрана недр», 1957, № 7.
- Высоцкий Н. К.** Несколько геоботанических наблюдений на Северном Урале.— «Почвоведение», 1904, т. 6, № 2.
- Гедымин А. В.** Интенсивность поглощения микроэлементов растительностью в ландшафтах Оренбургской области.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Герман-Русакова Л. Д.** Миграция элементов в зоне Блявинского медно-колчеданного месторождения на Южном Урале.— «Тр. ИГЕМ», вып. 68, М., Изд-во АН СССР, 1962.

- Гетманчук В. О. Опыт разработки и перспективы практического применения биогеохимического метода поисков рудных месторождений в Центральном Казахстане.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Гетманчук В. О., Иванчиков В. П., Журавлева В. Л., Шибрик В. И. Опыт разработки и перспективы применения биогеохимического метода поисков рудных месторождений в Казахстане.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных и редких металлов. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Гинзбург И. И. Вторичные ореолы рассеяния эндогенных рудных месторождений.— В кн.: Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов. М., «Недра», 1966.
- Гинзбург А. И., Ставров О. Д. К геохимии цезия.— «Геохимия», 1969, № 4.
- Гинзбург И. И., Россман Г. И., Муканов К. М., Борисевич П. В., Гольцман Ю. В., Иванов И. Б., Чернышов И. В. Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов. М., «Недра», 1966.
- Глазовская М. А. Содержание металлов в почвах различного типа.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М., Изд-во МГУ, 1964.
- Глазовская М. А., Макушина А. А., Павленко И. А., Божко М. Г., Гаврилова И. П. Геохимия ландшафтов и поиски полезных ископаемых на Южном Урале. М., Изд-во МГУ, 1961.
- Глико О. А. Ландшафтные условия и применение поисковых методов.— В кн.: Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых, т. 1. Поиски. М., «Недра», 1968.
- Гольдмидт В. М., Петере К. К геохимии бериллия.— В кн.: Сб. статей по геохимии редких элементов. М., ГОИТИ, 1938.
- Горчаковский П. Л., Никонова Н. Н. Закономерности накопления редких элементов некоторыми высшими растениями и их значение для поисков рудных месторождений.— В кн.: Теоретические вопросы фитоиндикации. Л., «Наука», 1971.
- Грабовская Л. И. Биогеохимические ореолы рассеяния месторождений тантала.— В кн.: Геохимические поиски эндогенных месторождений редких элементов (на примере тантала). М., «Недра», 1968.
- Грабовская Л. И., Астрахан Е. Д. Биогеохимические и геоботанические исследования при поисках редкометалльных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1963.
- Грабовская Л. И., Кузьмина Г. А. Опыт применения биогеохимического метода при поисках редкометалльных месторождений в районе развития сплошной многолетней мерзлоты.— В кн.: Вопросы прикладной геохимии, вып. 2. М., «Недра», 1971.
- Грабовская Л. И., Ковалевский А. Л., Малюга Д. П., Поликарпочкин В. В. Опыт разработки и перспективы развития биогеохимического метода поисков месторождений полезных ископаемых в СССР.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Григорьев А. М. К вопросу о возможности применения биогеохимического метода поисков золота в Бурятии.— «Матер. по геологии и полезн. ископ. Бурятской АССР», вып. 8. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1962.
- Григорьев Н. А., Поташко К. А., Чистяков Н. Е. Поведение цезия при выветривании минералов-носителей.— В кн.: Ежегодник Ин-та геологии и геохимии Уральского филиала АН СССР, 1970. Свердловск, 1971.
- Григорян Г. Б. Молибден и медь в ландшафтообразующих растениях на безрудных и рудных участках р. Вохчи.— «Вестн. МГУ. Серия V. География», 1967, № 3.
- Григорян Г. В. Смолевка скученноцветковая (*Silene compacta*) как индикатор медных месторождений.— «Вопр. прикл. геохимии», вып. 2. М., «Недра», 1971.
- Грим Р. К. Минералогия глин. М., Изд-во иностр. лит., 1956.
- Гуревич В. И., Шор Г. М. Номограмма для расчета результатов анализа растительных проб.— «Бюлл. научн.-техн. информ. Гос. геол. комитета СССР», 1963, № 5 (49).
- Гюльяхмедов А. Н., Магулинская Э. А. Содержание лития в основных типах почв Азербайджана.— «Почвоведение», 1970, № 7.
- Дворников А. Г., Овсянников Л. Б. Биогеохимические ореолы рассеяния халькофильных элементов в Нагольном кряже (Донбасс).— «Докл. АН СССР», 1970, т. 195, № 2.
- Дегенхардт Х. О геохимическом распределении циркония в литосфере.— В кн.: Геохимия редких элементов. М., Изд-во иностр. лит., 1959.
- Демидова Л. С. Фитоценоотические и биогеохимические признаки как индикаторы среды (при поисках полезных ископаемых).— В кн.: Теоретические вопросы фитоиндикации. Л., «Наука», 1971.
- Добролюбский О. К. Биологическое действие микроэлементов в связи с их положением в периодической системе Д. И. Менделеева.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Добролюбский О. К., Гончарова Н. П. Молибден в почвах и растениях юга Украины.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

- Дружинин А. В. Вольфрам.— В кн.: Металлы в осадочных толщах. М., «Наука», 1965.
- Дубов Р. И. Математическая обработка результатов биогеохимических исследований.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Ездаков В. И. Итоги биогеохимической съемки юго-западной оконечности Кураминских гор.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Ездакова Л. А. Накопление растениями некоторых элементов в условиях рудных районов.— В кн.: Матер. III Объединенной научн. конф. ученых г. Самарканда. Серия гуманитарных и естественных наук. Самарканд, Самарканд. Гос. ун-т, 1961.
- Ездакова Л. А. К биогеохимии лития.— В кн.: Биогеохимия растения. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Ездаков В. И., Ездакова Л. А. О поисках бериллиевых месторождений биогеохимическим методом.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Ездаков В. И., Ездакова Л. А. Использование биогеохимического метода при разведке на бериллий.— «Изв. высш. учебн. завед. Геология и разведка», 1968, № 3.
- Ездаков В. И., Дерипаскина С. И., Акаданова Н. Ф. Биогеохимическая характеристика Актаусского и Койташского интрузивов Нуратинских гор.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Ермекбаев А. Е. Опыт биогеохимических исследований в лугово-лесной зоне Северного Тянь-Шаня.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Ермекбаев А. Е. Результаты биогеохимических исследований на Туякском рудном поле Северного Тянь-Шаня.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Ермекбаев А. Е., Берембеков К. Б. Опыт проведения биогеохимической съемки в условиях песчаных пустынь Южного Прибалхашья.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Ермекбаев А. Е., Спасский Н. В., Берембеков К. Б., Баратов Г. Д. Методика и результаты проведения биогеохимической съемки в условиях песчаных пустынь Южного Прибалхашья.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Ефимов Н. В. Справочник таксатора. Хабаровск, Хабаровск. кн. изд-во, 1955.
- Жбанова К. И. Некоторые предварительные данные по применению геоботанического метода на редкометальном рудопроявлении Витимского плоскогорья. «Матер. по геологии и полезн. ископ. Бурятской АССР», вып. 8. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1962.
- Жбанова К. И., Жбанов Э. Ф. Печь для озоления биогеохимических проб.— «Разведка и охрана недр», 1966а, № 10.
- Жбанова К. И., Жбанов Э. Ф. Геоботанические наблюдения на двух рудопроявлениях в Восточной Сибири.— «Геохимия», 1966б, № 10.
- Жбанов Э. Ф., Ковалевский А. Л. Биогеохимические поиски молибденовых месторождений в Забайкалье.— В кн.: Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Л., «Наука», 1970.
- Жбанов Э. Ф., Жбанова К. И., Солодянкин М. В., Чабаненко В. А., Григорьев А. М. Результаты опытно-методических исследований по биогеохимическому методу поисков в Бурятской АССР.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Загоскина Е. И. Результаты опытно-методических биогеохимических работ в Ленском золотоносном районе.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Загоскин В. А. Применение биогеохимического метода поисков рудных месторождений в Иркутской области.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Загоскин В. А., Шиманский А. А. Вторичные лито- и биогеохимические ореолы рассеяния на редкометальных пегматитовых месторождениях.— В кн.: Ореолы рассеяния месторождений Восточной Сибири. М., «Наука», 1971.
- Загоскин В. А., Загоскина Е. И., Лохтина Н. М., Мясников А. А., Юдин Б. И., Шиманский А. А. Основные результаты опытно-методических биогеохимических исследований в Восточной Сибири.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Загребина Н. Л. Особенности поглощения химических элементов растениями горных районов и их значение для поисков рудных месторождений.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Закиров К. З., Риш М. А., Ездаков В. И. Накопление микроэлементов в растениях, произрастающих в условиях рудного поля.— «Узб. биол. ж.», 1959, № 1.

Залашкова Н. Е., Лизунов Н. В., Ситнин А. А. Опыт металлометрической съемки на бериллий в районе развития бериллиеосных пегматитов, закрытых наносами.— «Разведка и охрана недр», 1958, № 8.

Засорина Е. Ф., Баситова С. М. Содержание стронция в растениях стронциевой биогеохимической провинции Южного Таджикистана.— В кн.: Биогеохимия растений, Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

Захаров Е. П. К методике биогеохимического метода поисков кобальтовых руд в условиях Тувинской АССР.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Захаров Е. П. Изменение содержания микроэлементов в растениях, произрастающих на кобальтовом месторождении. Тез. докл. III Сиб. конф. «Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока». Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969а.

Захаров Е. П. Ландшафтно-геохимическое районирование Тувинской АССР в связи с геохимическими поисками месторождений полезных ископаемых. Тез. докл. III Сиб. конф. «Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока», Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969б.

Захаров Е. П. О возможности поисков кобальтовых руд по соку березы *Betula verrucosa*. Тез. докл. III Сиб. конф. «Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока». Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969в.

Захаров Е. П. Поиски кобальтовых руд по объемному весу золы растений. Тез. докл. III Сиб. конф. «Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока». Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969г.

Захаров Е. П. Экспериментальные исследования по окислению и электрохимическому растворению арсенидов и их значение для биогенной миграции химических элементов. Тез. докл. III Сиб. конф. «Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока». Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969д.

Захаров Е. П. К методике биогеохимического метода поисков кобальтовых руд в условиях Тувинской АССР.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969е.

Захаров Е. П. Ландшафтно-геохимические и геоботанические исследования в связи с биогеохимическими поисками кобальтовых и кобальтово-медных руд Тувы.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969ж.

Захаров Е. П., Захарова Г. П. Тератологический метод поисков кобальтовых и кобальтово-медных руд. Тез. докл. III Сиб. конф. «Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока». Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969з.

Захаров Е. П., Захарова Г. П. О возможности применения биогеохимического метода поисков кобальтовых руд в зимних условиях (Тувинская АССР).— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969а.

Захаров Е. П., Захарова Г. П. О геохимической экологии и тератологии растений, произрастающих на кобальтовых и кобальтово-медных месторождениях Центральной Тувы.— В кн.: Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Л., «Наука», 1970.

Зимовец Б. А. Почвенно-геохимические процессы муссонно-мерзлотных ландшафтов. М., «Наука», 1967.

Знамировский В. Н. Находка металлической ртути в сосне.— «Тр. Иркутск. политех. ин-та», вып. 30, 1966.

Знамировский В. Н. К вопросу о биогеохимических поисках ртути.— В кн.: Матер. конф. молодых научных сотрудников Вост.-Сиб. НИИГГиМС. Иркутск, 1967.

Ибламинов Р. Г., Кропачев А. М. Микроэлементы в сфагновых мхах верховых болот Северного Урала.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Иванов Д. Н. Распределение лития, рубидия и цезия в продуктах современного выветривания и в почвах.— «Журн. выветривания», 1956, № 2.

Иванов Ю. Г., Томашунас Э. В. Минералогия Ханкайского района Приморского края.— «Матер. I Всес. конф. по геологии и металлогении Тихоокеанского рудного пояса», вып. I. Владивосток, 1960.

Ивашов П. В. К методике поисков ртутных месторождений в горно-таежных условиях.— «Разведка и охрана недр», 1961, № 6.

Ивашов П. В. О биологических факторах выветривания пород и минералов.— В кн.: Вопр. геогр. изучения Дальнего Востока. Хабаровск, 1965.

Ивашов П. В. Некоторые задачи ландшафтно-геохимических исследований. Тез. докл. научн. конф. «Охрана, рациональное использование и воспроизводство естественных ресурсов Приамурья», Хабаровск, Хабаровск. кн. изд-во, 1967.

Ивашов П. В. Основные задачи ландшафтно-геохимических исследований с целью разработки теоретических основ геохимических методов поисков рудных месторождений на территории юга Дальнего Востока.— В кн.: Геоморфологические, ландшафтные и биогеохимические исследования в Приамурье. М., «Наука», 1968а.

Ивашов П. В. Изучение современной коры выветривания в горных районах юга Дальнего Востока в связи с поисками рудных месторождений.— В кн.: Проблемы изучения четвертичного периода. Хабаровск, Хабаровск. кн. изд-во, 1968б.

Ивашов П. В. Геохимия современной коры выветривания, сформированной на вулканогенных породах юга Дальнего Востока.— В кн.: Проблемы геологии и металлогении вулканогенных поясов. Матер. XVIII научн. конф. геол. факультета Дальневосточного политехн. ин-та им. В. В. Куйбышева. Владивосток, 1968в.

Ивашов П. В. Влияние биогеохимических процессов на термодинамическое равновесие соединений марганца в почвах юга Дальнего Востока.— В кн.: Геоморфологические, ландшафтные и биогеохим. исследования в Приамурье. М., «Наука», 1968 г.

Ивашов П. В. Значение биологических факторов в выветривании пород и минералов.— В кн.: Биогеохимия зоны гипергенеза. М., «Наука», 1971а.

Ивашов П. В. Опыт разработки теоретических основ биогеохимического метода поисков оловорудных месторождений применительно к южной части Дальнего Востока.— В кн.: Биогеохимия зоны гипергенеза. М., «Наука», 1971б.

Ивашов П. В. Современная кора выветривания в рудных районах горной части юга Дальнего Востока и изучение ее состава в связи с поисками рудных месторождений.— В кн.: Биогеохимия зоны гипергенеза. М., «Наука», 1971в.

Ивашов П. В. Гипергенные ореолы вольфрама и молибдена в условиях Дальнего Востока.— «Материалы II сессии Сибирской секции», вып. 2, ч. 1. Улан-Удэ, 1972а.

Ивашов П. В. Литий в растениях на редкометалльных пегматитах.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и применение их в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ. Бурятск. кн. изд-во, 1972б.

Ивашов П. В. Содержание свинца в растениях на участках оловянной минерализации разного генетического типа.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и применение их в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, 1972в.

Ивашов П. В. Ландшафтно-геохимические исследования на оловорудных месторождениях Дальнего Востока с целью оценки гипергенных аномалий.— В кн.: Вопросы применения геохимии ландшафта при поисках рудных месторождений. Алма-Ата, Изд-во Казахского ин-та минерального сырья, 1973а.

Ивашов П. В. Природные ландшафты и геохимические методы поисков рудных месторождений.— В кн.: Ландшафты юга Дальнего Востока. Новосибирск, «Наука», 1973б.

Ивашов П. В. Экогенные ореолы рассеяния золота на россыпном рудопроявлении Нижнего Амура.— В кн.: Геохимические методы поисков месторождений золота по вторичным ореолам рассеяния. Записки Забайкальского филиала Геогр. об-ва СССР, вып. 88. Чита, 1973в.

Ивашов П. В. Минералогия и геохимия бурых лесных почв, развитых на кварцево-слюдистых сланцах с редкометалльной минерализацией.— В кн.: Вопросы эволюции ландшафтов юга Дальнего Востока, Хабаровск, 1974.

Ивашов П. В. Геохимия олова в современной коре выветривания кислых эффузивов юга Дальнего Востока.— Изв. высших учеб. завед. Геология и разведка, 1975, № 10.

Ивашов П. В., Бардюк В. В. О методике ландшафтно-геохимических исследований с целью разработки биогеохимического метода поисков.— В кн.: Итоги и перспективы внедрения новых методов географических исследований. Иркутск, 1966.

Ивашов П. В., Бардюк В. В. Биогеохимические исследования на оловорудном месторождении Дальнего Востока.— «Геохимия», 1967, № 2.

Ивашов П. В., Бардюк В. В. Полевой способ сжигания растительных проб при применении биогеохимического метода поисков рудных месторождений в условиях Дальнего Востока.— В кн.: Геоморфологические, ландшафтные и биогеохимические исследования в Приамурье. М., «Наука», 1968а.

Ивашов П. В., Бардюк В. В. Минералогия и геохимия бурых лесных почв на оловорудном месторождении Дальнего Востока.— В кн.: Геоморфологические, ландшафтные и биогеохимические исследования в Приамурье. М., «Наука», 1968б.

Ивашов П. В., Бардюк В. В. Микроэлементы в бурых лесных почвах на серпентинитовом массиве Приморья.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, 1969а.

Ивашов П. В., Бардюк В. В. Опытно-методические биогеохимические исследования на бериллиевом рудопроявлении.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока, Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969б. (Тез. докл. III Сиб. конф.).

Ивашов П. В., Бардюк В. В. К биогеохимии олова в растениях.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969в. (Тез. докл. III Сиб. конф.).

Ивашов П. В., Бардюк В. В. О возможности применения биогеохимического метода поисков оловорудных месторождений в южной части Дальнего Востока.— В кн.: Геохимические циклы Дальнего Востока. Владивосток, 1969г.

Ивашов П. В., Бардюк В. В. Ландшафтно-геохимические исследования на рудных месторождениях юга Дальнего Востока. Л., «Наука», 1970а.

Ивашов П. В., Бардюк В. В. Литий, рубидий и цезий в почвах на редкометалльном месторождении Дальнего Востока.— В кн.: Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Л., «Наука», 1970б.

Ивашов П. В., Бардюк В. В. Изучение особенностей накопления циркония в почвах и растениях на редкометальном месторождении юга Дальнего Востока с целью разработки литогеохимического и биогеохимического методов поисков.— В кн.: Биогеохимия зоны гипергенеза. М., «Наука», 1974.

Ивашов П. В., Бардюк В. В., Бабурич А. А., Кольцова А. Г. Биогеохимические исследования на вольфрамовом рудопроявлении Приморья.— В кн.: Физико-географические и ландшафтно-геохимические исследования в южной части Дальнего Востока. «Наука», М., 1975.

Игумнов Н. Я., Сает Ю. Е. Почвенно-биогеохимические поиски бора в условиях ландшафтов широколиственных лесов. Бюлл. науч.-техн. информ., № 5. Биогеохимические поиски в различных ландшафтных условиях. М., ОНТИ ВИЭМС, 1968.

Ильин В. Б. К биогеохимии молибдена в ландшафтах Западной Сибири.— «Изв. СО АН СССР. Серия биол.-мед. наук», вып. 3, 1966, № 12.

Ильин В. Б. К содержанию бора и молибдена в растениях юга Западной Сибири.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., «Недра», 1965.

Ищикон М. П., Матвеев В. Т., Радкевич Е. А. Главнейшие черты металлогении Тихоокеанского рудного пояса в пределах СССР.— «Матер. I Всес. конф. по геологии и металлогении Тихоокеанского рудного пояса», вып. 1. Владивосток, 1960.

Кабианвили В. И. Биогеохимическое значение рассеянного в природе вольфрама.— «Сообщение АН ГрузССР», 1964, т. 35, № 1.

Каганович С. Я., Потемкин К. В. Цирконий и гафний.— В кн.: Металлы в осадочных толщах. М., «Наука», 1965.

Казинин Ю. В., Александров Г. В. Концентрация металлов растениями над молибденовым месторождением в условиях многолетней мерзлоты.— В кн.: Материалы Всес. научн.-иссл. геол. ин-та, вып. 32. Л., Госгеолтехиздат, 1960.

Канищева Л. И. Турмалиновый тип касситерит-силикатного оруденения в Южном Приморье.— В кн.: Вопр. геологии, геохимии и металлогении Западного сектора Тихоокеанского пояса. Владивосток, Приморск. кн. изд-во, 1970.

Карбух Д. В. Биогеохимические исследования в районе трех штатов.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений. М., Изд-во иностран. лит., 1954.

Карпинский А. М. Могут ли живые растения быть указателями горных пород и формаций, на которых они встречаются, и заслуживает ли местопроизрастания (stationes) их особенного внимания геоноста?— «Ж. садоводства», 1841, № 3—4.

Качинский Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М., Изд-во АН СССР, 1958.

Кист А. А., Кист С. М., Крыленкова Н. А., Лобанова Е. М., Орестова И. И., Якубов А. М. Нейтронно-активационный анализ объектов биосферы.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Ключковский В. М., Гулякин И. В. Поведение в почвах и растениях микроколичеств стронция, цезия, рутения и циркония.— «Почвоведение», 1968, № 3.

Ключковский В. М., Соколова Л. Н., Целищева Г. И. Сорбция микроколичеств стронция и цезия в почвах.— «Докл. советских ученых на Междунар. конф. по мирному использованию атомной энергии», вып. 5. М., Атомиздат, 1959.

Ковалевский А. Л. Радий в растениях как поисковый признак урановых месторождений.— «Тр. СНИИГГиМС». Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1960.

Ковалевский А. Л. О естественных радиоактивных элементах в растениях.— «Изв. СО АН СССР», 1962, № 4.

Ковалевский А. Л. Некоторые вопросы теории и практики биогеохимического метода поисков месторождений.— «Геология и геофизика», 1963а, № 6.

Ковалевский А. Л. О некоторых закономерностях накопления растениями элементов второй группы периодической системы Д. И. Менделеева.— «Изв. СО АН СССР», вып. 1, 1963б, № 4.

Ковалевский А. Л. Об относительных параметрах и методах их статистической обработки.— В кн.: Микроэлементы в Сибири, вып. 4. Улан-Удэ, 1965.

Ковалевский А. Л. Биогеохимические исследования и поиски месторождений полезных ископаемых в СССР.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966а. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Ковалевский А. Л. Закономерности поглощения химических элементов растениями как важный фактор в разработке биогеохимического метода поисков месторождений.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966б. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Ковалевский А. Л. О введении поправок на различное поглощение химических элементов видами растений при биогеохимических поисках.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966в. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Ковалевский А. Л. О закономерностях поглощения растениями элементов второй и шестой групп периодической системы Д. И. Менделеева.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966г. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Ковалевский А. Л. Цинк в растениях как универсальный биогеохимический индикатор некоторых типов месторождений полезных ископаемых.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1966д. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Ковалевский А. Л. К биогеохимии вольфрама в растениях.— «Геохимия», 1966е, № 6.

Ковалевский А. Л. О методике определения глубинности биогеохимического метода поисков полезных ископаемых.— «Геология и геофизика», 1967а, № 8.

Ковалевский А. Л. Некоторые закономерности поглощения естественных радиоактивных элементов растениями.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1967б. (Тез. докл. II Сиб. конф.).

Ковалевский А. Л. Некоторые особенности биогеохимии фтора в почвах и растениях.— В кн.: Микроэлементы в Сибири, вып. 5. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1967в.

Ковалевский А. Л. О введении поправок на различное поглощение химических элементов видами растений при биогеохимических поисках.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1968а. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Ковалевский А. Л. О взаимосвязи биогеохимических, биологических и геологических исследований.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1968б. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Ковалевский А. Л. Некоторые особенности поглощения молибдена растениями.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969а. (Тез. докл. III Сиб. конф.).

Ковалевский А. Л. О реальной точности исследований и оптимальной погрешности анализов биогенных материалов.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969б. (Тез. докл. III Сиб. конф.).

Ковалевский А. Л. О физиологических барьерах поглощения химических элементов растениями.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969в. (Тез. докл. III Сиб. конф.).

Ковалевский А. Л. Основные закономерности формирования химического состава растений.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969г.

Ковалевский А. Л. О биогеохимических параметрах растений и некоторых особенностях изучения их.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969д.

Ковалевский А. Л. К биогеохимии молибдена в растениях.— В кн.: Микроэлементы в растениях. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1969е. (Тр. Бурят. ин-та естеств. наук, вып. 5. Серия биогеохим.).

Ковалевский А. Л. Закономерности поглощения химических элементов растениями как важный фактор в разработке биогеохимического метода поисков.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969ж.

Ковалевский А. Л. Цинк в растениях как универсальный биогеохимический индикатор некоторых типов рудных месторождений.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969з.

Ковалевский А. Л. К биогеохимическим поискам молибдена.— «Геология и геофизика», 1969и, № 9.

Ковалевский А. Л. Опыт разработки, практическое применение и перспективы развития биогеохимических методов поисков рудных месторождений.— В кн.: Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Л., «Наука», 1970.

Ковалевский А. Л., Ковалевская О. М. О возможности использования полевых методов озеленения проб растений при биогеохимических поисках месторождений.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Ковалевский А. Л., Ковалевская О. М. О возможности использования полевых методов озеленения проб растений при биогеохимических исследованиях.— В кн.: Микроэлементы в Сибири, вып. 5. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1967.

Ковалевский А. Л., Ковалевская О. М. О возможности использования полевых методов озеленения проб растений при биогеохимических поисках.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1969.

Ковалевский А. Л., Чимитдоржиева Г. Д. О подвижных формах химических элементов в растениях.— В кн.: Микроэлементы в Сибири, вып. 6. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1968.

Ковальский В. В., Ермаков В. В. Биогеохимическая селеновая провинция Тувы.— «Геохимия», 1967, № 1.

Ковальский В. В., Петрунина Н. С. Геохимическая экология и эволюционная изменчивость растений.— В кн.: Проблемы геохимии, М., «Наука», 1965.

Ковальский В. В., Петрунина Н. С. Картирование борной биогеохимической провинции Северо-Западного Казахстана.— «Геохимия», 1970, № 10.

- Ковальский В. В., Петрунина Н. С. К проблеме геохимической экологии растений в связи с фитоиндикационными исследованиями.— В кн.: Теоретические основы фитоиндикации. Л., «Наука», 1971.
- Кожара В. Л. Литогеохимические и биогеохимические поиски в мералотных ландшафтах.— «Разведка и охрана недр», 1964, № 3.
- Козлова Р. В., Ковалевский А. Л. О влиянии погрешностей анализов на результаты биогеохимических исследований.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Кокотов Ю. А., Попова Р. Ф., Урбанюк А. П. Сорбция долгоживущих продуктов деления почвами и глинистыми минералами.— «Радиохимия», 1961, № 2.
- Колесников Б. П. Растительность.— В кн.: Дальний Восток (Физико-географическая характеристика). М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Колесников Б. П. Растительность.— В кн.: Южная часть Дальнего Востока. М., «Наука», 1969.
- Колотов Б. А., Киселева Е. А., Рубейкин В. З. К вопросу о вторичном рассеянии рудных месторождений.— «Геохимия», 1965, № 7.
- Комаров В. Л., Клубукова-Алисова Е. Н. Определитель растений Дальневосточного края. Л., Изд-во АН СССР, 1932.
- Комский М. М., Мицкевич Б. Ф. Распределение микроэлементов в древесной растительности Украинского Полесья.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Комский М. М., Мицкевич Б. Ф. Микроэлементы в древесных растениях Украинского Полесья.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Константинов В. М. Возможность применения биогеохимического метода поисков урана в условиях аридного климата.— «Сов. геология», 1963, № 3.
- Коренбаум С. А., Щека С. А. Некоторые закономерности размещения магнетитно-силикатных полезных ископаемых в Приморье.— В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. VI. М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Кочубей А. В. Выступление на Первом Всесоюзном совещании по геохимическим методам поисков рудных месторождений.— В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Крайнов С. Р. Особенности геохимии цезия в подземных водах различных глубинных зон земной коры.— «Геохимия», 1970, № 8.
- Крайнов С. Р., Капранов С. Д. Особенности формирования водных ореолов рассеяния и гидрохимические поисковые признаки месторождений лития.— В кн.: Формирование и геохимия подземных вод Сибири и Дальнего Востока. М., «Наука», 1967.
- Крайнов С. Р., Капранов С. Д., Петрова Н. Г. Основные особенности геохимии вольфрама в подземных и поверхностных водах районов вольфрамовых месторождений.— «Геохимия», 1965, № 10.
- Красников В. И. Современное состояние и ближайшие задачи прикладной геохимии.— В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., «Недра», 1965.
- Красный Л. И. Основные вопросы тектоники Хабаровского края и Амурской области.— «Матер. ВСЕГЕИ. Новая серия», вып. 37. Л., 1960.
- Красный Л. И., Кропоткин П. Н., Воларович Г. П. Основные черты геологического строения северо-западной части Тихоокеанского рудного пояса.— «Матер. I Всес. конф. по геологии и металлогении Тихоокеанского рудного пояса», вып. I. Владивосток, Приморск. кн. изд-во, 1960.
- Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., «Недра», 1964.
- Крицук Н. И. О роли сорбции в формировании элювиально-делювиальных ореолов рассеяния.— «Уч. зап. Ленингр. горн. ин-та», 1963, т. 45, вып. 2.
- Куземкина Е. Н. Никеленосная кора выветривания на ультрабазитах Кольского массива (Северный Урал).— В кн.: Кора выветривания на серпентинитовых массивах. Кора выветривания, вып. 9. М., «Наука», 1965.
- Кузин М. Ф. Опыт применения биогеохимического метода для поисков редкометалльных месторождений.— «Разведка и охрана недр», 1959, № 11.
- Кузина К. И. Особенности биогеохимического метода поисков бора в условиях полупустынных ландшафтов.— «Бюлл. научн.-техн. информ.», № 4. Биогеохимические поиски в различных ландшафтных условиях. М., ОНТИ ВИЭМС, 1968а.
- Кузина К. И. Некоторые особенности накопления бора растениями.— «Бюлл. научн.-техн. информ.», № 4. Биогеохимические поиски в различных ландшафтных условиях. М., ОНТИ ВИЭМС, 1968б.
- Кузина К. И. О распределении бора и других микроэлементов в растениях.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1969.

- Кузина К. И. Возможность использования растений при поисках месторождений бора.— В кн.: Теоретические вопросы фитоиндикации. Л., «Наука», 1971.
- Куренцова Г. Э. Растительность Приханкайской равнины и окружающих предгорий. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1962.
- Куренцова Г. Э. Растительный покров Приуссурийской части среднего Амура. Владивосток, Приморск. кн. изд-во, 1965.
- Куренцова Г. Э. Очерк растительности Еврейской автономной области. Владивосток, 1967.
- Куренцова Г. Э. Растительность Приморского края. Владивосток, 1968.
- Кухаренко А. А. Минералогия россыпей. М., Госгеолтехиздат, 1961.
- Кухаренко А. А., Кравцов Я. М. К геохимии циркония и бериллия в ультраосновных щелочных породах.— «Докл. АН СССР», 1960, т. 134, № 4.
- Кэнон Х. Д., Клейнхемп Ф. Ботанические методы, применяемые для поисков урана.— В кн.: Геология атомных сырьевых материалов. М., Госгеолтехиздат, 1956.
- Лебедев В. И. О некоторых факторах, определяющих миграцию щелочных и щелочноземельных элементов в зоне гипергенеза.— «Геохимия», 1957а, № 6.
- Лебедев В. И. Основы энергетического анализа геохимических процессов. Л., Изд-во ЛГУ, 1957б.
- Леванидов А. Я., Лысенко А. И., Просвирина Л. В., Сафронова Г. П., Хромова Л. С. Биогенная миграция марганца в геохимических ландшафтах Южного Урала и Западной Сибири.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Левашов Г. Б., Гречищева А. П. Некоторые особенности геохимии вольфрама и молибдена в рудоносных гранитоидах Приморья.— В кн.: Вопр. геологии, геохимии и металлогении северо-западного сектора Тихоокеанского пояса. Владивосток. Приморск. кн. изд-во, 1970.
- Левина С. Д. Минеральные формы вольфрама в окисленных скарнах Средней Азии.— «Зап. Всес. минералог. об-ва», ч. 83, 1954, № 2.
- Ливеровский Ю. А. О ландшафте равнин Южного Приморья и Приамурья и его генезисе.— В кн.: Проблемы физической географии, вып. 12. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1946.
- Ливеровский Ю. А. Основные особенности географии и генезиса почв южной половины Дальнего Востока.— В кн.: Особенности почвообразования в зоне бурых лесных почв. Владивосток. Приморск. кн. изд-во, 1967.
- Ливеровский Ю. А. Почвы.— В кн.: Южная часть Дальнего Востока. М., «Наука», 1969.
- Ливеровский Ю. А., Карманов И. И. Почвы.— В кн.: Дальний Восток (Физико-географическая характеристика). М., Изд-во АН СССР, 1961.
- Ливеровский Ю. А., Рубцова Л. П. Почвенно-географическое районирование Приморья.— В кн.: Вопр. природного районирования Советского Дальнего Востока в связи с районной планировкой. М., Изд-во МГУ, 1962.
- Лисицына Н. А. К методике геохимического изучения кор выветривания.— «Литология и полез. ископ.», 1966, № 1.
- Лисицына Н. А. Генетические типы современных и четвертичных кор выветривания основных пород влажных тропиков.— «Литология и полез. ископ.», 1967, № 5.
- Литвин П. З., Осипова О. А., Фролова М. Ф. Возможность применения геоботанических методов при геологическом картировании и поисках в Ангаро-Илимском районе.— «Разведка и охрана недр», 1963, № 1.
- Ловринг Т. С., Хафф Л. С., Альманд Х. Рассеяние меди вокруг медного месторождения Сан-Мануэль, округ Пайналь, Аризона.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений. М., Изд-во иностр. лит., 1954.
- Лохтина Н. М. Результаты опытных работ по биогеохимическому опробованию на ленских медистых песчаниках.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Лукашев К. И. Основы литологии и геохимии коры выветривания. Минск, Изд-во АН СССР, 1958.
- Лукашев К. И., Лукашев В. К. Геохимические поиски в зоне гипергенеза. Кн. 1, 2. Минск, «Наука и техника», 1967.
- Любофеев В. Н., Балицкий В. С., Черкасов М. И. Опыт применения биогеохимического метода исследования.— «Тр. по геологии и полез. ископ. Северного Кавказа», вып. 10, 1962.
- Майоров Н. Ф. О методике анализа проб растительной подстилки при биогеохимической съемке.— «Учен. зап. Ленингр. горн. ин-та», 1963, т. 45, вып. 2.
- Макарова А. И. Биогеохимические исследования на полиметаллическом месторождении.— «Геохимия», 1960, № 7.
- Максимов Н. А. Краткий курс физиологии растений. М., Сельхозгиз. 1952.
- Мак Юан Д. М. К. Монтмориллонитовые минералы.— В кн.: Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов. М., «Мир», 1965.
- Мальгин М. А. Некоторые закономерности поглощения марганца растениями Алтая.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Малюга Д. П. О почвах и растениях как поисковым признаке на металлы.— «Изв. АН СССР. Серия. геол.», 1947, № 3.

Малюга Д. П. О биогеохимических провинциях на Южном Урале.— «Докл. АН СССР», 1950, т. 70, № 2.

Малюга Д. П. Опыт применения почвенно-флористического метода разведки в условиях Зауральской степной провинции.— «Докл. АН СССР», 1951, т. 76, № 2.

Малюга Д. П. Опыт применения биогеохимического метода поисков рудных месторождений на Южном Урале.— «Тр. Биогеохим. лаборатории АН СССР», т. 10, М., Изд-во АН СССР, 1954.

Малюга Д. П. Опыт биогеохимических поисков молибдена в Армении.— «Геохимия», 1958, № 3.

Малюга Д. П. К содержанию меди и молибдена в почвах и растениях над рудными месторождениями.— В кн.: Применение микроэлементов в сельском хозяйстве и медицине. Рига, 1959а.

Малюга Д. П. Применение биогеохимического метода при поисках и разведке медно-молибденовых руд.— «Разведка и охрана недр», 1959б, № 1.

Малюга Д. П. Распределение меди и молибдена в почвах, водах и растениях Каджаранского рудного района Армянской ССР.— «Тр. Биогеохим. лаборатории АН СССР», т. 11, М., Изд-во АН СССР, 1960.

Малюга Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1963.

Малюга Д. П. Полярографический метод определения микроэлементов при биогеохимических, агрохимических и биологических исследованиях.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Малюга Д. П., Айвазян А. Д. Содержание микроэлементов в некоторых культурных и диких злаках.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969а.

Малюга Д. П., Айвазян А. Д. Содержание микроэлементов в различных видах растений при разной степени полиметаллической минерализации.— В кн.: Микроэлементы в растениях.— «Тр. Бурятского ин-та естественных наук БФ СО АН СССР, № 5. Серия биогеохим.». Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969б.

Малюга Д. П., Айвазян А. Д. Опыт выделения ландшафтов рудных месторождений на Рудном Алтае.— В кн.: Геохимия ландшафта, вып. 3, М., Изд-во Геогр. об-ва, 1969в.

Малюга Д. П., Айвазян А. Д. Опыт биогеохимических исследований на Рудном Алтае.— «Геохимия», 1970, № 3.

Малюга Д. П., Ботова М. М. Применение биогеохимического метода поисков редких элементов в условиях пустынь Средней Азии.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Малюга Д. П., Макарова А. И. О содержании кобальта в почвах и растениях Тувы.— «Докл. АН СССР», 1954, т. 98, № 5.

Малюга Д. П., Макарова А. И. Опыт биогеохимических поисков рудных месторождений в Тувинской автономной области.— «Геохимия», 1956, № 1.

Малюга Д. П., Петрунина Н. С. Биогеохимические исследования в Тувинской автономной области.— «Геохимия», 1961, № 3.

Малюга Д. П., Мальшкин Н. С., Макарова А. И. Биогеохимические исследования в Каджарахе, Армянской ССР.— «Геохимия», 1959, № 5.

Малюга Д. П., Махова Н. Н., Никитина Р. Г. К биогеохимии руды в почвах и растениях.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

Малюга Д. П., Макарова А. И., Махова Н. Н., Никитина Р. Г. Опыт комплексных геохимических и биогеохимических исследований при поисках меди в Кедабекском районе Азербайджанской ССР.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Малюга Д. П., Макарова А. И., Махова Н. Н., Никитина Р. Г. Биогеохимическое прогнозирование на медь в Кедабекском районе Азербайджанской ССР.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

Малюга Д. П., Макарова А. И., Махова Н. П., Ниязов А. Х. Биогеохимические провинции с повышенным содержанием марганца, кобальта, меди и других микроэлементов в почвах и растениях Кедабекского района Азербайджанской ССР.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Малюга Д. П., Надирадзе В. Р., Чаргейшвили Я. П., Макарова А. И. Биогеохимический метод поисков в условиях высокогорной части Западной Грузии.— «Геохимия», 1960, № 4.

Мармо В. Биогеохимические исследования в Финляндии.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождения. М., Изд-во иностр. лит., 1954.

Материков М. П. О некоторых различиях в формах связи касситерито-сульфидных месторождений с интрузиями (на примере Приморья).— В кн.: Магматизм и связь с ним полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1960.

Махнин В. А. Закономерности пространственного размещения пегматитовых полей Приамурья.— «Матер. I Всес. конф. по геологии и металлогении Тихоокеанского рудного пояса», вып. II. Владивосток, Приморск. кн. изд-во, 1960.

- Махинин В. А.** Дальневосточное геологическое управление.— В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений. (Основные результаты и направления дальнейших работ в геологических организациях Советского Союза). М., «Недра», 1969.
- Меленко А. Е., Самбуева А. С., Татарнинова Н. А., Шипицын С. А.** Спектральный метод исследования потерь химических элементов при термическом озолении органических проб.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Мельниченко А. К., Могаровский В. В.** К геохимии рубидия и калия в гранодиоритах Гиссарского плутона.— В кн.: Магматизм и металлогения Таджикистана. Душанбе, «Дониш», 1968.
- Методические материалы** о разрешающих возможностях анализов и исследований, применяемых в специализированных лабораториях Центральной комплексной лаборатории Уральского геологического управления. Свердловск, Изд-во УГУ, 1964.
- Миллер С. Д.** Методика и результаты металлометрических работ в Казахстане.— В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Миша Н. В.** Выщелачивание некоторых веществ осадками из древесных растений и его значение в биологическом круговороте.— «Почвоведение», 1965, № 6.
- Михайленко М. М.** О метаморфизации атмосферных осадков в лесу.— В кн.: Физические и химические свойства почв Бурятской АССР. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966.
- Мицкевич Б. Ф.** Опыт применения биогеохимического метода поисков на Украине.— «Бюлл. научн.-техн. информ.», № 1 (35). М., Госгеолтехиздат, 1962.
- Мицкевич Б. Ф.** Биогеохимические исследования в Северном Казахстане.— В кн.: Матер. по геологии, геофизике и геохимии Украины, Казахстана, Забайкалья. Киев. Изд-во Киевск. ун-та, 1963. (Сборник научных работ, № 1).
- Мицкевич Б. Ф.** Опыт разработки биогеохимического метода поисков месторождений полезных ископаемых на Украине и в Молдавии.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Мицкевич Б. Ф.** Опыт разработки и перспективы развития биогеохимического метода поисков на Украине.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Мицкевич Б. Ф., Галецкий Л. С.** Перспективы применения геохимических методов поисков цветных и редких металлов на Украине.— «Геол. ж. АН УССР», 1970, т. 29, вып. 1.
- Мицкевич Б. Ф., Комский М. М.** Об активной роли растений в процессе выветривания.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Мицкевич Б. Ф., Шелкопляс В. Н.** Условия применения геохимических методов поисков в Центральной части Украинского щита.— «Геол. ж. АН УССР», 1966, т. 26, вып. 3.
- Мицкевич Б. Ф., Комский М. М., Курилик А. К.** Опыт ландшафтно-геохимических исследований в северо-западной части Украинского щита.— «Докл. АН УССР», 1966, № 7.
- Моиссенко У. И.** Опыт применения биогеохимической съемки при поисках месторождений урана на заболоченных площадях.— «Геохимия», 1959, № 1.
- Морозов Н. П.** К геохимии щелочных элементов в морских осадках.— «Литология и полезн. ископ.», 1968а, № 6.
- Морозов Н. П.** Литий и рубидий в водах внутренних морей.— «Океанология», 1968б, т. VIII, вып. 4.
- Морозов Н. П.** К геохимии щелочных элементов в речном стоке.— «Геохимия», 1969, № 6.
- Моррис Х. Т., Ловеринг Т. С.** Гипергенное и гидротермальное рассеяние тяжелых металлов в боковых породах близ рудных тел в районе Тантак, Юта.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений. М., Изд-во иностр. лит., 1954.
- Мясников В. С.** Получение синтетического шеллита и некоторые соображения о его генезисе в природе.— «Докл. АН СССР», 1941, т. 33, № 6.
- Мясников А. А.** Опыт биогеохимических исследований на медносulfидном рудопоявлении Восточного Саяна.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Мясников А. А., Осипова О. А.** Опыт применения биогеохимического метода поисков рудных месторождений в Западном Прибайкалье. В кн.: Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Л., «Наука», 1970.
- Назаров А. Г.** Особенности биогеохимического метода поисков полиметаллических месторождений в высокогорном Дагестане.— «Изв. высш. учебн. завед. Геология и разведка», 1969, № 8.
- Несветайлова Н. Г.** О геоботаническом методе поисков медных и полиметаллических руд.— «Разведка и охрана недр», 1955а, № 4.
- Несветайлова Н. Г.** Геоботанические исследования при поисках рудных месторождений.— «Тр. Всес. Аэрогеол. треста», вып. 1. М., Госгеолтехиздат, 1955б.

- Несветайлова Н. Г.** Опыт составления карты поверхностных рудопроявлений по ботаническим данным на Рудном Алтае.— В кн.: Вопр. индикационной геоботаники. М., Изд-во МОИП, 1960.
- Несветайлова Н. Г.** Ботанические показатели полезных ископаемых.— В кн.: Геоботанические методы при гидрогеол. и инженерно-геол. исследовании. М., 1962. (Тр. ВСЕГИНГЕО).
- Несветайлова Н. Г.** Ботанические показатели полезных ископаемых. (Обзор методов и анализ индикационных показателей). Обзор, вып. 31, серия: методы геологической съемки, поисков, разведки и оценки месторождений. М., ОНТИ ВИЭМС, 1965.
- Несветайлова Н. Г.** Изучение индикационной роли растений при поисково-геохимических исследованиях.— «Бюлл. научн.-техн. информ.», № 4. Биохимические поиски в различных ландшафтных условиях». М., ОНТИ ВИЭМС, 1968.
- Несветайлова Н. Г.** Поиски руд по растениям. М., «Недра», 1970.
- Нечаев Ю. А., Финкель Б. С.** Микроэлементы в некоторых торфяниках Пермской области.— «Бюлл. научн.-техн. информ.», М., Госгеолтехиздат, 1963, № 6 (50).
- Никифорова П. К.** Интрузивные породы Кабаргинского месторождения.— В кн.: Вопр. геологии и рудоносности Дальнего Востока. Владивосток, 1965.
- Никифорова Е. М.** Торий, радий и уран в растениях Южного Забайкалья.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969. (Тез. докл. III Сиб. конф.).
- Николаева А. В.** Концентрация тория и редких земель растениями в разные периоды вегетации.— В кн.: Микроэлементы в растениях. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969. (Тр. Бурят. ин-та естеств. наук БФ СО АН СССР, № 5. Серия биогеохим.).
- Никонова Н. Н.** О накоплении бериллия, молибдена, циркония, иттрия и других редких элементов растениями на Южном Урале.— «Изв. СО АН СССР. Серия биол.-мед. наук», 1967, № 15, вып. 3.
- Никонова Н. Н.** Опыт использования фитоиндикации при поисках месторождений редких элементов на Урале.— В кн.: Теоретические вопросы фитоиндикации. Л., «Наука», 1971.
- Овчинников Л. Н., Григорян С. В., Гармаш А. А.** Успехи и проблемы прикладной геохимии.— «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1967, № 11.
- Оносовская А. А.** Марганцевые руды.— В кн.: Полезные ископаемые Красноярского края. Красноярск, 1938.
- Остроменцкий Н. М., Косов Б. М., Овчинников Д. И.** Оценка месторождений при поисках и разведках. Вып. 2. Олово. М., «Недра», 1966.
- Павлов Г. А., Кизяковский П. П., Ундзенков В. А.** Результаты металлометрических работ на территории Малого Хингана.— В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Павловский А. Б.** О зональности размещения оловорудных месторождений и минеральных комплексов.— В кн.: Минеральное сырье, вып. 11. М., «Недра», 1966.
- Пак А. С., Жбанов Э. Ф., Ковалевский А. Л.** К биохимическим поискам флюоритовых месторождений.— В кн.: Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Л., «Наука», 1970.
- Пампура В. Д., Труфанова Л. Г.** Литий и цезий в зонах аргиллизации Балейского золоторудного месторождения (Восточное Забайкалье).— «Геохимия», 1968, № 8.
- Парибок Г. А., Алексеева-Попова Н. В., Норин Б. Н.** Содержание микроэлементов в растениях лесотундры.— «Бот. ж.», 1967, № 1.
- Парфентьева Н. С.** Возможность использования растительности при поисках свинцовых месторождений в карбонатных породах хребта Центрального Каратау. Автореф. канд. дисс. М., МГУ, 1955.
- Парфентьева Н. С.** Применение флорометрической съемки на свинцовых месторождениях Центрального Каратау.— «Научн. докл. высш. школы. Биол. науки», 1961, № 3.
- Пейве Я. В.** Биохимия почв. М., Сельхозгиз, 1961.
- Пейве Я. В.** Биогеохимия молибдена.— «Агрохимия», 1969, № 1.
- Перевалова В. С.** Полуколичественный спектральный анализ биогеохимических проб.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Перевалова В. С.** Полуколичественный спектральный анализ биогеохимических проб.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Перельман А. И.** Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза). М., «Недра», 1965.
- Перельман А. И.** Геохимия ландшафта. М., «Высшая школа», 1966.
- Перельман А. И., Сауков А. А.** Геохимические основы поисков рудных месторождений.— В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Перельман А. И., Шарков Ю. В.** Опыт выделения на территории СССР провинций и районов с различными условиями проведения геохимических поисков. В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.

- Петербургский А. В.** Контактный обмен и его роль при усвоении растениями кальция и магния из твердой фазы.— «Изв. АН СССР. Серия биол.», 1944, № 4.
- Петров В. П.** Основы учения о древних корах выветривания. М., «Недра», 1967.
- Петрунина Н. С.** Морфолого-анатомические особенности растений, произрастающих на почвах, обогащенных тяжелыми металлами.— В кн.: *Теоретические вопросы фитоиндикации*. Л., «Наука», 1971.
- Питьева К. Е.** О некоторых особенностях геохимии бериллия в подземных водах интрузивного щелочного массива Лавозерской тундры.— «Вестн. МГУ. Геология», 1963, № 3.
- Побединцева И. Г.** Местная миграция микроэлементов в лесостепных и степных ландшафтах Оренбургской области в связи с геохимическими поисками.— «Вестн. МГУ. Серия V. География», 1967, № 6.
- Подкорытов Ф. М.** Биологическое поглощение микроэлементов растениями Таймырского национального округа.— В кн.: *Микроэлементы в растениях*. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969. (Тр. Бурятского ин-та естеств. наук БФ СО АН СССР, № 5. Серия биогеохим.).
- Поликарпочкин В. В.** Биогеохимические методы поисков рудных месторождений в условиях Сибири.— В кн.: *Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине*, т. 1. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Поликарпочкин В. В.** Применение биогеохимических методов поисков рудных месторождений в условиях Сибири.— В кн.: *Биогеохимические поиски рудных месторождений*. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969а.
- Поликарпочкин В. В.** О выщелачивании элементов из растений и его роли для геохимии элементов в биосфере.— В кн.: *Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока*. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969б. (Тез. докл. V Сиб. конф.).
- Поликарпочкин В. В.** Применение биогеохимических методов поисков рудных месторождений в условиях Сибири.— В кн.: *Ореолы рассеяния месторождений Восточной Сибири*. М., «Наука», 1971.
- Поликарпочкин В. В., Поликарпочкина Р. Т.** Биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых. М., «Наука», 1964.
- Поликарпочкин В. В., Поликарпочкина Р. Т., Абрамов П. И.** Ореолы рассеяния в растениях на рудных месторождениях Восточного Забайкалья.— В кн.: *Вопр. геохимии изверженных горных пород и рудных месторождений Восточной Сибири*. М., «Наука», 1965.
- Поликарпочкин В. В., Ткалич С. М., Ковалевский А. Л., Малюга Д. П., Мицкевич Б. Ф.** Состояние и перспективы развития биогеохимических методов поисков рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Польнов Б. Б.** О геологической роли организмов.— «Вопр. географии», вып. 33. М., Изд-во АН СССР, 1953.
- Поскотин Д. Л.** О применении металлометрических и биогеохимических методов при поисках медноколчеданных месторождений на Среднем Урале.— «Тр. Свердловск. горн. ин-та», вып. 42, 1963.
- Поскотин Д. Л.** Геохимические поиски цветных металлов по вторичным ореолам.— «Изв. высш. учебн. завед., Геология и разведка, 1964, № 8.
- Поскотин Д. Л., Любимова М. В.** Применение биогеохимических методов при поисках медноколчеданных месторождений.— «Геохимия», 1963, № 6.
- Поскотин Д. Л., Юшков Ю. Н., Юринский Н. А.** О биогеохимических поисках медноколчеданных и редкометалльных месторождений на Среднем Урале.— В кн.: *Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине*, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Поскотин Д. Л., Юшков Ю. Н., Юринский Н. А., Снегирев А. Д.** О биогеохимических поисках медноколчеданных и редкометалльных месторождений на Урале.— В кн.: *Биогеохимические поиски рудных месторождений*. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Постнов И. С.** Применение ландшафтно-геохимического метода при интерпретации результатов литохимического опробования в Норильском районе.— «Уч. зап. научн.-исслед. ин-та геологии Арктики. Региональная геология», вып. 12, 1968.
- Радкевич Е. А.** История развития металлогенических зон области стыка Китайской платформы с мезозойской складчатой системой Сихотэ-Алиня.— «Матер I Всес. конф. по геологии и металлогении Тихоокеанского рудного пояса», вып. 1. Владивосток, Приморск. кн. изд-во, 1960.
- Радкевич Е. А.** Оловорудные формации и их практическое значение.— «Сов. геология», 1968, № 1.
- Радкевич Е. А., Коростелев П. Г., Кокорин А. М.** Минерализованные зоны Комсомольского района. М., «Наука», 1967.
- Радкевич Е. А., Берсенева И. И., Бурдэ А. И., Иванов Ю. Г., Коренбаум В. С., Куренцова Н. А., Смирнов А. М.** Основные черты геологии и металлогении Приморья. Владивосток, Приморск. кн. изд-во, 1968.
- Разиц Л. В., Рожков И. С.** Геохимия золота в коре выветривания и биосфере золоторудных месторождений куранахского типа. М., «Наука», 1966.

- Ракицкий Б. Н., Сапожникова О. П., Ипатов З. Н. К вопросу о поисках слюдоносных пегматитов во вторичном ореолам рассеяния.— В кн.: Матер. по геологии и полезн. ископ. Северо-Запада РСФСР. М., «Недра», 1967.
- Ранкама К. К. Об использовании следов элементов при решении некоторых проблем прикладной геологии.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений. М., Изд-во иностр. лит., 1954.
- Риш М. А., Ездаков В. И. К вопросу накопления микроэлементов растениями, произрастающими на обогащенных почвах УзССР (Сообщение 1).— «Тр. Таджик. учит. ин-та», 1957.
- Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.— Л., «Наука», 1965.
- Розенберг В. А. К характеристике пихтово-еловых лесов Приморья и Нижнего Приамурья.— В кн.: Матер. по изучению лесов Сибири и Дальнего Востока. Красноярск, 1963.
- Розыбакиева А. К. К минералогии и геохимии цинка гипергенных зон некоторых месторождений Алтая.— «Вест. АН КазССР», 1958, № 3.
- Ронов А. Б., Мигдисов А. А., Воскресенская Н. Т., Корзина Г. Н. Геохимия лития в осадочном цикле.— «Геохимия», 1970, № 2.
- Сабинин Д. А. Физиологические основы питания растений. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Сабонев С. С., Тюрюканова Э. Б. Содержание микроэлементов в растениях высокогорных пустынь Памира.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Садовский Ю. А., Михайлов А. Г., Степаненко Н. И. Поведение бериллия, лития и рубидия в корках выветривания гранитов и пегматитов некоторых районов Казахстана.— В кн.: Геология, разведка и методы изучения месторождений полезных ископаемых. Алма-Ата, 1969.
- Саев Ю. Е. Биогеохимические методы поисков бора в условиях южнотаежных мерзлотных ландшафтов.— «Бюлл. научн.-техн. информ.», № 4. Биогеохимические поиски в различных ландшафтных условиях». М., ОНТИ ВИАЭС, 1968.
- Саев Ю. Е. Биогенная миграция бора — теоретическая основа биогеохимического метода поисков борных месторождений.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Салье О. В., Астапкина Н. А. Таллий в пробах растений куранахской группы золоторудных месторождений.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Самойлова А. П. Метод коэффициентов в биогеохимических исследованиях.— «Разведка и охрана недр», 1961, № 1.
- Саркисян С. Ш. Опыт применения биогеохимического метода поисков некоторых месторождений бериллия.— «Вопр. прикладной геохимии», вып. 2. М., «Недра», 1971.
- Сауков А. А. Миграция химических элементов как теоретическая основа геохимических методов поисков.— В кн.: Геол. результаты прикладной геохимии и геофизики. М., Изд-во АН СССР, 1960. (Докл. советских геологов на XXI сессии Междунар. геол. конгресса).
- Сауков А. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., Изд-во МГУ, 1963.
- Сауков А. А. Геохимия. М., «Высшая школа», 1966.
- Сауков А. А., Перельман А. И., Шарков Ю. В., Борисенко Е. И. Современные проблемы теории геохимических поисков полезных ископаемых.— В кн.: Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов. М., «Наука», 1966.
- Сафронов Н. И. К вопросу об ореолах рассеяния месторождений полезных ископаемых и их использование при поисках и разведке.— «Пробл. сов. геологии», сб. 6, 1936, № 4.
- Сафронов Н. И. Опыт геохимических поисков на Крайнем Северо-Востоке СССР.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957а.
- Сафронов Н. И. К вопросу о возможностях геохимических поисков в условиях моренных отложений.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957б.
- Сафронов Н. И. Формы рассеянного состояния элементов в природе и их поисковое значение.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957в.
- Сафронов Н. И. Комплексообразование поисковых методов применительно к основным типам месторождений цветных металлов.— «Сов. геология», 1958, № 8.
- Сафронов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. (Методическое руководство). Л., Изд-во ОНТИ ВИТР, 1967.
- Сафронов Н. И. Ореолы и потоки вторичного рассеяния месторождений.— В кн.: Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых, т. 1. Поиски. М., «Недра», 1968.
- Сафронов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., «Недра», 1971.

- Свиридова И. К. Результаты изучения вымывания азота и зольных элементов дождевыми осадками из крон древесных пород.— «Докл. АН СССР», 1960, т. 133, № 3.
- Сергеев Е. А. Применение капельного анализа в разведке полезных ископаемых.— «Разведка недр», 1936, № 12.
- Сергеев Е. А. Физико-химический метод поисков рудных залежей.— «Геофизика», 1941, № 9 — 10.
- Сергеев Е. А. Исследование вод как средство поисков полиметаллических месторождений.— «Разведка недр», 1946, № 12.
- Сердюченко Д. П. Минералы осадочных пород.— В кн.: Справочное руководство по петрографии осадочных пород, т. 1. Л., Гостехиздат, 1958.
- Спморин А. М. Биогеохимический метод поисков полезных ископаемых.— «Колыма», 1956, № 10.
- Скарлыгина М. Д., Березкина Г. А. Результаты определений суммы металлов по меди (Cu, Ni, Co) в зависимости от способа их извлечения из золы растений.— «Вестн. ЛГУ», 1964, № 12.
- Скарлыгина М. Д., Левицкая К. И. Биогеохимические исследования и индикаторная роль растительности при поисках полезных ископаемых на Южном Урале. Сборник работ молодых ученых Ленингр. ун-та. Л., Изд-во ЛГУ, 1963.
- Скарлыгина-Уфимцева М. Д., Березкина Г. А. Значение биогеохимических ореолов рассеяния при поисках сульфидных месторождений (на примере Яман-Касинского месторождения, Южный Урал).— В кн.: Теоретические вопросы фитоиндикации. Л., «Наука», 1971.
- Скарлыгина-Уфимцева М. Д., Березкина Г. А., Черняхов В. Б. Некоторые особенности биогеохимии растений Буруктальского гипербазитового массива (Южный Урал).— «Изв. Всес. геогр. об-ва», 1970, № 5.
- Скарлыгина-Уфимцева М. Д., Березкина Г. А., Черняхов А. А. О миграции элементов, сопутствующих никелево-кобальтовому оруденению на примере Буруктальского месторождения (Южный Урал).— «Вестн. Ленингр. ун-та», 1971, № 6.
- Скарлыгина-Уфимцева М. Д., Нежданов И. К., Свешников Г. Б., Суетин Ю. П., Корыткова Н. С. Закономерности распределения никеля, кобальта, меди в растениях и водах Мончегорского района (Кольский полуостров) в связи с поисками рудных месторождений.— В кн.: Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Л., «Наука», 1970.
- Смирнов А. М. О сочленении Монголо-Охотского и Тихоокеанского складчатых поясов и Китайской платформы.— «Изв. АН СССР. Серия геол.», 1958, № 8.
- Смирнов В. И. Проблемы поисков рудных месторождений, не имеющих выхода на поверхность земли.— «Сов. геология», 1955, № 49.
- Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Соколова А. И., Храмова В. В. Некоторые результаты биогеохимических исследований.— «Тр. Свердловск. горн. ин-та», вып. 40, 1961.
- Соловов А. П. Теория и практика металлогенетических съемок.— В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Соловов А. П. Основы теории и практики металлогенетических съемок. Алмата, Изд-во АН КазССР, 1959.
- Солодянкин М. В., Жбанов Э. Ф., Жбанова К. И. Методика полевого озонения флорометрических проб.— «Матер. по геологии и полез. ископ. Бурятской АССР», вып. 10. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966.
- Сочава В. Б. Ботанико-географические соотношения в бассейне Амура.— В кн.: Амурская тайга. Л., «Наука», 1969.
- Справочное руководство по петрографии осадочных пород. Т. I, Л., Гостехиздат, 1958.
- Стайлс В. Микроэлементы в жизни растений и животных. М., Изд-во иностр. лит. 1949.
- Стариков В. С. О возможности применения биогеохимического метода поисков в районе Ханикольского полиметаллического месторождения на Северном Кавказе.— «Изв. высш. учебн. завед. цветной металлургии», 1960, № 6.
- Стариков В. С., Коновалов Б. Т., Бруштейн И. М. Биогеохимический метод поисков и результаты его применения в Горной Осетии. «Геохимия», 1964, № 10.
- Степанов И. С. Цирконий и гафний. Справочник для геологов, вып. 45. М., Госгеолтехиздат, 1959.
- Сторожева М. М. Патологические явления у анемоны (*Pulsatilla patens*) в условиях никелевого рудного поля.— «Тр. Биогеохим. лаборатории АН СССР», т. 10. М., Изд-во АН СССР, 1954.
- Судов Б. А. Опыт применения биогеохимического метода для поисков полиметаллических руд в различных ландшафтных условиях Эстонской ССР. Сборник работ молодых ученых Ленинградского ун-та. Л., Изд-во ЛГУ, 1963.
- Тайсаев Т. Т. Особенности поглощения микроэлементов даурской лиственницы, произрастающей над различными горными породами.— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

- Талипов Р. М.** Особенности концентрации цветных металлов в почвах и растениях в районах Сары-Чеку и Уч-Кумч (Узбекистан). «Геохимия», 1964а, № 5.
- Талипов Р. М.** Результаты биогеохимических исследований в некоторых рудных районах Узбекистана.— В кн.: Полезные ископаемые Узбекистана и вопросы их генезиса. Ташкент, «Фан», 1964б.
- Талипов Р. М.** Особенности применения биогеохимического метода при поисках руд в Узбекистане.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Талипов Р. М.** Биогеохимические предосылки поисков золотого оруденения.— В кн.: Рудные формации и основные черты металлогении золота Узбекистана. Ташкент, «Фан», 1969.
- Талипов Р. М., Арипова Х.** Некоторые результаты биогеохимических исследований в Центральных Кызыл-Кумах.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Талипов Р. М., Юсупов Р. Г., Хатамов Ш.** О биогеохимических и гидрогеохимических поисках золоторудных месторождений в Узбекистане.— В кн.: Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Л., «Наука», 1970.
- Талипов Р. М., Арипова Х., Карабаев К. И., Хаматов Ш., Ахунходжаева Н.** О возможности использования мышьяка при биогеохимических поисках золоторудных месторождений (на примере Тамдынтау) — «Узб. геол. ж.», 1968, № 5.
- Талипов Р. М., Арипова Х., Карабаев К. И., Юсупов Р. Г.** Некоторые результаты биогеохимических исследований в Центральных Кызыл-Кумах.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.
- Тараканова Е. И.** О микроэлементах в торфяниках Среднего Урала и Среднего Зауралья.— «Литология и полезн. ископ.», 1968, № 2.
- Тарасов В. Н.** Бурятское геологическое управление.— В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений. (Основные результаты и направления дальнейших работ в геологических организациях Советского Союза). М., Изд-во Мин-ва геологии СССР, 1969.
- Терентьева К. Ф.** Редкие элементы в бокситах.— В кн.: Геология месторождений редких металлов, 1959, вып. 6.
- Тестов В. И.** О биогеохимических поисках мусковитоносных пегматитов.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Тиссен С.** Геохимические и фитобиологические связи в свете прикладной геофизики.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений. М., Изд-во иностр. лит., 1954.
- Титлянова А. А.** О поведении цезия и рубидия в почвах.— «Почвоведение», 1962, № 3.
- Титлянова А. А., Тимофеева Н. А.** О подвижности соединений кобальта, стронция и цезия в почве.— «Почвоведение», 1959, № 3.
- Тихоненков И. П.** Цирконий.— В кн.: Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов, т. 1. М., «Наука», 1964.
- Ткалич С. М.** Опыт исследования растений в качестве индикаторов при геологических поисках и разведках.— «Вестн. ДВ филиала АН СССР», № 32 (5). Владивосток, 1938.
- Ткалич С. М.** Ботанические методы геологических исследований.— «Бот. ж.», 1952, т. 37.
- Ткалич С. М.** Содержание железа в растениях как поисковый признак.— «Природа», 1953, № 1.
- Ткалич С. М.** Биогеохимический метод поисков рудных месторождений.— В кн.: Матер. Совещ. геологов Восточной Сибири и Дальнего Востока по методике геологосъемочных и поисковых работ. Чита, 1956.
- Ткалич С. М.** Возможность применения биогеохимического метода для расшифровки магнитных аномалий в условиях Ангаро-Илимского железорудного района. Сборник по рационализации. Иркутск, Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1959а.
- Ткалич С. М.** Практическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1959б.
- Ткалич С. М.** Поиски месторождений полезных ископаемых с помощью растений. Иркутск. Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1960.
- Ткалич С. М.** Биогеохимические аномалии и их интерпретация. Иркутск. Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1961.
- Ткалич С. М.** Значение растений для поисков месторождений полезных ископаемых.— В кн.: Тр. V—VI сессий Всес. палеонтол. об-ва. М., Госгеолтехиздат, 1962.
- Ткалич С. М.** К вопросу о зольном питании растений, обитающих на засоленных почвах.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966а. (Тез. докл. V Всес. совещ.).
- Ткалич С. М.** Некоторые общие закономерности содержания химических элементов в золе растений.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966б. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Ткалич С. М. Некоторые общие закономерности содержания химических элементов в золе растений.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969а.

Ткалич С. М. О зольном питании растений, произрастающих на засоленных почвах.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969б.

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

Ткалич С. М. К вопросу о зольном питании растений, обитающих на засоленных почвах.— В кн.: Ореолы рассеяния месторождений Восточной Сибири. М., «Наука», 1971.

Тюрина Г. И., Щибрик В. И. Опыт биогеохимического изучения участка полиметаллического месторождения в Центральном Казахстане.— «Матер. по геологии и полезн. ископ. Центрального Казахстана», вып. 2, 1962.

Тютин Н. А., Алексовский В. Б., Васильев П. И. Опыт биогеохимического опробования и методика определения ниобия в растениях.— «Геохимия», 1959, № 6.

Удодов П. А., Онуфриенко Н. П., Парилова Ю. С. Опыт гидрогеохимических исследований в Сибири. М., «Высшая школа», 1962.

Удодов П. А., Солодовникова Р. С., Головина М. Р. Биогеохимические исследования при поисках полезных ископаемых на территории Колывань-Томской погребенной горноскладчатой зоны.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Удодов П. А., Солодовникова Р. С., Шварцева Н. М. Микроэлементы в почвах и растениях Колывань-Томской складчатой зоны.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

Удодов П. А., Шварцева Н. М. Режимные биогеохимические наблюдения на участке кварцево-сульфидной минерализации.— В кн.: Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969. (Тез. докл. III Сиб. конф.).

Уклонский А. С. Минералогия. М.— Л., Гостоптехиздат, 1940.

Ульянов Н. К., Васильева Н. И., Цыкункова Н. А. Концентрация ряда металлов в тканях растений. Концентрации, распространение и формы нахождения металлов в элювиально-делювиальном покрове в пределах рудных полей полиметаллических и редкометалльных месторождений Казахстана.— «Информ. сб. Всес. научн.-исслед. геол. ин-та», 1960, № 32.

Уоррен Г. В., Делаво Р. Е., Ирри Р. Н. Предварительные исследования биогеохимии железа и марганца.— В кн.: Геохимические методы поисков рудных месторождений, М., Изд-во иностр. лит., 1954.

Федин Ф. Г. Особенности структуры, магматизма и оловоносности Хинганско-Олонойского прогиба. М., «Наука», 1964.

Ферман А. Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. Избр. труды. Т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1955.

Ферман А. Е. Геохимия. Т. IV. Избр. труды. Т. V. М., Изд-во АН СССР, 1959.

Флеров Б. Л. Применение оловометрической съемки при поисках коренных месторождений олова.— «Редкие металлы», 1935, № 1.

Флеров Б. Л. О методах поисков первичных оловянных месторождений.— «Сов. геология», 1948, № 10.

Флерова Т. П., Флеров В. Е. Опыт проведения биогеохимических и геоботанических поисков в Джунгарском Алатау.— «Матер. по геологии и полезн. ископ. Южного Казахстана», вып. 2 (27). Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1964.

Хатамов Ш., Лобанов Е. М., Кист А. А. К вопросу о концентрации золота в органах растений в пределах рудного поля.— «Докл. АН ТаджССР», 1966а, № 11.

Хатамов Ш., Лобанов Е. М., Кист А. А. О концентрации золота в органах растений в пределах рудного поля.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966б. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Хатамов Ш., Лобанов Е. М., Кист А. А. О содержании золота, мышьяка и сурьмы в растениях и почвах золоторудного месторождения.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

Хитаров Н. И., Иванов Л. А. К геохимии молибдена в условиях окисленной зоны.— «Матер. ЦНИГРИ, сб. № 1. Геохимия». М., 1937.

Холодов В. П. Некоторые вопросы поведения редких и рассеянных элементов в осадочном процессе.— В кн.: Вопр. минералогии, геохимии и генезиса месторождений редких элементов. Изд-во АН ССР, М., 1959. (Тр. ин-та минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, вып. 2).

Хокс Х. Е., Узбб Дж. С. Геохимические методы поисков минеральных месторождений. М., «Мир», 1964.

Хорстман Э. П. Распределение лития, рубидия и цезия в изверженных и осадочных породах.— В кн.: Геохимия редких элементов. М., Изд-во иностр. лит., 1959.

Хрущов Н. А., Щербина В. В. Молибден.— В кн.: Металлы в осадочных толщах. М., «Наука», 1965.

Цирельников В. И., Комиссарова Л. Н. Цирконий.— В кн.: Краткая химическая энциклопедия, т. 5. М., «Сов. энциклопедия», 1967.

Черников А. А., Корсакова М. В. Миграция циркония в некоторых минеральных и пресных подземных водах.— В кн.: Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов. М., «Наука», 1966.

Черных И. Д., Ковалевская О. М., Ковалевский А. Л. Результаты биогеохимических исследований на бор в Бурятской АССР.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Черных И. Д., Ковалевская О. М., Ковалевский А. Л. К биогеохимическим поискам месторождений бора.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

Черняхов В. Б. Некоторые биогеохимические особенности растительного покрова Южно-Гайского медноколчеданного месторождения (Южный Урал).— В кн.: Биогеохимия растений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. М., Изд-во АН СССР, 1955.

Шамцян Ф. Г. Опыт применения биогеохимического метода поисков на Фроловском месторождении меди.— «Изв. АН АрмССР. Серия Науки о земле», 1967, № 1—2.

Шарапов И. П. Применение математической статистики в геологии. М., «Недра», 1965.

Швыряева А. М. О возможности применения биогеохимического метода при поисках борного сырья.— В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М., Гостеолтехиздат, 1957.

Шиманский А. А., Загоскин В. А. Опыт использования отношений химических элементов при биогеохимических поисках.— «Тр. Иркутск. политехн. ин-та», вып. 30, 1966.

Шипицын С. А. О применении спектральных методов анализа в биогеохимии.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Школьник М. Я. Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1950.

Школьник М. Я., Макарова Н. А. Микроэлементы в сельском хозяйстве. М., Изд-во АН СССР, 1957.

Шнюков Е. Ф., Усенко В. П., Красножнина З. В. Опыт биогеохимического изучения Чивчинского марганцевого месторождения.— В кн.: Вопр. геохимии, минералогии и петрографии. Киев. «Наукова думка», 1963.

Щербина В. В. Комплексные соединения и перенос химических элементов в зоне гипергенеза.— «Геохимия», 1956, № 5.

Эшштейн Е. Ф. Флорогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых (флорометаллометрия).— «Изв. Днепропетровск. горн. ин-та им. Артема», 1948, т. 20.

Юсупов Р. Г., Талипов Р. М. Результаты биогеохимических исследований в районе Кураминских гор Узбекской ССР.— В кн.: Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1966. (Тез. докл. V Всес. совещ.).

Юсупов Р. Г., Талипов Р. М. О некоторых особенностях распределения микроэлементов в растениях в районе Кураминских гор Узбекской ССР.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

Юсупов Р. Г., Талипов Р. М., Юсупова Л. И., Шульженко В. Н., Хаматов Ш. Биогеохимические исследования и поисковое значение грибов-микросциетов, лишайниковой флоры рудных месторождений и листовых мхов.— В кн.: Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине, т. 1. Л., «Наука», 1970.

Яковлева М. Н. Биогеохимический метод поисков месторождений урана. М., Изд-во МГиОН СССР, 1962.

Яковлева М. Н. О влиянии возраста различных органов растений на распределение в них урана.— В кн.: Вопр. прикл. радиогидрогеологии. М., Атомиздат, 1963.

Яковлева М. Н. Флорометаллометрический (биогеохимический) метод поисков руд.— «Бюлл. научн.-техн. информ. Гос. геол. комитета СССР», М., 1964, № 3 (53).

Яковлева М. Н. О ландшафтных условиях применения биогеохимического метода поисков рудных месторождений.— В кн.: Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ, Бурят. кн. изд-во, 1969.

Ярмолюк В. А. Основные черты геологии и металлогении Приамурья.— «Матер. I Всес. конф. по геологии и металлогении Тихоокеанского рудного пояса», вып. II. Владивосток, Приморск. кн. изд-во, 1960.

Ярмолюк В. А. Основные черты геологического строения.— В кн.: Южная часть Дальнего Востока. М., «Наука», 1969.

Яхонтова Л. К. О поведении вольфрама в зоне окисления шеелитовых месторождений.— «Зап. Всес. минералог. об-ва», ч. 33, 1954, № 2.

Amphlett C. V. Soil chemistry and the uptake of fission products.— «Research», 1955, N 9.

Anderson R. Y., Curtz E. B. Biogeochemical reconnaissance of the Annie Lauric uranium prospect Santa Cruz County, Arizona.— «Econ. geol.», 1955, v. 50, N 2.

Armands G., Landergren S. Geochemical prospecting for uranium in Northern Sweden. The enrichment of uranium in peat.— In: International geological congress, 21-sy Norden, 1960, Copenhagen, 1960.

- Bobrowski W., Piechota A.** Influence of the substratum on the occurrence of heavy metals in the bark of contemporary pines on the Triassic of southwestern Poland. *Geol. Surv. Bull.* 1000-A, Wash., 1953.
- Bose S. K.** Recent advances in geochemical prospecting in India for metalliferous ores.— «*Indian Minerals*», 1964, N 1.
- Bonioucos G. J.** Rate and extent of solubility of minerals and rocks under different treatments and conditions.— «*Techn. Bull. Michigan Experim. Stat.*», 1921, v. 50.
- Brankso J. J., Rowles C. A., Lavkulich L. M.** Geochemical prospecting in B. C.— «*West Miner*», 1969, N 6.
- Brooks R. R., Lyon G. L.** Biogeochemical prospecting for molybdenum in New Zealand.— «*N. Z. J. Sci.*», 1966, N 3.
- Brooks R. R.** Plants as a guide to mineralization.— «*Austral. J. Sci.*», 1968a, N 4.
- Brooks R. R.** Biogeochemical methods of prospecting.— «*Austral. Mining*», 1968b, N 9.
- Cannon H. L.** The Effect of Uranium — Vanadium Deposits on the vegetation of the Colorado Plateau.— «*American Journ. of Sci.*», 1952, v. 10, N 250.
- Cannon H. L.** Botanical prospecting for ore deposits.— «*Science*», 1960, v. 132, N 3427.
- Carrol D.** Weatherability of zircon.— «*J. Sediment Petrol.*», 1953, v. 23, N 106.
- Clarce O. M.** Geochemical prospecting for Copper at Rag, Arizona.— «*Economic Geology*», 1953, v. 48, N 1.
- Cole M. M., Provan D. M. J., Tooms J. C.** Geobotany, biogeochemistry and geochemistry in mineral exploration in the Bulman-Waimuna Springs area, Northern Territory, Australia.— In: *Trans. Instn. Mining and Metallurgy*, 1968.
- De Mumbrum L. E., Hoover C. D.** Potassium release and fixation related to illite and vermiculite as single minerals and in mixtures.— «*Soil Sci. Soc., America Proc.*», 1958, v. 22, N 3.
- Douglas J. Sholto.** Geobotany: a valuable aid in prospecting and mining.— «*Mining Mag.*», 1968, N 2.
- Dupuy Claude.** Le rubidium dans la biotite et le feldspath potassique de la granodiorite du Monte Capanne (Italie), et du granite de Neira (Espagne).— «*C. r. Acad. Sci.*», 1968, N 23.
- Fleming G. A.** Selenium in Irish soils and plant.— «*Soil Sci.*», 1962, v. 94, N 1.
- Fortescue J. A.** A research approach to the use of vegetation for the location of mineral deposits in Canada.— «*Taxon*», 1970, N 5.
- Fortescue J. A., Hornbrook E. H.** Progressreport on biogeochemical research at the Geological Survey of Canada 1963—1966.— «*Paper. Geol. Surv. Canada*», 1967, N 23, Part 1.
- Frederickson A. F.** Mode of occurrence of titanium and zirconium in laterites.— «*Amer. Mineralogist*», 1948, N 33.
- Frederickson L., Eriksson B.** Studies on Soil—plantanimal interrelationship with respect to fission products. Second united Nations Intern. Confer. on the Peaceful Uses of Atomic Energy. A. Conf. 15, 1958.
- Harvey H. W.** Recent advances in the chemistry and biology of sea water. Cambridge Univ. Press, 1945.
- Hawkes H. E., Lakin H. W.** Vestigial Zinc in Surface residium Associated with primary Zinc Ore in East Tennessee.— «*Econ. Geol.*», 1949, v. 44, N 4.
- Hornbrook E. H. W.** Biogeochemical prospecting for molybdenum in west — central British Columbia.— «*Paper. Geol. Surv. Canada*», 1969a, N 55.
- Hornbrook E. H. W.** The development and use of biogeochemical prospecting methods for metallic mineral deposits.— «*Canad. Mining. J.*», 1969b, N 4.
- Hornbrook E. H. W.** Biogeochemical prospecting for copper in west — central British Columbia.— «*Pap. Geol. Surv. Can.*», 1969c, N 49.
- Hornbrook E. H. W.** Biogeochemical investigations in the Perch Lake area, Chalk River, Ontario.— «*Pap. Geol. Surv. Can.*», 1970, N 43.
- Hornbrook E. H. W.** Development of biogeochemical exploration methods for winter use for metallic mineral deposits.— «*Pap. Geol. Surv. Can.*», 1971, N 1.
- Kaddah Malek T.** Cesium and rubidium fixation in vermiculite and hydrobiotite.— «*Soil Sci.*», 1968, N 1.
- Koksoy M., LeRooy L. W.** Trace elements in lichens — a possible geochemical exploration tool. (Abstract).— «*Geol. Soc. America Spec. Papers*», 1962, N 68.
- Lewis Richard W.** A geochemical investigation of the Caribacopper deposit, Bahia, Brazil.— «*Geol. Surv. Profess. Paper*», 1966, N 550 — C.
- Lindner M., Sarosick J. Z.** badan biogeochemicznych w Sudetach.— «*Przegl. geol.*», 1963, v. 11, N 10.
- Lounamaa J.** Trace elements in trees and shrubs growing on different rocks in Finland. *Geochem. prospect. Fennoscandia*. New-York — London — Sydney, Interscience, 1967.
- Lyon G. L., Brooks R. R.** The trace element content of *Olearia rani* and its application to biogeochemical prospecting.— «*N. Z. J. Sci.*», 1969, N 2.
- Marmo V.** Use of ground waters and plant ashes in prospecting for ore Geol.— «*Tutkimuslaites, Geotecn. Julkaisuja*», 1958, N 61.

- Mecklenburg R. A., Turkey H. B. Jr., Morgan J. V. Mechanism for the leaching of calcium from foliage.— «Plant physiol.», 1966, v. 41, N 4.
- Meher-Homji V. M. The role of botany in the prospection of minerals. «Sci. and Cult», 1963, N 11.
- Millman A. P. Biogeochemical investigations in areas of copper mineralization in south — west England.— «Geochim. et cosmochim. acta», 1957, v. 12, N 1—2.
- Mortland M. M., Lowton K., Vehara G. F. Fixation and release of potassium by some clay minerals.— «Soil. Sci. Soc. America Proc.», 1957, v. 21, N 4.
- Myers A. P., Hamilton J. C. Rhenium in plant samples from the Colorado Plateau.— «Geol. Surv. Profess. Paper.», N 424 — B, 1961.
- Ohrdorf Renate. Ein Beitrag zur Geochemie des Lithiums in Sedimentgestein.— «Geochim. et cosmochim. acta», 1968, N 2.
- Palmqvist S., Brundin N. Svenska prospekterings Aktiebolaget., 1939, P. M. angående var geokemiska prospekterings method., Lund., 1939.
- Pfeiffer L. Theoretische Probleme biogeochemischer Prospektionsmethoden.— Bergakademie, 1962, H. 14, N 2.
- Pirschle K. Die Bedeutung der Spurenelemente für Ernährung, Wachstum und Stoffwechsel der Pflanzen.— «Ergebn. Biol.», 1939, N 17.
- Pulon R., Gramontx D., Magn J., Grables J. Deux plantes indicatrices des gisements de Zinc et plomb dans les Pyrenées.— «Bull. Soc. Historie natur Tenlaus», 1965, N 3—4.
- Robinson W. O., Edington G., Byers H. G. Chemical Studies of infertile soil derived from Rocks high in Magnesium and generally high in Chromium and Nickel. Technical Bull., N 471, U. S. Department of Agriculture, 1947.
- Roddar B. C. A probable plant indicator for zinc mineralisation in the Zwar Pb — Zn belt, Udaipur district, Rajasthan.— «Current Sci.», (India), 1965, N 2.
- Rosler H. J. Zur Methodik geochemischer Prospektionsarbeiten auf Buntmetalle im Mittelgebirge.— «Z. angew. Geol.» 1959, H. 5, N 12.
- Salmi M. Prospecting for bog z covered ore by means of peat investigations.— «Bull. Comm. geol. Finlande», 1955, N 169.
- Salmi M. Peat and bog plant as indicators of ore minerals in vihanti ore field in western Finland.— «Bull. comm geol. Finlande», 1956, N 175.
- Sawhney B. L., Frink C. R. Sorption of cesium from dilute solutions by soil clays.— «Trans. 8th Internat. Congr. Soil Sci.» Bucharest, 1964, v. 3.
- Shacklette H. T. Biogeochemical sampling in Alaska.— «Bull. Geol. Soc. America», 1958, v. 69, N 12.
- Shacklette H. T. Soil and plant sampling at the Mahoney creek leadzinc deposit, Revillagigedo Island, Southeastern Alaska.— «U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.», 1960, N 400B.
- Strock L. W., Drexler S. Geochemical study of Saratoga mineral waters by a spectrochemical analysis of their trace elements.— «J. Opt. Soc. America.», 1941, N 31.
- Timperley M. H., Brooks R. R., Peterson P. J. The significance of essential and nonessential trace elements in plants in relation to biogeochemical prospecting.— «J. Appl. Ecol.», 1970a, N 3.
- Timperley M. H., Brooks R. R., Peterson P. J. Prospecting for copper and nickel in New Zealand by statistical analysis of biogeochemical data. «Econ Geol.», 1970b, v. 64, N 4.
- Tukey H. B. Jr. and Tukey H. H. The loss of organic and inorganic materials by leaching from leaves and other aboveground plant parts. Radioisotopes on soil — plant, nutrition studies. Int. atomic energy Agency. Vienna, 1962.
- Vogt J. H. Kjemisk og botanisk malmleting ved Roras. 1. Det Kongelige Norske videnskabers Selskab Forhandling, 1939, v. 12, N 23.
- Walenczak Z. Podstawy metodyczne poszukiwan biogeochemicznych na Dolnym Slasku na przykladzie niklu, kobaltu i chromu.— «Arch. mineral.», 1962, v. 23, N 2.
- Warren Harry V. Background data for biogeochemical prospecting in British Columbia.— «Trans. Roy. Soc. Canada», Sec. 3, v. 56, June, Part 1, 1962.
- Warren Harry V., Delavault Robert E., Cross Christinen. Geochemistry in mineral exploration. Part 2.— «West. Miner», 1966, N 6.
- Warren Harry Y., Delavault Robert E. Biogeochemistry in Canada.— «Pap. Geol. Surv. Can.», 1970, N 69.
- White W. H. Plant Anomalies related to some British Columbia ore Deposits.— «The Canadian Mining and Metallurgical Bull.», 1950, v. 43, N 459.
- Whitehead Neil E., Brooks Robert R. A comparative evaluation of scintillometric, geochemical and biogeochemical methods of prospecting for uranium.— «Econ. Geol.», 1969, v. 64, N 1.
- Yamagata N. A cobalt — accumulator plant *ckethra barbinervis* Sieb et Luss.— «Nature», 1958, v. 181, N 4626.
- Yamagata N., Murakami G., Torii T. Biogeochemical investigation in serpentine — chromite ore district.— «Geochim. et cosmochim. acta», 1960, v. 18, N 1—2.
- Yamagata N., Yamagata T. Fundamental studies on the biogeochemical prospecting for manganese.— «Bull. Chem. Soc. Japan», 1957, v. 30, N 8.
- Zivanovic D. Rezultatu biogeokemyskih prospekcijskih na olovo u podrucju suplje stijene, na zeljezo i aluminij u podrucju Arandelovackoj bazena vatrostaenih glina te zeljera i mangana u Sloveniji.— «Geol. vjesn.», 1960, N 14.

Список растений, встречающихся в тексте

Виды растений

1	2
<i>Деревья</i>	
Бархат амурский	<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.
Береза даурская (черная)	<i>Betula dahurica</i> Pall.
— желтая (ребристая)	— <i>costata</i> Trautv.
— маньчжурская	— <i>mandshurica</i> Nakai.
— каменная (Эрмана)	— <i>ermanii</i> Cham.
Дуб монгольский	<i>Quercus mongolica</i> Fisch.
Ель аянская	<i>Picea ajanensis</i> Fisch.
Ива козья (Бредина)	<i>Salix caprea</i> L.
— Радде	— <i>raddeana</i> Laksch.
Ильм (вязь) крупноплодный	<i>Ulmus macrocarpa</i> Hance.
— лопастный (горный)	— <i>laciniata</i> Trautv.
— сродный (долинный)	— <i>propinqua</i> Koidz.
— японский опушенный	— <i>puberula</i> Kom.
Калопанакс семиллопастный	<i>Kalopanax septemlobum</i> Koidz.
Кедр корейский	<i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc.
Клен зеленокорый	<i>Acer tegmentosum</i> Maxim.
— мелколистный	— <i>mono</i> Maxim.
Лица амурская	<i>Tilia amurensis</i> Rupr.
— маньчжурская	— <i>mandshurica</i> Rupr. et Maxim.
Лиственница даурская	<i>Larix dahurica</i> Turcz.
Маакия амурская	<i>Maackia amurensis</i> Rupr. et Maxim.
Мелкоплодный ольхолистный	<i>Micromeles alnifolia</i> Koehne.
Орех маньчжурский	<i>Junglans mandshurica</i> Maxim.
Осина	<i>Populus davidiana</i> Dode.
Пихта белокорая	<i>Abies nephrolepis</i> Maxim.
— сибирская	— <i>sibirica</i> L.
<i>Кустарники и лианы</i>	
Акантопанакс	<i>Acanthopanax sessiliflorum</i> Rupr.
Активидия аргута	<i>Actinidia arguta</i> Sieb. et Zucc.
— коломикта	— <i>kolomikta</i> Maxim.
Аралия маньчжурская	<i>Aralia mandshurica</i> Rupr. et Maxim.
Багульник болотный	<i>Ledum palustre</i> L.
— крупнолистный	— <i>macrophyllum</i> Tolm.
Барбарис амурский	<i>Berberis amurensis</i> Maxim.
Бересклет малоцветковый	<i>Euonymus pauciflora</i> Maxim.
Бузина корейская	<i>Sambucus coreana</i> Nakai.
— Микеля	— <i>micelii</i> Maxim.
— сибирская	— <i>sibirica</i> Nakai.
Верблюжья колючка	<i>Alhagi camelorum</i>
Виноград амурский	<i>Vitis amurensis</i> Rupr.
Жимолость горбатая	<i>Lonicera gibbiflora</i> Dippel.
— ранняя	— <i>praeflorens</i> Batal.
— Максимовича	— <i>maximowiczii</i> Rgl.
Ива сухолюбивая	<i>Salix xerophylla</i> Floder.
— ползучая	— <i>reptans</i> Rupr.
— узколистная	— <i>angustifolia</i> L.
Караганник	<i>Caragana pigmaea</i>
Кедровый стланник	<i>Pinus pumila</i> Rgl.
Кизильник	<i>Cotoneaster</i>
Клен борогатый	<i>Acer barbinerve</i> Maxim.
— желтый	— <i>ukurunduense</i> Trautv. et Mey.
Тополь пушистый	<i>Populus suaveolens</i> Fisch.
Леспедеца двуцветная	<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.
Лещина маньчжурская	<i>Corylus mandshurica</i> Maxim.
— разнолистная	— <i>heterophylla</i> Fisch.
Лимонник китайский	<i>Schizandra chinensis</i> Baill.
Малина боярышниковидная	<i>Rubus crataegifolius</i> Bge.
— сахалинская	— <i>sachalinensis</i> Levl.
Рододендрон амурский	<i>Rhododendron amurense</i> L.
— золотистый	— <i>aureum</i> Georgi.

1	2
Рододендрон мелколистный	<i>Rhododendron parvifolium</i> Adams.
Роза (шиповник) даурская	<i>Rosa daurica</i> Pall.
— — иглистая	— <i>acicularis</i> Lindl.
Рябинолистник рябинолистный	<i>Sorbaria sorbifolia</i> A. Br.
Секуринага полукустарная	<i>Securinega suffruticosa</i> Rehd.
Смородина Максимовича	<i>Ribes maximoviczianum</i> Kom.
Спирея березолистная	<i>Spiraea betulifolia</i> Pall.
— извилистая	— <i>flexuosa</i> Fisch.
— средняя	— <i>media</i> Schmidt.
Ольха	<i>Alnus hirsuta</i> Turcz.
Чубушник тонколистный	<i>Phyladelphus tenuifolius</i> Rupr.
Элеутерококк колючий	<i>Eleutherococcus senticosus</i> Maxim.

Кустарнички и травянистые растения

Адиантум стоповидный	<i>Adiantum pedatum</i> L.
Анемон	<i>Pulsatilla patens</i> Mill.
Астра шероховатая	<i>Aster scaber</i> Thunb.
Астрагал	<i>Astragalus declinatus</i> W.
Атрактилодес овальный	<i>Atractylodes obata</i> Thunb.
Арундинелла уклоняющаяся	<i>Arundinella anomala</i> Steund.
Бальзамин обыкновенный	<i>Impatiens noli — tangere</i> L.
Брусника	<i>Vaccinium vitis — idaea</i> L.
Бубенчик четырехлистный	<i>Adenophora tetraphylla</i> Fisch.
Валерьяна заенсейская	<i>Valeriana transjensis</i> Kr.
Вальдштейния тройчатая	<i>Waldsteinia ternata</i> Fritsch.
Василистник амурский	<i>Thalictrum amurense</i> Maxim.
— китайский	— <i>chinense</i> (Rgl) Freyn.
— скрученный	— <i>contortum</i> L.
— тычиночный	— <i>filamentosum</i> Maxim.
Вейник Лангсдорфа	<i>Calamagrostis langsdorffii</i> Trin.
— наземный	— <i>epigeios</i> Roth.
— Турчанинова	— <i>turczaninovii</i> Idtw.
Вероника сибирская	<i>Veronica sibirica</i> L.
Ветреница лесная	<i>Anemone sylvestris</i> L.
— теневая	— <i>umbrosa</i> C. A. Mey.
— гладкая	— <i>glabrata</i> (Maxim.) Juz.
Вика ложная чина	<i>Vicia pseudorobus</i> Fisch.
— мышьяная (мышьяный горошек)	— <i>cracca</i> L.
— приятная	— <i>amoena</i> Fisch.
Гармала	<i>Peganum Harmala</i>
Герань Власова	<i>Geranium vlassovianum</i> Fisch.
Горицвет амурский	<i>Adonis amurense</i> Rgl. et Radde.
Гравилат аллепский	<i>Geum allepicum</i> Jacq.
Дерен канадский	<i>Chamaepericlymenum canadensis</i> L.
Дудник гладкий	<i>Angelica lacvigata</i> Franch.
Дурнишник зубатый	<i>Xanthium strumarium</i> L.
Земляника восточная	<i>Fragaria orientalis</i> L.
Золотарник тихоокеанский	<i>Solidago decurrens</i> L.
Ежовник	<i>Echinochloa</i> Beauv.
Иван-чай узлолистный	<i>Chamaenerium angustifolium</i> Scop.
Ирис мечевидный	<i>Iris ensata</i> Thunb.
— одноцветный	— <i>unifolia</i> Pall.
Какалия копьевидная	<i>Cacalia hastata</i> L.
— ушастая	— <i>auriculata</i> DC.
Калерия тонкая	<i>Koeleria gracilis</i> Pers.
Калина Саржента	<i>Viburnum sargentii</i> Koehne.
Камыш трехгранный	<i>Scirpus triquetus</i> L.
Карпезий поникший	<i>Carpesium cernuum</i> L.
Картофель	<i>Solanum tuberosum</i>
Качим Петрена	<i>Gypsophila Patrini</i>
Кипрей	<i>Epilobium</i> L.
Кислица обыкновенная	<i>Oxalis acetosella</i> L.
Клевер люпиновидный	<i>Trifolium lupinaster</i> L.
— ползучий	— <i>repens</i> L.
Клинтония удская	<i>Clintonia udensis</i> Trautv. et Mey.
Клопогон даурский	<i>Cimicifuga dahurica</i> Maxim.

1	2
Конские бобы	<i>Vicia faba</i>
Кочедыжник городчатый	<i>Athyrium crenatum</i> Rupr.
— женский	— <i>filix — femina</i> Roth.
— игольчатый	— <i>spinulosum</i> Milde.
— красночерешковый	— <i>rubripes</i> Kom.
— мягкий	— <i>mite</i> Christ.
Кохия веничная	<i>Kochia scoparia</i> (L.) Schrad.
Крапива узколистная	<i>Urtica angustifolia</i> Fisch.
Кровохлебка аптечная	<i>Sanguisorba officinalis</i> L.
— тонколистная	— <i>tenuifolia</i> Fisch.
Купена душистая	<i>Polygonatum odoratum</i> Druce.
Лабазник дланевидный	<i>Filipendula palmata</i> Maxim.
Ландыш Кейске	<i>Convallaria keiskei</i> Miq.
— маньчжурский	— <i>mandshuricum</i> Kom.
Лапчатка бесстебельная	<i>Potentilla acaulis</i> L.
— земляниковидная	— <i>fragarioides</i> L.
— пижмодистная	— <i>tanacetifolia</i> Willd.
Леспедеца копеечниковая	<i>Lespedeza hedysaroides</i> Kitag.
Лилейник	<i>Liliaceae</i> Hall.
Лилия даурская	<i>Lilium dahuricum</i> Ker.-Gawl.
— тонколистная	— <i>tenuifolium</i> Fisch.
Линнея северная	<i>Linnaea borealis</i> L.
Ломонос маньчжурский	<i>Clematis mandshurica</i> Rupr.
— шестилепестковый	— <i>hexapetala</i> Pall.
Льнянка обыкновенная	<i>Linaria vulgaris</i> Mill.
Люцерна	<i>Medicago sativa</i>
Майник двулистный	<i>Majanthemum bifolium</i> L.
Мак крупнокоробочковый	<i>Papaver macrosomum</i> B.
— спутанный	— <i>commutatum</i> F.
Марьянник розовый	<i>Melampyrum roseum</i> Maxim.
Мелколепестник канадский	<i>Erigeron canadensis</i> L.
Мелкоплодник ольхолистный	<i>Micromeles alnifolia</i> Sieb.
Многорядник трехраздельный	<i>Polystichum triptera</i> Maxim.
Мискантус сахароцветный	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> Maxim.
Многоножка обыкновенная	<i>Polypodium vulgare</i> var. <i>virginianum</i> L.
Мята даурская	<i>Mentha dahurica</i> Fisch.
Одуванчик монгольский	<i>Taraxacum mongolicum</i> Hand.— Mazz.
Орляк обыкновенный	<i>Pteridium aquilinum</i> Kuhn.
Осока бледная	<i>Carex pallida</i> C. A. Mey.
— гладконосная	— <i>leiorhyncha</i> C. A. Mey.
— железная (ржавопятнистая)	— <i>siderosticta</i> Hance.
— кривоносная	— <i>campylorhina</i> V. Krecz.
— ланцетная	— <i>lanceolata</i> Boott.
— лесолобивая	— <i>salvaticum</i>
— маньчжурская	— <i>mandshurica</i> Meinsh.
— мечевидная	— <i>ziphium</i> Kom.
— пузыреватая	— <i>vesicata</i> Meinsh.
— твердоватая	— <i>duriuscula</i> C. A. Mey.
— узколистная	— <i>stenophylla</i> Wahlb.
— уссурийская	— <i>ussuriensis</i> Kom.
Осот	<i>Sonchus</i> L.
Очиток живучий	<i>Sedum aizoon</i> L.
Папоротник луговой	<i>Dryopteris thelypteris</i> L.
Пижма нителистная	<i>Tanacetum boreale</i> L.
Пион белоцветковый	<i>Paeonia lactiflora</i> Pall.
Плаун булавовидный	<i>Lycopodium clavatum</i> L.
— можжевельниковый	— <i>juniperoides</i> Sw.
Подмаренник настоящий	<i>Galium verum</i> L.
Польнь Аржи	<i>Artemisia argyi</i> Levil. et Vaniot.
— Гмелина	— <i>gmelinii</i> Web.
— жертвенная	— <i>sacrorum</i> Ldb.
— холодная	— <i>frigida</i> Willd.
— маньчжурская	— <i>mandshurica</i> Kom.
— монгольская	— <i>mongolica</i> L.
— обыкновенная	— <i>vulgatis</i> L.
— побегоносная	— <i>stolonifera</i> Maxim.

1	2
Полынь узколистная	<i>Artemisia stenophylla</i> L.
— эстрагон	— <i>dracunculus</i> L.
Порезник жабрицевидный	<i>Libanotis seseloides</i> Turcz.
Репяшок	<i>Agrimonia</i> L.
Серпуха васильковая	<i>Serratula komarovii</i> Iljn.
— венечная	— <i>coronata</i> L.
Смолевка ползучая	<i>Silene repens</i> Patr.
— скрученноцветковая	— <i>compacta</i> F.
Сосюрея крупнолистная	<i>Saussurea grandifolia</i> Maxim.
Софора желтеющая	<i>Sophora flavescens</i> Ait.
Сподиопогон сибирский	<i>Spodiopogon sibiricus</i> Trin.
Спорыш (горец)	<i>Polygonatum</i> L.
Стивенния	<i>Stevenia cheiranthoides</i>
Страусопер германский	<i>Matteuccia struthiopteris</i> L.
Хвощ зимующий	<i>Equisetum hiemale</i> L.
— лесной	— <i>silvaticum</i> L.
Хлорант японский	<i>Chloranthus japonicus</i> Sieb.
Чемерица уссурийская	<i>Veratrum ussuriense</i> Nakai.
— черная	— <i>dahuricum</i> Turcz.
Чистотел большой	<i>Chelidonium majus</i> L.
Шалфей сорный	<i>Salvia plebeia</i> R. Br.
Шпороцветник вырезной	<i>Plectranthus excisus</i> Maxim.
Щитовник амурский	<i>Dryopteris amurensis</i> H. Christ.
— буковый	— <i>phegopteris</i> C. Chr.
— Роберта	— <i>robertiana</i> C. Chr.
— Линнея	— <i>linnaeana</i> C. Chr.
Ясенец пушистоплодный	<i>Dictamnus dasycarpus</i> Turcz.

Мхи и лишайники

Политрихум обыкновенный	<i>Polytrichum commune</i> Hedw.
Мниум остроконечный	<i>Mnium cuspidatum</i> Hedm.
Кладония альпийская	<i>Cladonia alpestris</i> (L.) Rabh.
— лесная	— <i>sylvatica</i> (L.) Hoffm.
Сфагnum магелланский	<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.
— Руссова	— <i>russowii</i> Warnst.
Хелодиум Бландова	<i>Helodium blandowii</i> Wanst.
Хилокомиум пронзенный	<i>Hylocomium proliferum</i> Lidb.
Ягель	<i>Cladonia</i> sp.

Примечание. Определение растений произведено по Определителям Д. П. Воробьева (1968), Д. П. Воробьева и др. (1966), В. Н. Ворошилова (1966), В. Л. Комарова и Е. Н. Клобуковой-Алисовой (1932).

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Глава I. Краткая история разработки, применения и современное состояние биогеохимического метода поисков рудных месторождений	8
Глава II. Краткая геолого-тектоническая, металлогеническая и ландшафтная характеристики условий применения биогеохимического метода поисков на Дальнем Востоке	21
Геолого-тектоническое строение	—
Некоторые особенности металлогении	23
Характеристика растительного покрова	25
Глава III. Методика биогеохимических исследований	28
Методика полевых исследований	—
Методика лабораторных исследований	30
Методика камеральных исследований	31
Глава IV. Биогеохимические исследования на оловорудных месторождениях Дальнего Востока	33
Биогеохимические исследования на оловорудном месторождении Ма- лого Хингана	34
Общая характеристика месторождения и сформированных на нем почв	—
Минералогический состав бурых горно-лесных почв	42
Геохимия бурых горно-лесных почв	45
Биогеохимия растений	54
Биогеохимические исследования на оловянно-полиметаллическом рудо- проявлении	68
Общая характеристика рудопроявления и почв, сформированных на нем	—
Минералогия бурых лесных почв	70
Геохимия бурых лесных почв	72
Особенности накопления малых химических элементов в растениях	83
Биогеохимические исследования на касситерито-станнино-сульфидном месторождении	92
Общие сведения	—
Геохимия бурых горно-лесных почв	95
Особенности содержания микроэлементов в растениях	101
Биогеохимические исследования на сульфидно-касситеритовом место- рождении Комсомольского района	109
Общие сведения	—
Геохимия буро-таежных почв	111
Особенности накопления малых химических элементов в растениях	115
Биогеохимические исследования на рудопроявлениях олова в зоне лесостепи	120
Биогеохимические исследования на рудопроявлениях касситерит- силикатно-сульфидной формации	122
Биогеохимические исследования на оловорудных проявлениях Бад- жальского хребта	126
Общие закономерности миграции и накопления олова в почвах, в растениях на оловорудных месторождениях и рудопроявлениях	129
Закономерности миграции и накопления олова в почвах	129
Закономерности накопления олова в растениях	133
Глава V. Биогеохимические исследования на месторождениях и рудопрояв- лениях различных металлов	139

Биогеохимические исследования на полиметаллическом месторождении	139
Общие сведения	—
Геохимия бурых лесных почв	141
Особенности накопления малых элементов в растениях	145
Биогеохимические исследования на никелиносном серпентинитовом массиве	151
Общие сведения	—
Геохимия бурых лесных почв на серпентинитовом массиве	154
Особенности содержания малых химических элементов в растениях на серпентинитовом массиве	159
Биогеохимические исследования на вольфрамовом рудопроявлении	163
Общие положения	—
Особенности накопления вольфрама и молибдена в бурых горнолесных почвах	166
Особенности накопления вольфрама и молибдена в растениях	171
Биогеохимические исследования на грейзенизированных гранитах	179
Общие сведения	—
Особенности накопления бериллия в почвах и растениях	184
Особенности накопления циркония в почвах и растениях	188
Биогеохимические исследования на пегматитовой зоне в составе кварцево-сланцевых сланцев	194
Общие сведения	—
Геохимия бурых лесных почв	197
Особенности накопления редких элементов в растениях	206
Биогеохимические исследования на россыпном рудопроявлении золота	214
Глава VI. Некоторые методические аспекты биогеохимических поисков . . .	216
Сезонные изменения содержания микроэлементов в растениях	—
Влияние атмосферных осадков (дождей) на содержание микроэлементов в растениях	220
Возможность биогеохимического опробования сухостоя	225
Некоторые геоботанические индикаторы рудной минерализации	227
Глава VII. Вопросы эффективности биогеохимического метода поисков рудных месторождений	233
Значение ландшафтно-геохимических исследований для обоснования применения биогеохимического метода	—
Опыт выявления рудных аномалий биогеохимическим методом	234
Отбор и обработка биогеохимических проб	236
Разрешающие возможности биогеохимического метода	238
Заключение	241
Литература	245
Приложение	267

Петр Васильевич Ивашов

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА
ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
(применительно к территории Дальнего Востока)**

Ответственный редактор
Анатолий Михайлович Излев

Редактор Н. Ф. Джигирис, художественный редактор М. Ф. Глазырина,
художник Е. Ф. Зайцев, технический редактор Т. К. Овчинникова
Корректоры Л. Л. Тычкина, Л. А. Егорова

Сдано в набор 25 марта 1975 г. Подписано в печать 11 февраля 1976 г. МП 02016. Формат 70×108^{1/16}.
Бумага типографская № 2, 17 печ. л., 25,2 уч.-изд. л. 23,8 усл. печ. л. Тираж 1300 экз.
Заказ 482. Цена 2 р. 52 к.

Издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099, Новосибирск, 99, Советская, 18.
4-я типография издательства «Наука». 630077, Новосибирск, 77, Станиславского, 25.

Цена 2 р. 52 к.

1734