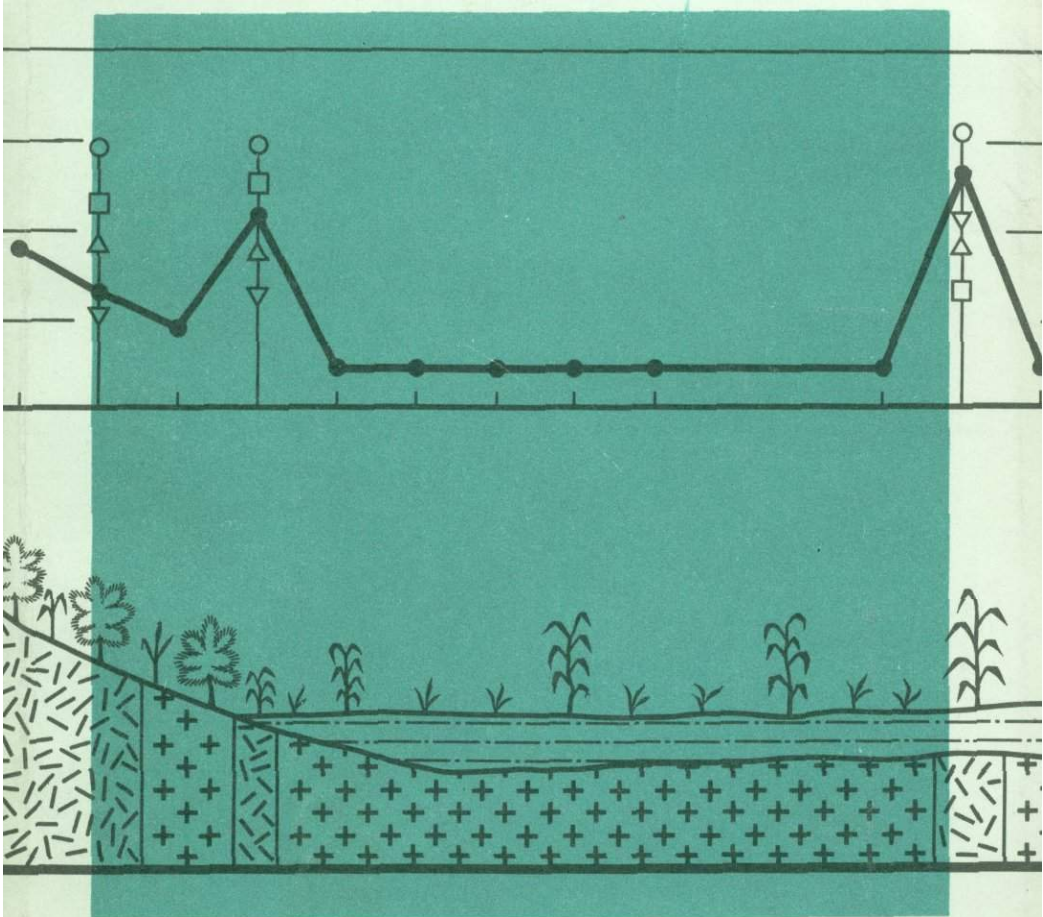


П.В. Ивашов

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ОЛОВЯННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ



·Наука·

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

Хабаровский комплексный научно-исследовательский институт

П.В. Ивашов

**БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ
ИНДИКАЦИЯ
ОЛОВЯННОЙ
МИНЕРАЛИЗАЦИИ**

Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР
А. С. ХОМЕНТОВСКИЙ



МОСКВА «НАУКА»

1987



4935

Ивашов П. В. Биогеохимическая индикация оловянной минерализации. — М.: Наука, 1987.

Монография — первое обобщение мировых данных по биогеохимии и геохимии олова в растениях и почвах. В основу ее положены материалы автора, полученные им в результате многолетних биогеохимических исследований на Дальнем Востоке, а также литературные данные по другим регионам СССР (Сибирь, Казахстан, Средняя Азия, Урал, Белоруссия, Украина и др.) и зарубежным территориям (Западная Европа, Северная и Южная Америка, Африка и Азия, Австралия и Океания). Изучена также биогеохимия микроэлементов — спутников олова. Разработана классификация методов биогеохимической индикации оловянного оруденения разного генетического типа применительно к различным экологическим условиям земной поверхности и описан опыт выявления оловорудных тел с помощью биометодов.

Табл. 45. Ил. 60. Библиогр. 593 назв.

Рецензенты:

Р. В. Уразметов, Н. С. Кравченко

ВВЕДЕНИЕ

Разработка научных основ и практических приемов геохимических методов поисков рудных месторождений применительно к разнообразным природным условиям нашей страны является в настоящее время актуальной проблемой прикладной геохимии. Общеизвестно, что технический прогресс и высокоразвитое народное хозяйство СССР во многом обусловлены богатыми минерально-сырьевыми ресурсами. Широко развернутая геологическая служба дает возможность открывать все новые и новые месторождения самых различных полезных ископаемых.

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года», принятых на XXVII съезде КПСС, подчеркнут вопрос об уделении особого внимания поискам и разведке месторождений высококачественных руд для черной и цветной металлургии.

В настоящее время основными методами поисков руд являются геохимические, позволяющие обнаружить месторождения большинства химических элементов. Среди геохимических методов в последние годы значительный интерес приобретают биогеохимические и биологические методы поисков рудных месторождений, основанные на тесной связи между содержанием химических элементов в живых организмах и в почвах на участках рудной минерализации, а также в изменении морфологии растений или возникновении своеобразных растительных ассоциаций в местах повышенного содержания в почвообразующих породах тех или иных металлов.

Исключительно большое научное и практическое значение биолого-биогеохимические методы имеют для поисков месторождений олова — металла, широко используемого в народном хозяйстве.

Однако для поисков оловорудных месторождений эти методы не были разработаны, хотя необходимость в них была очевидна, особенно применительно к ландшафтно-климатическим условиям советского Дальнего Востока, где находятся основные перспективные площади для поисков оловянных руд в составе Тихоокеанского рудного пояса. Это послужило главной причиной постановки и решения проблемы биогеохимической индикации оловянной минерализации и определяет актуальность проведенных исследований.

Выполненная работа является составной частью одного из главных научных направлений Хабаровского КНИИ ДВНЦ АН СССР, утвержденного постановлением Президиума АН СССР, которое формулируется так: «Разработка теоретических основ биогеохимического метода поисков полезных ископаемых, геохимическая характеристика современных и древних

ландшафтов и отложений». Руководителем и ответственным исполнителем этой тематики был автор настоящей монографии.

При выполнении работы по тематике монографии автор ставил перед собой две задачи 1) разработка научных основ и практических приемов биогеохимических методов поисков оловорудных месторождений; 2) установление общих закономерностей биогеохимии олова в экосистемах земной поверхности независимо от оловянного оруденения. Для решения поставленных задач необходимо было:

- установить особенности формирования биогенных ореолов рассеяния олова в растениях, в гумусовом горизонте почв, в лесной подстилке, в опаде и в других биообъектах, находящихся в разных ландшафтных зонах и на различных по генетическому типу оловорудных месторождениях, рудопроявлениях и оловосодержащих массивах пород;

- выявить растения-концентраторы олова применительно к лесорастительным (ландшафтным) зонам;

- определить диапазон и особенности содержания олова в фитоценозах экосистем земной поверхности;

- установить особенности накопления олова в флористическом ряду: мхи—травы—кустарники—деревья;

- провести группировку биообъектов — частей растений и их органов по поисковой информативности с точки зрения рационального опробования их при проведении биопоисков и с целью выявления барьерных и безбарьерных биообъектов в накоплении олова;

- охарактеризовать степень поглощения олова над рудными телами и за их пределами при помощи коэффициентов биологического поглощения (КБП);

- изучить особенности корневых систем растений-индикаторов и концентраторов олова в связи с поглощением металла в процессе минерального питания растительных видов;

- дать оценку биогеохимическим аномалиям олова на основе коэффициентов контрастности;

- показать на конкретных примерах изменения количественного содержания олова и его спутников в растениях на рудных и безрудных зонах;

- выявить ботанические (биогеоценологические, морфолого-анатомические и фенологические) индикаторы оловянного оруденения;

- разработать классификацию и дать характеристику основных биогеохимических и биологических методов индикации оловянной минерализации;

- изучить биогеохимию химических элементов — спутников олова как дополнительных индикаторов выявления биоаномалий, связанных с рудой;

- показать возможности применения биогеохимических методов поисков руд олова в условиях многолетней мерзлоты, широко развитой на территории Сибири и Дальнего Востока, в том числе и в зоне БАМа;

- установить формы нахождения олова в зоне гипергенеза, особенно в почвах как среде питания растений;

- выяснить особенности миграции и накопления олова в генетических горизонтах почв, сформированных на оловорудных полях;

- на основе лабораторных экспериментов оценить степень химического выветривания (растворения) касситерита как главного и высокоустойчивого

минерала оловянных руд под действием природных реагентов — органических и неорганических кислот и воды;

— сравнить литогеохимические и биогеохимические ореолы рассеяния олова с точки зрения эффективности индикации оловорудных тел;

— оценить техногенные потоки олова и его спутников при геологоразведочных работах с использованием методов биогеохимической и биологической индикации;

— провести опытно-методические биогеохимические исследования с целью определения оптимальных сезонных сроков и погодных условий проведения биогеохимических оловянных руд;

— разработать эффективный и быстрый способ озоления биогеохимических проб;

— установить критерии прогноза генетического типа первичных (коренных) оловянных руд по биоореолам рассеяния, т. е. по биогеохимическим ассоциациям олова и его спутников на основе количественного содержания металлов в биообъектах;

— провести опытные биогеохимические поиски на флангах оловорудных месторождений, т. е. за пределами известных рудных тел, а также на перспективных участках.

Для решения перечисленных задач в качестве объектов исследования были выбраны оловорудные месторождения и рудопроявления в Западном секторе Тихоокеанского рудного пояса. Для получения сравнительных данных по биогеохимии и геохимии олова дополнительные исследования были проведены на других объектах — на базальтовых и гранитных массивах и на неоловорудных месторождениях, в которых олово содержится в качестве акцессорной примеси в породообразующих и рудных минералах. Методологической основой проведенных исследований служило учение о геохимии ландшафтов, позволяющее установить взаимоотношения в пространстве и во времени сопряженных вторичных ореолов рассеяния олова и его спутников в компонентах ландшафтов (экосистем) — почвообразующих пород, почвенного покрова, поверхностных и грунтовых вод, фитоценозов, зооценозов. Практической основой выполненных исследований были опытно-методические биогеохимические работы на указанных выше объектах, позволяющие установить особенности миграции и накопления олова в почвах и в растениях и в целом формирование вторичных ореолов рассеяния этого металла.

Для изучения вещественного состава и физико-химических свойств почв были использованы общепринятые в почвоведении методы — гранулометрический, валовый химический, физико-химический, а также шлихо-минералогический и рентгеноструктурный анализы. При озолении биогеохимических проб был применен разработанный нами способ. Определение олова в литогеохимических и биогеохимических пробах было проведено эмиссионным спектральным анализом с чувствительностью 0,0001% на спектрографе ДФС-13.

Результаты аналитических работ по определению олова и его спутников в почвах и в растениях обработаны методом вариационной статистики, а геохимические связи между содержанием олова и элементами-индикаторами в почвах и в растениях — методом корреляционного анализа. Статистическая обработка аналитических данных проводилась с помощью ЭВМЕС 1020 и микрокалькулятора «Электроника ВЗ-21» [Воробьев, Шваров, 1984].

В результате проведенных исследований впервые были получены новые, неизвестные до сих пор сведения теоретического (общая биогеохимия олова) и прикладного (поисковая биогеохимия олова) значения, а именно:

- установлены закономерности формирования биогеохимических ореолов рассеяния олова в зависимости от генетического типа оловянной минерализации и ландшафтно-климатических зон;

- проведена количественная оценка биоаномалий олова на основе биогеохимических параметров: коэффициентов контрастности, КБП, корреляции в системе почва—растения и т. д.;

- установлен таксономический диапазон растений, содержащих олово, применительно к ландшафтно-климатическим условиям земной поверхности;

- выявлены растения-концентраторы олова;

- проведена группировка биообъектов (растения, их органы и части) по поисковой информативности в связи с биогеохимическим опробованием;

- выявлены формы нахождения олова в почвах как питающей среды биоты и сделана оценка их роли в формировании биоореолов металла;

- разработаны научные основы и проведена классификация биогеохимических и биологических методов индикации оловянной минерализации, а также дана их характеристика и разрешающие возможности;

- определены оптимальные сезонные сроки и погодные условия проведения биогеохимических поисков олова;

- получены предварительные, но принципиально новые данные по прогнозу того или иного генетического типа первичного оловянного оруденения на основе биогеохимических ассоциаций олова и его спутников в растениях;

- разработан эффективный способ озоления биогеохимических проб.

Монография написана автором по результатам личных опытно-методических биогеохимических исследований на многочисленных (свыше 25) оловорудных объектах — месторождениях, рудопроявлениях, зонах минерализаций, а также на базальтовых и гранитных массивах и на неоловорудных объектах Дальнего Востока на протяжении 1964—1984 гг. Кроме того, в этот же период были проведены опытные биогеохимические поиски на флангах месторождений и на участках (перспективных) с целью выявления неизвестных биоаномалий олова и непосредственно оловорудных тел. В общей сложности с указанных объектов было отобрано свыше 20 000 биогеохимических проб, в которых помимо олова устанавливалось содержание его спутников — 20—25 химических элементов, что составило свыше 400 000 элементоопределений. Было отобрано порядка 2000 образцов почв, отмыто по почвенным генетическим горизонтам 500 шлиховых проб с целью изучения микроэлементного и минералогического составов почв, почвогрунтов и современной коры выветривания на месторождениях и массивах пород.

Для установления общих закономерностей в поглощении олова растениями были привлечены и обобщены литературные данные как по регионам СССР (Сибирь, Казахстан, Средняя Азия, Урал, Белоруссия, Украина и др.), так и по зарубежным территориям (Западная Европа, Северная и Южная Америка, Африка, Азия, Австралия и Океания).

Результаты проведенных исследований стали научно-практической основой для геологических организаций Дальнего Востока, в частности производственно-геологического объединения (ПГО) Дальгеология, занимаю-

щихся проведением геохимических поисков оловорудных месторождений. Разработанные и апробированные методы биогеохимической индикации оловянной минерализации в ряде случаев оказались незаменимыми способами обнаружения месторождений олова в таких ландшафтных условиях Дальнего Востока, где применение других геохимических методов невозможно или неэффективно. Эти методы могут быть применены не только на Дальнем Востоке, но и в других регионах страны, где есть перспективные участки на оловянное оруденение.

Полученные данные о накоплении олова и его спутников в растениях могут быть использованы при оценке загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами в районах разведки и разработки оловянно-полиметаллических руд. Изменения в биосфере таких районов возникают под воздействием техногенных потоков минерального вещества, обусловленных геологоразведочными работами, горнодобывающим производством, хвостохранилищами обогатительных фабрик, выбросами оловоплавильных заводов и т. д. Поэтому, исходя из их особенностей накопления тяжелых металлов, ряд растений можно использовать как тест-объекты для биологического мониторинга загрязнения природной среды, особенно при разведке и добыче оловянно-полиметаллических руд, содержащих примеси токсичных металлов — As, Hg, Sb, Pb, Cd и др.

Обобщение оригинальных и литературных материалов по геохимии и биогеохимии олова в почвах, в фито- и зооценозах как на оловорудных месторождениях, так и на «стерильных» с точки зрения оруденения породах позволило выдвинуть новую научную концепцию о биогеохимии олова в экосистемах и в целом в биосфере. Она заключается в том, что олово как тяжелый металл имеет широкий диапазон миграции и накопления в биообъектах — в почвах, в фито- и зооценозах и в других компонентах экосистем. Эта научная концепция биогеохимии олова базируется на следующих положениях:

— оловорудная минерализация во всех ландшафтно-климатических зонах земной поверхности успешно фиксируется биогеохимическими методами путем выявления истинных биогеохимических аномалий олова и его спутников в биообъектах, непосредственно связанных с оловорудными телами;

— касситерит как главный минерал оловянных руд, несмотря на его исключительную устойчивость в зоне гипергенеза, подвергается значительному химическому выветриванию (растворению) с высвобождением ионов олова, доступных растениям, о чем свидетельствуют экспериментальное лабораторное моделирование этого процесса и биогеохимические ореолы рассеяния олова на участках минерализаций с мономинеральными существенно касситеритовыми рудами.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ ОЛОВЯННОГО ОРУДЕНЕНИЯ

В настоящее время в практике поисков оловорудных месторождений применяются все основные минералогические и геохимические методы: 1) шлиховой, 2) шлихогеохимический, 3) литогеохимический по первичным ореолам рассеяния, 4) литогеохимический по вторичным ореолам и потокам рассеяния, 5) гидрогеохимический, 6) биогеохимический [Инструкция..., 1983].

В методологии геохимических поисков оловорудных месторождений важнейшую роль играет учение о вторичных ореолах рассеяния олова, основы которого в 30-е годы заложили советские ученые и практики по поискам оловянных руд — Н. И. Сафронов [1936], Н. И. Сафронов, А. П. Соловов [1935], И. М. Озеров [1937], Б. Л. Флеров [1935, 1938], Е. А. Сергеев [1936] и др. Соответственно в научную, учебную и производственную литературу вошли сформулированные ими представления о лито-, гидро-, биогеохимических и других ореолах рассеяния этого металла.

Наибольшее развитие, применение и соответственно методическую разработку получили литогеохимические методы поисков оловорудных месторождений как по первичным, так и по вторичным ореолам рассеяния. Биогеохимические методы поисков месторождений олова пока не нашли такого широкого применения. На наш взгляд, это объясняется следующими причинами: 1) сложившейся традицией поиска оловорудных месторождений по гипергенным ореолам рассеяния с помощью шлихового, шлихогеохимического и литогеохимического методов; 2) известной трудностью применения биогеохимических методов в полевых условиях, особенно в процессе опробования растительного материала, когда поисковик должен иметь определенные биологические знания наряду с геолого-геохимическими; 3) отсутствием специализированных центров подготовки специалистов по биогеохимическим методам поисков в вузах и в университетах; 4) слабой разработкой до последнего времени научных основ и практических приемов биогеохимической индикации оловорудной минерализации; 5) сосредоточением открытых относительно недавно оловорудных месторождений, рудопроявлений и перспективных площадей как объектов биогеохимических исследований на востоке страны, т. е. в удаленном и пока еще слабо освоенном регионе, где ощущается нехватка специалистов.

Теоретической основой биогеохимической индикации оловорудной минерализации является комплекс учений, среди которых главные учения: В. И. Вернадского [1926, 1965] — о биосфере, А. Е. Ферсмана [1959] — о миграции химических элементов в зоне гипергенеза, Б. Б. Полюнова [1956] — о геохимических ландшафтах, А. П. Виноградова [1932, 1935] —

о химическом составе живых организмов, В. М. Гольдшмидта [Goldschmidt, 1954] — о накоплении металлов в неживом органическом веществе, В. А. Ковды [1973] — о биогенной миграции химических элементов в биосфере и Б. Г. Розанова [1984] — об окружающей среде. А. П. Виноградов [1967] отмечал, что некоторые организмы концентрируют олово в 2000 раз больше, чем обычные растения, а в золе каменных углей этот металл содержится до 500 г/т [Гольдшмидт, Петерс, 1938]. В. И. Вернадский еще в 1921 г. высказал предположение, что металлами могут быть обогащены растения, из которых образовался гумус, и, следовательно, анализ растительного материала и гумуса может быть эффективным методом поисков рудных месторождений.

Наибольший вклад в теоретические основы биогеохимических методов внес В. И. Вернадский [1965] в связи с разработкой проблем учения о биосфере. Подчеркивая единство биосферы, единство материального мира с точки зрения их химического строения, он писал: «В конце концов все химические элементы Менделеевской таблицы, по-видимому, закономерно охвачены живым веществом. Это может служить косвенным подтверждением тому, что отличие живого и косного вещества планеты связано не с различием физико-химических проявлений, а с более общим различием состояния пространства—времени этих материально-энергетических систем» (с. 234). В. И. Вернадский сформулировал понятие о биогеохимических функциях живого вещества, которые распространяются на всю планету, определяют в планетарном масштабе основные химические проявления жизни и являются важнейшими химическими реакциями живого вещества, поскольку они химически отражаются на окружающей организм внешней среде.

Другое важное биогеохимическое понятие, введенное В. И. Вернадским [1965], — о концентрационных функциях, под которыми он понимал процессы в живом организме, приводящие к избирательному выбору ими из окружающей среды определенных химических элементов. При этом выделялись концентрационные функции двух родов: первого, когда происходит захват живым веществом тех химических элементов, соединения которых встречаются в теле всех без исключения живых организмов; второго, когда концентрация тех или иных металлов присуща определенным видам организмов.

В. И. Вернадский выделил еще концентрационные функции третьего рода, связанные с деятельностью человека, и по этому поводу он писал: «На наших глазах это явление начинает меняться в нашу психозойскую эру, когда человек овладел новой биогенной миграцией атомов третьего рода, идущей под влиянием его жизни, воли, разума в окружающей среде» [1965, с. 267]. Это гениальное предвидение В. И. Вернадского в настоящее время превратилось в самостоятельное научное направление — геохимическую экологию техногенных потоков химических элементов в окружающей среде.

Изучение биогенной миграции атомов химических элементов в биосфере позволило В. И. Вернадскому [1965, с. 283—286] сделать эмпирические обобщения, которые он назвал биогеохимическими принципами: 1) биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению; 2) эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию устойчивых в биосфере форм жизни, идет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов биосферы; 3) в течение всего геологического времени заселение планеты приме-

нительно к тому или иному периоду должно было быть максимально возможным для всего живого вещества, которое тогда существовало. Выделенные биогеохимические принципы по существу определяют всю совокупность процессов, связанных с миграцией атомов в биосфере и с химическим строением биосферы под влиянием геологической эволюции. Эти методологические разработки В. И. Вернадского послужили дальнейшему развитию учения о биогенной миграции химических элементов и выявлению новых закономерностей их поведения в биосфере.

Так, А. Е. Ферсман [1958] рассмотрел геохимические свойства химических элементов в зависимости от строения их атомов, в результате чего была показана общность законов распространения химических элементов в косной и в живой природе. Это послужило толчком для поисков закономерных связей содержания важных и незаменимых для живых организмов химических элементов с их положением в таблице Д. И. Менделеева.

Большие исследования в этом направлении провел А. П. Виноградов [1935], показавший, что в общей форме существует один закон для распределения химических элементов в литосфере и в биосфере и что химический состав организмов и в целом живого вещества отражает геохимическую специализацию естественной среды. А. П. Виноградов открыл важнейшую биогеохимическую закономерность, которая гласит: количественный химический состав живого вещества есть периодическая функция атомного номера. Для большинства химических элементов А. П. Виноградов установил, что количественное содержание их в живом веществе находится в обратной пропорциональной зависимости от атомного веса, и тем самым по существу были заложены методологические основы наметившейся периодичности химических элементов в живом веществе, соответствующие периодам таблицы Д. И. Менделеева.

В. Х. Шоу [Schaw, 1960] провел исследования с целью раскрытия причин использования организмами определенных химических элементов для построения живого вещества на основе Периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Он сопоставил электронную структуру атомов, атомный вес и атомное число, с одной стороны, с физико-химическими свойствами, а с другой, — со способностью живого вещества использовать атомы в процессе жизни. В результате этих сопоставлений ему удалось выделить те физико-химические параметры атомов, от которых зависит поглощение организмами жизненно важных химических элементов, исходя из их доступности живому веществу в окружающей среде, способности тех или иных видов животных или растений избирательно их поглощать и концентрировать. В. Х. Шоу составил биогеохимическую периодическую таблицу, в которой была отражена распространенность химических элементов в биосфере по следующим категориям: 1) элементы, постоянно находящиеся в тканях и жидкостях растений и животных в относительно высоких концентрациях (приблизительно 1—60%); 2) элементы, встречающиеся также постоянно, но в меньших количествах (приблизительно 0,05—1,0%); 3) элементы, присутствующие постоянно в виде следов (меньше 0,05%); 4) элементы, встречающиеся в переменных низких количествах.

Изучая связи между биологическим значением элементов и атомным строением, А. И. Войнар [1960] и А. А. Кист [1973] пришли к выводу, что выявление таких закономерностей даст возможность составить периодическую систему биологических свойств элементов.

В. В. Ковальский [1974] в Периодической системе элементов Д. И. Менделеева выделил жизненно необходимые или даже незаменимые химические элементы для живого вещества и с учетом периодичности таблицы Д. И. Менделеева и строения атомов предсказал возможную биогенность других элементов, биологическая роль которых пока неизвестна, но может быть в дальнейшем доказана. Так, по положению в таблице Д. И. Менделеева Li и Be можно ожидать участие их в ферментных системах; предполагается, что Cd, Cr и Ni входят в состав неизвестных еще координационных соединений, которые могут быть использованы на построение ферментов; исходя из электронного строения атомов, признаны жизненно необходимыми Ti и Sc.

В таблице В. В. Ковальского [1974, с. 23] заслуживает внимания четвертая группа элементов по их значимости в живом веществе, куда входит Sn вместе с C, Si, Ge и Pb. Жизненная необходимость организмов в C и Si общеизвестна, в Ge — почти не вызывает сомнения вследствие его повсеместной концентрации в каменных и бурых углях, а Pb, хотя и относится к группе токсичных металлов, в малых концентрациях является стимулятором роста растений. Поэтому логично предположить, что Sn, входя в группу этих металлов, также имеет биологические свойства, которые до постановки наших исследований не были изучены. Следовательно, гипотеза В. В. Ковальского [1974] о прогнозе биогенности элементов на основе таблицы Д. И. Менделеева подтверждается на новом фактическом материале по биогеохимии олова.

Несмотря на всю сложность проблемы биологических свойств атомов химических элементов, в настоящее время не подлежит сомнению то, что живые организмы наследуют геохимическую специализацию окружающей природной среды. Эти представления, разработанные еще в 20-е годы XX в. В. И. Вернадским, лежат в основе биогеохимической индикации рудной минерализации.

Под влиянием этих идей С. П. Александров в 1923—1925 гг. провел опытные работы по биогеохимическому методу. Исследуя золу растений, распространенных на одном из месторождений, он обнаружил в ней повышенное содержание U и V по сравнению с золой растений, опробованных за пределами месторождения.

По предложению В. И. Вернадского и А. П. Виноградова в 1934 г. Д. П. Малюга [1963] начал биогеохимические работы по изучению содержания Fe и Ni в почвах и в растениях на железных и никелевых месторождениях Среднего и Южного Урала.

Независимо от Д. П. Малюги с 1935 г. биогеохимические исследования начал проводить С. М. Ткалич [1938] сначала на Унашинском арсенипиритовом месторождении Южного Приморья, а затем в Восточной Сибири, исследуя золу растений и гумусового горизонта почв на содержание железа и других металлов.

20—30-е годы были временем становления биогеохимического метода поисков руд, который возник в нашей стране. Необходимо отметить, что А. Е. Ферсман в эти же годы весьма положительно высказывался о перспективности биогеохимического метода: «Корни растений в зоне ореола рассеяния какого-либо месторождения несомненно будут поглощать соответствующий элемент в повышенном количестве, и зола растений может служить индикатором для этого процесса» [1953, с. 585].

За рубежом первые экспериментальные биогеохимические поиски были проведены только в 1936 г. Шведской поисковой компанией, в частности исследователями С. Палмквистом и Н. Брундиным [Palmquist, Brundin, 1939]. Они изучили содержание Pb, Sn, W, Mo и других металлов в золе травянистых растений, а также листьев деревьев и кустарников, произрастающих на участках возможного распространения оруденения. Работы, проведенные в Корнвалле, в северных районах Швеции, привели к обнаружению незначительных зон минерализаций, что подтверждало возможность практического применения метода. На основе этих работ в 1939 г. был получен патент на «Метод поисков путем систематического опробования растительного материала с последующим спектральным анализом золы растений» [Brundin, 1939].

Первые сведения о содержании Sn в золе растений появились свыше 200 лет назад, в 1753 г., когда шведский химик Урбан Иерне установил наличие в растениях тяжелых металлов — Fe, Cu, Sn, Hg, Pb, Au, As и др. [Малюга, 1963], однако исследования по разработке биогеохимического метода поисков оловянных руд не проводились. И даже если Sn и отмечался в золе растений при биогеохимических исследованиях, то это делалось попутно наряду с определением других тяжелых металлов и не на оловорудных месторождениях. Примером таких работ, выполненных в основном на полиметаллических месторождениях, могут быть исследования С. М. Ткалича [1956], С. В. Тиссена [Thyssen, 1942], Д. В. Карбуха [Harbaydh, 1950], Д. С. Уэбба и А. П. Милмана [Webb, Millman, 1951], А. П. Милмана [Millman, 1957] и др.

Возможность поисков оловянных руд с помощью биогеохимического метода отмечали А. П. Виноградов [1954], А. П. Виноградов и Д. П. Малюга [1957], И. И. Гинзбург [1957], А. М. Симорин [1956].

В 1956 и в 1963 гг. состоялись I и II Всесоюзные совещания по геохимическим методам поисков рудных месторождений в нашей стране, и в резолюциях этих совещаний особо подчеркивалась необходимость дальнейшего развития опытных работ по разработке и применению биогеохимических методов, в первую очередь в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Это дало значительный толчок расширению опытно-методических биогеохимических исследований с целью изучения биогенных ореолов рассеяния тяжелых металлов, в том числе и олова [Поликарпочкин, Поликарпочкина, 1964; Поликарпочкин и др., 1965; Мицкевич, 1958, 1962; Грабовская, 1964, 1965; Грабовская, Астрахан, 1963; Малюга, 1963; Ткалич, 1959, 1961, 1970; Лукашев, Лукашев, 1967].

В 1964 г. к разработке научных основ и практических приемов биогеохимических методов поисков оловорудных месторождений применительно к условиям Дальнего Востока приступил автор настоящей работы. За прошедшие 20 лет на многочисленных оловорудных месторождениях и рудопроявлениях разного генетического типа были проведены широкие специализированные систематические биогеохимические исследования [Ивашов, 1965—1986].

Начиная с 1970 г. появились монографические публикации и сборники по геохимическим методам поисков рудных месторождений, в которых имеются, хотя и отрывочные, полученные попутно, сведения о содержании олова в растениях и в почвах [Белякова и др., 1972; Иванова и др., 1974; Ковалевский, 1974б, 1975б, 1984; Ковалевский, Ковалевская, 1979;

Беус, Григорян, 1975; Беус и др., 1976; Барсуков и др., 1981; Григорян, Морозов, 1985; Поликарпочкин, 1976; Сает и др., 1973; Сает, 1982; Лукашев, 1972; Лукашев, Лукашев, 1975; Скарлыгина-Уфимцева и др., 1976; Квятковский, 1977; Питулько, 1977; Алексеенко, Войткевич, 1979; Перельман и др., 1982; Добровольский, 1983; Крамаренко, 1983; Овчинников, 1983; Солов, 1985].

Однако имевшихся отрывочных сведений о биогеохимии олова в растениях и геохимии в почвах было недостаточно для разработки научных основ биогеохимических методов поисков оловянных руд. Отметим, что еще 20—25 лет назад в отечественной и в зарубежной литературе практически отсутствовали данные о содержании олова в растениях на оловорудных месторождениях, что чрезвычайно затрудняло применение биогеохимического метода поисков этого сырья. Такое состояние проблемы биогеохимии олова привело к тому, что в зарубежной печати стали появляться научные статьи, авторы которых ставили под сомнение возможность использования биогеохимии для поисков оловорудных месторождений, исходя из исключительной устойчивости касситерита, главного и практически единственного минерала оловянной руды [Davy, 1972]. Поэтому биогеохимия олова, находящегося в составе касситерита, до последнего времени не была изучена с точки зрения применения биогеохимического метода поисков существенно касситеритовых руд.

Недостаточную теоретическую разработку и применение биогеохимических методов в практике поисков руд не только олова, но и других металлов отметило III Всесоюзное совещание по геохимическим методам поисков месторождений полезных ископаемых, прошедшее в г. Самарканде в октябре 1982 г. Это положение дел в какой-то степени отразила и программа совещания: если теоретически наиболее хорошо разработанным первичным и вторичным ореолам рассеяния рудных месторождений было посвящено 90 и 58 докладов и сообщений соответственно, то биогеохимическому методу — только 8, в том числе биогеохимии олова — единственный доклад [Ивашов, 1982а].

Между тем обнаружение месторождений глубокозалегающих оловянных руд, скрытых под покровом рыхлых аллохтонных образований, в различных ландшафтно-климатических зонах нашей страны, особенно Сибири и Дальнего Востока, является актуальной проблемой поисковой геохимии [Таусон, 1983а]. Решение этой проблемы требует применения наиболее эффективных геохимических методов поисков, одним из которых является биогеохимический метод. Разработка и применение этого метода для поисков руд олова относится к перспективным научным направлениям в прикладной геохимии.

В нашей стране наиболее крупные разрабатываемые месторождения касситерит-сульфидной и касситерит-кварцевой формаций и перспективные рудные площади находятся на Дальнем Востоке в составе Тихоокеанского рудного пояса [Некрасов, 1966; Усенко, Чеботарев, 1973; Радкевич, 1977; Говоров, 1977; Онихимовский, Гаврилов, 1979]. Поэтому разработка научных основ методов биогеохимической индикации оловянной минерализации наиболее актуальна применительно к природным условиям дальневосточного региона. Однако в этом регионе страны биогеохимические методы поисков руд в производственных условиях пока мало применяются [Василенко, Бураго, 1975; Лугов и др., 1979; Лаврик и др., 1980].

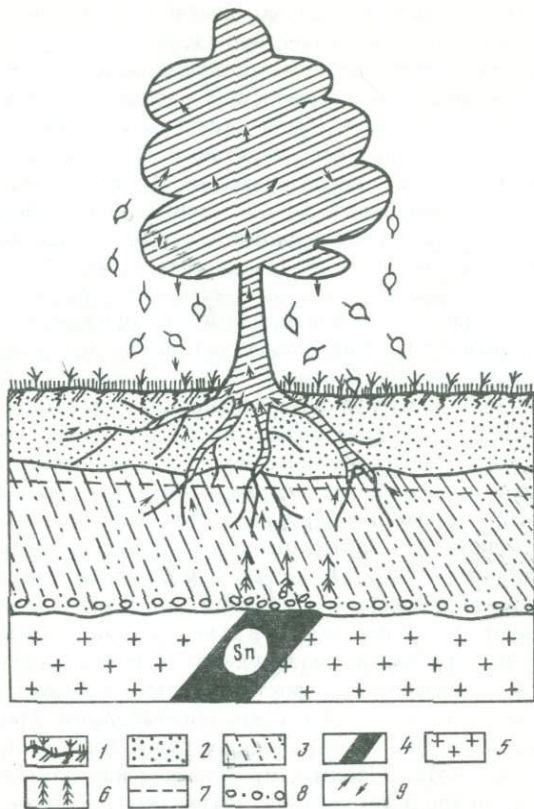
Собственно биогеохимический метод поисков руд олова основан на су-

существовании тесной связи между содержанием этого металла и его спутников в растениях, с одной стороны, и в почвах и материнских (коренных) оловосодержащих породах — с другой. По существу на этом же принципе основаны биогеохимические поиски и других металлов, поскольку в настоящее время в растениях обнаружено подавляющее большинство элементов, известных в природе. Некоторые из них, такие, как Cu, Mo, Mn, Zn, Ni, Co, V и другие, жизненно важные для растений, играют в них определенную физиологическую роль, участвуя в биохимических процессах. Ряд же элементов, вероятно, попадают в растения «вынужденно» в процессе минерального питания. В конечном счете все химические элементы, имеющиеся в минеральном субстрате, оказываются в растениях в количествах, пропорциональных количеству в коренных породах, и таким образом создаются биогеохимические (биогенные) ореолы рассеяния металлов.

Собственно биогеохимический метод поисков состоит в нахождении оловорудных месторождений по биогенным ореолам рассеяния олова и его спутников. Этот метод использует в качестве руководящего признака повышенное содержание олова и некоторых сопутствующих рудных элементов-металлов в растениях, распространенных над месторождением как специфическим геохимическим ландшафтом. Корневая система растений, произрастающих над эпицентрами оловорудных залежей, внедряется в почву и в подпочвенный слой рыхлых образований, достигая оловорудных тел или диффузионных ореолов. Корневые волоски растений поглощают почвенную влагу и вместе с ней ионы олова и сопутствующих металлов. В некоторых случаях при определенных условиях корневые волоски растений могут переводить в подвижное состояние и поглощать ионы металлов, первоначально прочно связанные в микрообломках минералов (например, касситерита), содержащихся в почве и в современной коре выветривания.

Таким образом олово и его спутники попадают в растения, и в зависимости от количественного содержания их в корнеобитаемом слое могут накапливаться в растениях или содержаться в пределах кларка. После отмирания растения целиком или только его отдельных органов (листьев, коры, ветвей, цветов, плодов и т. д.) олово и его спутники, химические элементы-индикаторы оловянной минерализации, содержащиеся в этих органах, попадают в опад и лесную подстилку, а затем в самый верхний горизонт почв — гумусовый, где и накапливаются. Так как процесс накопления олова наиболее ощутим в растениях, непосредственно произрастающих над рудным телом, биогенные ореолы рассеяния этого металла на этом участке четко выражены в гумусовом горизонте почв, в лесной подстилке и в растениях. Схема формирования их приведена на рис. 1. Это по существу графическая модель процесса формирования биоореолов олова в таком варианте, когда корневая система растений непосредственно не касается оловорудного тела, что обычно имеет место при открытых ореолах рассеяния, т. е. при маломощном чехле элювиально-делювиальных образований. При значительной мощности покровных наносных (аллохтонных) накоплений биоореолы олова образуются за счет диффузионного подтока к корням растений ореольных грунтовых вод, содержащих ионы олова, в процессе формирования в почвогрунтах так называемой капиллярной каймы.

Выявление биогеохимических аномалий среди биогенных ореолов рассеяния составляет по существу основу биогеохимических поисков руд любого металла. Не составляет исключения в этом отношении и олово. Логично



Р и с. 1. Модель формирования биогеохимического ореола рассеяния олова в растениях и в гумусовом горизонте почв за счет диффузионного подтока оловосодержащих грунтовых вод на участках со значительной мощностью покровных образований

1 — лесная подстилка и гумусовый горизонт; 2 — почвенный слой; 3 — покровные суглинки; 4 — оловорудная жила; 5 — рудовмещающие породы; 6 — направление диффузионного подтока оловосодержащих растворов; 7 — капиллярная кайма; 8 — кора выветривания; 9 — направление миграции ионов олова

предположить, что биогеохимические аномалии олова контролируются, с одной стороны, геолого-минералогическими и ландшафтно-геохимическими условиями территории поисков, а с другой — физиологическими функциями видов растений, распространенных над зонами минерализаций. Несомненно, на формировании биогеохимических аномалий олова сказываются генетический тип предполагаемого оловянного оруденения, минералогический и геохимический состав руд, интенсивность оруденения, зернистость касситерита, наличие, кроме касситерита, других минералов олова, например станнина, уровень эрозионного среза предполагаемой рудной зоны, формы оловорудных тел или первичных ореолов рассеяния олова и т. д. Учет этих факторов необходим, поскольку они индивидуально или аддитивно влияют на контрастность биогеохимических аномалий олова.

Исходя из этих предположений и соображений с целью установления особенностей поисковой биогеохимической индикации оловянной минерализа-

ции, мы провели специализированные опытно-методические исследования на многочисленных оловорудных месторождениях и рудопроявлениях и на их флангах, находящихся в различных ландшафтно-климатических условиях лесной зоны Дальнего Востока и имеющих разный генетический тип. Биогеохимическими исследованиями были охвачены следующие типы оловянной минерализации: 1) кварц-касситеритовый, 2) сульфидно-касситеритовый, 3) сульфидно-станнино-касситеритовый, 4) касситерит-полиметаллический, 5) касситерит-скарновый, 6) касситерит-пегматитовый, 7) касситерит-грейзеновый, 8) касситерит-редкометалльный, 9) касситерит-хлоритовый, 10) касситерит-турмалиновый, 11) касситерит-вольфрамит-турмалиновый, 12) касситерит—вольфрамитовая россыпь, 13) базальтовые массивы, 14) гранитные массивы, 15) неоловорудные месторождения.

Указанные генетические типы включают почти все разновидности известных оловорудных месторождений не только Дальнего Востока, но и мира согласно современной классификации оловорудных формаций [Онихимовский, Гаврилов, 1982]. Это дает возможность достаточно полно охарактеризовать особенности биогеохимии олова и его спутников применительно к тому или иному генетическому типу оловянной минерализации.

Помимо этого, территория Дальнего Востока, особенно в пределах лесной и лесостепной зон, характеризуется специфическими природными условиями, связанными большей частью с муссонным климатом, а следовательно, с периодическим переувлажнением, которое вызывает интенсивные процессы почвенного выщелачивания. Кроме того, на территории Дальнего Востока, главным образом в оловорудных районах, обширные области заняты марями и заболоченными пространствами, а также горными массивами, где широко развиты участки с крупноглыбовыми элювиально-делювиальными образованиями. Весьма характерны для Дальнего Востока, особенно для зоны БАМа, районы с многолетней или длительной сезонной мерзлотой. Такие природные условия затрудняют, а подчас делают невозможным применение литогеохимического метода поисков и, наоборот, благоприятным — применение биогеохимического метода.

На территории Дальнего Востока, входящей по металлогеническому районированию в Тихоокеанский рудный пояс, помимо олова, находится целый ряд месторождений W, Be, Li, Mo, Cu и других цветных, редких и рассеянных элементов, а также многочисленные перспективные участки, где наряду с литогеохимическими можно проводить и биогеохимические поиски. Поэтому, естественно, разработка научных основ биогеохимического метода поисков оловорудных и в целом рудных месторождений применительно к этой территории весьма актуальна. Этим обстоятельством обусловлено то, что при биогеохимических исследованиях на оловорудных месторождениях большое внимание уделено биогеохимии других металлов — спутников олова — с целью выявления дополнительных индикаторов оловянной минерализации и изучения их биогеохимических особенностей. Подобные тематические исследования на Дальнем Востоке прежде почти не проводились, поэтому необходимость и своевременность таких работ очевидна.

В разработке этой проблемы прежде всего заинтересованы производственно-геологические объединения (ПГО) Дальнего Востока, поскольку из-за конкретных горно-геологических, ландшафтно-геохимических и климатических условий этого региона некоторые традиционные методы поисков становятся малоэффективными в связи со спецификой того или иного оруде-

нения. Например, в свое время шлиховой метод поисков дал отрицательные результаты на одном из оловорудных месторождений Малого Хингана: тонкодисперсный катаклазированный касситерит плохо улавливается в шлихах, и лишь впоследствии месторождение было открыто с помощью литогеохимического метода [Павлов и др., 1957].

Другим примером, по данным В. И. Красникова [1957], может быть месторождение, открытое в Хабаровском крае. Оно представлено минерализованными зонами в доломитах с мелкой вкрапленностью катаклазированного касситерита, который легко измельчается при выветривании и поэтому не образует россыпей и не улавливается шлиховым опробованием. Вследствие таких особенностей рудной минерализации это месторождение оказалось лишенным видимых ореолов рассеяния и иных визуально наблюдаемых поисковых признаков и было не замечено при геологической съемке и шлиховом опробовании.

Подобные же примеры приводил А. В. Кочубей [1957], подчеркивая высокую эффективность и чувствительность станнометрии по сравнению со шлиховым опробованием за счет того, что металлометрические пробы содержат, кроме обычного, еще и тонкодисперсный касситерит, который не улавливается в шлихах. То, что шлиховой метод поисков руд олова не может быть универсальным, как это считалось до металлометрии и биогеохимии, отметил Н. И. Сафронов [1957]. Он привел пример, когда в морских илах вдали от коренных источников олова ему приходилось устанавливать спектральным анализом содержания этого металла до сотых долей процента, в то время как даже самой тщательной отмывкой уловить касситеритовые зерна он не смог.

Об этом же свидетельствуют материалы С. Ф. Лугова и др. [1979], показавших, что шлиховое опробование на стадии поисковых работ дает фактическое содержание олова в шлихах в 2,5—3 раза ниже по сравнению с литогеохимическими пробами. Поэтому Н. И. Сафронов [1967] не случайно подчеркивал большие перспективы биогеохимического метода поисков руд олова.

Иногда в оловорудных районах Дальнего Востока отрицательные результаты при поисках олова дает не только шлиховой метод, но и литогеохимический, особенно там, где предполагаемые рудные зоны перекрыты маревыми (болотными) равнинными ландшафтами, например на некоторых участках в пределах Комсомольского рудного узла, или покрыты на склонах крупноглыбовыми делювиально-коллювиальными осыпями при полном отсутствии или недостаточном количестве мелкозема, необходимого для отбора шлиховых или металлометрических проб, например в Баджалском рудном узле. В таких случаях биогеохимический метод является основным, а иногда и единственным для обнаружения ореолов рассеяния олова и поисков по ним местоположения оловорудных тел, несмотря на, казалось бы, столь различные ландшафтные условия.

Ниже изложены материалы по характеристике особенностей биогеохимии олова и его спутников — химических элементов-индикаторов на оловорудных месторождениях и проявлениях разного генетического типа и в условиях различных ландшафтов Дальнего Востока.

БИОГЕОХИМИЯ ОЛОВА И ЕГО СПУТНИКОВ НА ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ И РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ РАЗНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО ТИПА В УСЛОВИЯХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

КВАРЦ-КАССИТЕРИТОВЫЙ ТИП

Месторождение этого генетического типа находится на восточном отроге хребта Малый Хинган в северной подзоне зоны смешанных хвойно-широколиственных лесов [Колесников, 1955]. По климатическому районированию Г. Н. Витвицкого [1969], эта территория относится к Амуру-Уссурийскому району Тихоокеанской области и характеризуется умеренно теплым летом и умеренно суровой малоснежной зимой, обусловленных муссонным климатом. Оруденение локализовано в лавобрекчиях фельзит-порфиров в виде топазо-кварцевых метасоматитов с касситеритом с подчиненным значением сульфидов (пирит, сфалерит, арсенопирит, галенит, халькопирит), а также флюорита, турмалина, биотита и других минералов [Федчин, 1964].

Согласно карте Ю. А. Ливеровского [1969], участок месторождения входит в Средне-Амурскую провинцию зоны бурых лесных почв. Непосредственно на месторождении в этих почвах с помощью шлихового анализа, помимо касситерита, установлены другие тяжелые минералы: магнетит, лимонит, ильменит, эпидот, роговая обманка, турмалин, лейкоксен, гранат, топаз, апатит, циркон, анатаз, рутил. Оказалось, что за счет процессов внутрипочвенного химического выветривания первичные минералы в почвенных горизонтах сильно изменены, а сульфиды нацело разрушены до образования вторичных минералов, и эти изменения более значительны, чем в условиях Восточной Сибири [Ивашов, 1961]. Что касается микрообломков касситерита, то они меньше всего подверглись внутрипочвенному выветриванию. Размеры его зерен в почвах 0,01—1,2 мм, но преобладает мелкий и тонкодисперсный касситерит.

Геохимия олова в почвах была изучена по 56 почвенным разрезам, заложенным через 20 м по двум профилям длиной по 700 м, ориентированным вкрест простирания рудных тел. В общей сложности по генетическим горизонтам было отобрано 190 образцов (горизонты A_0A_1 — 54, В — 79, ВС — 57).

Кроме олова, в образцах почв были определены Mn, Cu, V, Ba, Ga, Be, Pb, Ni, Cr, Zn, Sb, Co, Y, Sc, Mo, Ag, т. е. всего 17 микроэлементов.

На основании результатов статистической обработки спектральных анализов были построены вариационные кривые содержания олова в почвах для установления значения местного геохимического фона, который, по А. П. Соловову [1959], соответствует экстремуму кривой. Согласно этим кривым местный геохимический фон олова в горизонтах A_0A_1 и В, а также в целом в почвах равен 0,003%, а в горизонте ВС — 0,01%, что соответственно в 3 и в 10 раз выше кларка (0,001%) олова в почвах по А. П. Виноградову [1957]. Наибольшие содержания олова в почвах на этом месторождении по горизонтам составляют, %: в A_0A_1 — 0,005, в В — 0,03, в ВС — 0,06, что

Таблица 1

Содержание Sn в генетических горизонтах бурых лесных почв выше по склону от рудных тел за пределами механического ореола рассеяния касситерита (по данным 27 образцов, отобранных из восьми разрезов)

Генетический горизонт	Глубина залегания генетических горизонтов*, см	Sn, %		Количество анализов
		Пределы	Среднее	
A ₀ A ₁	0—10	0,00055—0,0028	0,00132	8
B	5—22	0,00045—0,0055	0,00252	8
BC	15—40	0,0008—0,0058	0,00332	8
C	30—55	0,0007—0,0041	0,00184	3

* Мощность генетических горизонтов на участке месторождения непостоянная и зависит от геоморфологических условий формирования почв.

соответственно в 5, 30 и 60 раз выше кларка в почвах и в 1,6, 10 и 20 раз больше местного геохимического фона в почвах.

Наибольшие содержания олова в почвах отмечаются в пределах механического ореола рассеяния, т. е. ниже по склону от местоположения оловорудных тел. В некоторых почвенных разрезах, заложенных в верхней части склона, за пределами механического ореола рассеяния, олово в почвах (табл. 1) содержится в пределах кларка и местного геохимического фона [Ивашов, 1975а, б]. Общей закономерностью в распределении олова в генетических горизонтах является постепенное увеличение его содержания от горизонта A₀A₁ к горизонту BC, особенно под рудными телами или в пределах механического ореола рассеяния (рис. 2). Поэтому верхняя и нижняя границы глубин залегания генетических горизонтов в разных разрезах неодинаковы.

Установлено, что олово в максимальных количествах (до 0,1%) в почвах накапливается во фракции 0,25—0,05 мм мелкозема генетических горизонтов, во всех других фракциях меньшей размерности содержание олова значительно ниже, особенно во фракции меньше 0,001 мм. Исходя из этих особенностей накопления олова глубина отбора литогеохимических (стандартметрических) проб из почв при поисках оловорудных месторождений кварц-касситеритового типа в аналогичных ландшафтных условиях должна быть ограничена горизонтом BC, т. е. в нашем случае глубиной не менее 30—40, а практически 50—60 см, где отмечается наибольшая концентрация микрообломков касситерита и, следовательно, олова, особенно во фракции 0,25—0,05 мм.

Максимальное содержание в почвах Sn и его спутников — Zn, Cu и Pb приурочено 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°.

Для изучения биогеохимии олова и его спутников 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.

В золе проб растений, кроме Sn, спектральным анализом обнаружены Pb, Cu, Zn, Mo, Ag, V, Cr, Ni, Co, Mn, Be и Sb.

Фоновое содержание олова в золе растений над рудными зонами со-

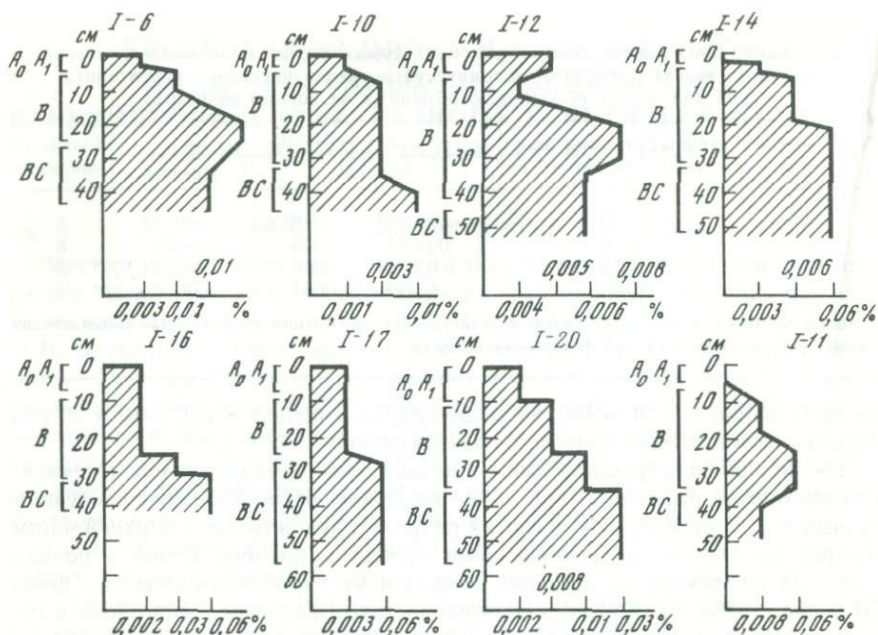


Рис. 2. Диаграммы распределения содержания олова в почвенных горизонтах над рудными телами оловорудного месторождения кварц-касситеритового типа

Цифры над диаграммами — точки наблюдений по профилю I

ставляет 0,001%, а за их пределами — меньше 0,001%, что близко к кларку этого металла в растениях по А. П. Виноградову [1954], равному 0,0005%.

Растения, в золе которых обнаружено олово, приведены в табл. 2. Оказалось, что металл содержится в разных органах растений в различных количествах. По-видимому, это обусловлено разными физиологическими функциями органов с точки зрения концентрации олова под влиянием биохимических процессов. Например, в березе ребристой, липе амурской, лиственнице даурской наибольшее содержание олова отмечается в коре (до 0,006%), а в других органах — ветвях, побегах, листьях (хвое), древесине — количество на уровне местного геохимического фона. В то же время у ели аянской наибольшее содержание в ветвях и в коре, а у ивы Бредина — в древесине. В большинстве кустарников олово накапливается в корнях.

Наибольшее накопление олова отмечено в растениях, произрастающих над оловорудными телами. Например, содержание этого металла в корнях малины сахалинской на пробной площадке б (профиль I) достигает 0,06%, а за пределами рудных тел количество олова в этом растении содержится на уровне фона. Однако даже над рудными телами все растения в одинаковой степени концентрируют олово. На пробной площадке 19 (профиль II) были опробованы рябинолистник рябинолистный, малина сахалинская, аралия маньчжурская, актинидия коломикта, ива Бредина, чубушник тонколистный, береза ребристая и осока. Оказалось, что содержание олова в золе этих растений колеблется от 0,001% (актинидия коломикта) до 0,3% (осока). Следовательно, степень накопления олова в различных растениях

Таблица 2

Содержание Sn в растениях на оловорудном месторождении кварц-касситеритового типа

Растения и их органы	Sn (верхний предел), %	Степень накопления Sn*
Береза ребристая (кора)	0,006	12
Ель аянская (ветви, хвоя)	0,006	12
Кедр корейский (кора)	0,002	4
Лиственница даурская (кора)	0,003	6
Тополь душистый (ствол)	0,003	6
Липа амурская (кора)	0,003	6
Бархат амурский (ствол)	0,001	2
Шиповник иглистый (корни)	0,001	2
Жимолость Максимовича (корни)	0,003	6
Лимонник китайский (побеги)	0,001	2
Чубушник тонколиственный (корни)	0,003	6
Элеутерококк колючий (корни)	0,001	2
Актинидия коломикта (побеги)	0,001	2
Аралия маньчжурская (корни)	0,006	12
Рябинолистник рябинолистный (корни)	0,06	120
Малина сахалинская (корни)	0,06	120
Ива Бредина (ствол)	0,03	60
Спирея средняя (листья)	0,01	20
Кипрей узколистный (надземная часть)	0,003	6
Дудник гладкий «	0,002	4
Страусопер германский «	0,001	2
Кочедыжник мягкий «	0,001	2
Вейник Лангсдорфа «	0,002	4
Полынь побегоносная «	0,1	200
Политрихум обыкновенный «	0,1	200
Мниум остроконечный «	0,1	200
Осока маньчжурская «	0,3	600
Осока ланцетная «	0,3	600
Осока уссурийская «	0,3	600
Осока мечевидная «	0,3	600

* Относительно кларка олова в растениях [Виноградов, 1954].

меняется в одних и тех же экологических условиях в широких пределах и достигает относительной разницы в 300 единиц.

В общей сложности в количестве 0,006—0,06% олово 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 — маньчжурская, ланцетная, 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 данном месторождении (0,06%).

В связи с этим очень показательно сравнение литогеохимических (почвенных) и биогеохимических аномалий олова. Так, если контрастность литогеохимической аномалии, исходя из фонового (0,003%) и наибольшего (0,06%) содержания олова в почвах составляет 20 единиц, то контрастность биогеохимических аномалий достигает 300 единиц (0,001% — фон в растениях, 0,3% — максимальное содержание). Следовательно, для данного генети-

Таблица 3

**Статистические характеристики содержания Sn в растениях и почвах
на оловорудном месторождении кварц-касситеритового типа
(парная выборка с соответствующих пробных площадок)**

Статистические параметры	Биообъекты	
	Растения	Почва
n — количество проб	90	90
Пределы содержания, %	0,0005—0,3	0,0005—0,06
$\bar{x} \pm \lambda_5\%$ — среднее содержание, %	$0,0102 \pm 0,0076$	$0,0107 \pm 0,0034$
σ — стандартное отклонение	0,0362	0,016
S — дисперсия	0,0013	0,00026
V — коэффициент вариации, %	355,1	152,6
$\lambda_5\%$ — ошибка среднего содержания	$\pm 0,0076$	$\pm 0,0034$
Оценка среднего содержания, %	69,06	30,73

Таблица 4

КБП на оловорудном месторождении кварц-касситеритового типа

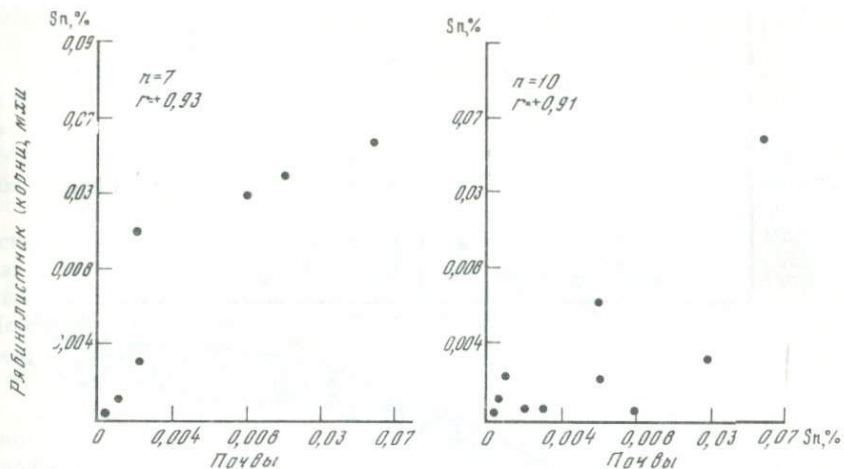
Элемент	Содержание, %						КБП _{ан} / КБП _{фон}
	Над рудной зоной			За пределами рудной зоны			
	В почвах	В золе растений	КБП _{ан}	В почвах	В золе растений	КБП _{фон}	
Be	0,003	0,001	0,3	0,001	0,001	1,0	0,3
V	0,050	0,010	0,2	0,0100	0,01	1,0	0,2
Cr	0,030	0,003	0,1	0,0030	0,003	1,0	0,1
Mn	0,600	0,700	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	0,02	0,200	20,0	0,010	0,010	10,0	2,0
Zn	0,030	3,0	100,0	0,0100	0,010	1,0	100,0
Mo	0,001	0,01	10,0	0,0010	0,001	1,0	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	0,003	1,0	5,0
Pb	0,008	0,020	2,5	0,0020	0,001	0,5	5,0

ческого типа оловорудного месторождения контрастность биогеохимических аномалий в 15 раз выше, чем литогеохимических.

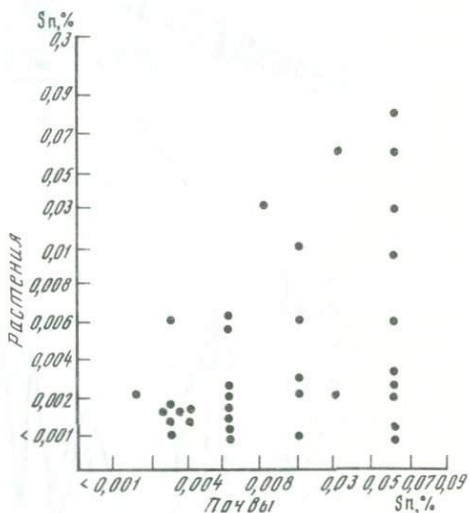
Установлена корреляционная зависимость между содержанием олова в индивидуальных растениях-концентраторах и в почве. Например, очень тесная положительная связь с коэффициентами корреляции 0,91—0,93 установлена между содержанием олова в золе мхов и в почве и в золе корней рябинолистника и в почве (рис. 3).

Связь между содержанием олова в почвах и в золе обычных растений, умеренно накапливающих этот металл, менее тесная (рис. 4). Это, очевидно, связано с тем, что обычные растения поглощают олово не столько непосредственно из почв, где этот металл находится в основном в составе микрообломков труднорастворимого касситерита, сколько из почвенных, грунтовых и трещинных вод, циркулирующих в зоне оруденения и содержащих простые и комплексные ионы этого элемента.

Кроме того, исследовалась корреляционная связь между содержанием



Р и с. 3. Корреляционная зависимость между содержанием олова в золе растений (зеленые мхи и корни рябинолистника) и в почвах на оловорудном месторождении кварц-касситеритового типа



Р и с. 4. Корреляционная зависимость между содержанием олова в почвах и в растениях на оловорудном месторождении кварц-касситеритового типа (число анализов 70, коэффициент корреляции +0,45)

в растениях Sn и его спутников, в частности Pb, Cu, Zn, Ag, Mn. Оказалось, что наиболее тесная положительная связь имеется между Sn и Pb ($r=0,90$). С другими элементами — Cu, Zn и Ag — связь также положительная, но менее тесная ($r=0,15-0,20$), а с Mn связь отрицательная ($r=-0,14$).

Статистические параметры содержания олова в почвах и в растениях как в биообъектах на данном месторождении приведены в табл. 3.

Анализ данных об интенсивности биологического поглощения растениями-концентраторами (табл. 4) позволяет выявить интересную особенность накопления олова и его спутников в растениях. Для растений, произрастающих за пределами оловорудной зоны, характерна высокая степень биологического поглощения Zn, Cu, Mn и Ni (коэффициент биологического поглощения — КБП — 3—60), а для Pb, Be, Cr, Mo, V и Sn степень биологического поглощения незначительна (КБП 1 или <1). Над рудными телами КБП

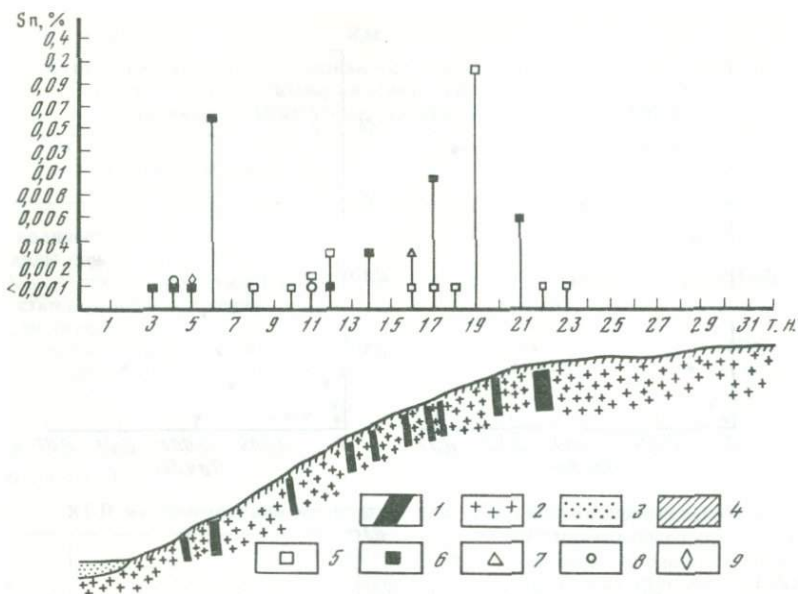


Рис. 5

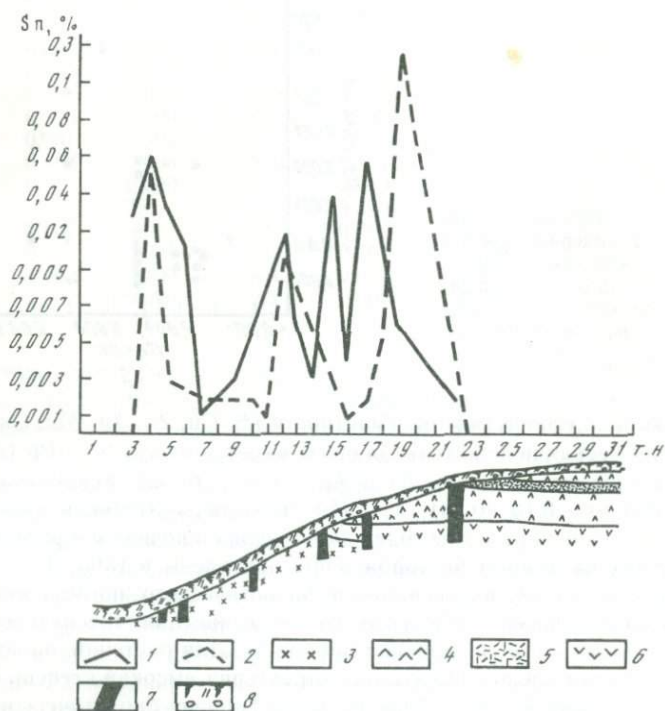


Рис. 6

большинства элементов, особенно Sn и Pb, повышается, а Mn и Ni понижается.

Согласно табл. 4, отношение $KBP_{\text{я}}/KBP_{\text{фон}}$ показывает, что в изученных условиях биогеохимические аномалии более контрастны (в 5—10 раз и выше), чем литогеохимические для Zn, Mo, Ag, Sn, Pb. Это свидетельствует о существенно большей эффективности биогеохимического метода для поисков оруденения рассматриваемого типа в сравнении с металлометрическим.

Повышенные содержания олова в золе растений, а также в опаде в основном соответствуют местам залегания рудных тел (рис. 5). 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. 6 приведены совмещенные диаграммы аномальных содержаний олова в почвах и растениях-концентрааторах по профилю I, из которых видно, что растения более четко отбивают места залегания оловорудных тел, чем почвы; иными словами, биогеохимические аномалии менее смещены, чем литогеохимические, что имеет важное значение при вскрытии рудных тел.

Биогеохимические аномалии элементов-спутников олова также достаточно точно фиксируют места залегания оловорудных тел, и они более контрастны, чем литогеохимические аномалии. Поэтому Sn, Pb, Cu, Mo, Ag могут быть четкими поисковыми биогеохимическими индикаторами оловорудных месторождений кварц-касситеритового типа.

СУЛЬФИДНО-КАССИТЕРИТОВЫЙ ТИП

Оруденение этого генетического типа находится в пределах Комсомольского оловорудного узла, в частности в зоне Западная, в бассейне ключа Тихого, на абсолютных отметках рельефа 700—750 м в зоне темнохвойных лесов. Первичные рудные минералы рудной зоны — касситерит, магнетит, вольфрамит, шеелит, арсенопирит, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, киноварь; гипергенные — лимонит, скородит, малахит, церуссит.

На участке биогеохимических исследований развиты буро-таежные иллювиально-гумусовые почвы [Ливеровский, Рубцова, 1966], сформированные на рудовмещающих алевролитах и их гидротермально-измененных разновидностях. По механическому составу почвы относятся к средним и тяжелым суглинкам, их рН — 4,25—5,70 (водная вытяжка), почвы высоко гумуси-

Рис. 5. Распределение максимальных концентраций олова в растениях на оловорудном месторождении кварц-касситеритового типа (профиль I)

1 — рудные тела; 2 — вмещающие породы; 3 — аллювий; 4 — делювий; 5—9 — содержание олова в биообъектах: 5 — опад, 6 — малина сахалинская, 7 — береза ребристая, 8 — рябинолистник рябинолистный, 9 — спирея средняя. 1—32 — точки наблюдений (т. н.)

Рис. 6. Содержание олова в почвах и в растениях на оловорудном месторождении кварц-касситеритового типа (профиль I)

1,2 — распределение олова: 1 — в почвах, 2 — в растениях; 3—7 — породы: 3 — кварцевые порфиры, 4 — лавобрекчии фельзит-порфиринов, 5 — кристаллокластические туфы, 6 — лавобрекчии порфиринов, 7 — рудные тела; 8 — почвенный слой

рованные с тенденцией накопления гидрооксидов алюминия, железа и кремнезема в нижних генетических горизонтах (рис. 7—9).

По данным шлихового анализа касситерит в почвенных разрезах в наибольшем количестве отмечается в пределах рудной зоны и представлен микрообломками размером 0,1—0,8 мм.

Для изучения геохимии и биогеохимии олова в почвах и в растениях на участке работ по трем профилям через 20 м (рис. 10) было заложено 14 площадок для опробования почв и растений, из которых отобраны 71 почвенная проба и 310 проб растений (деревья, кустарники, кустарнички, травы, мхи).

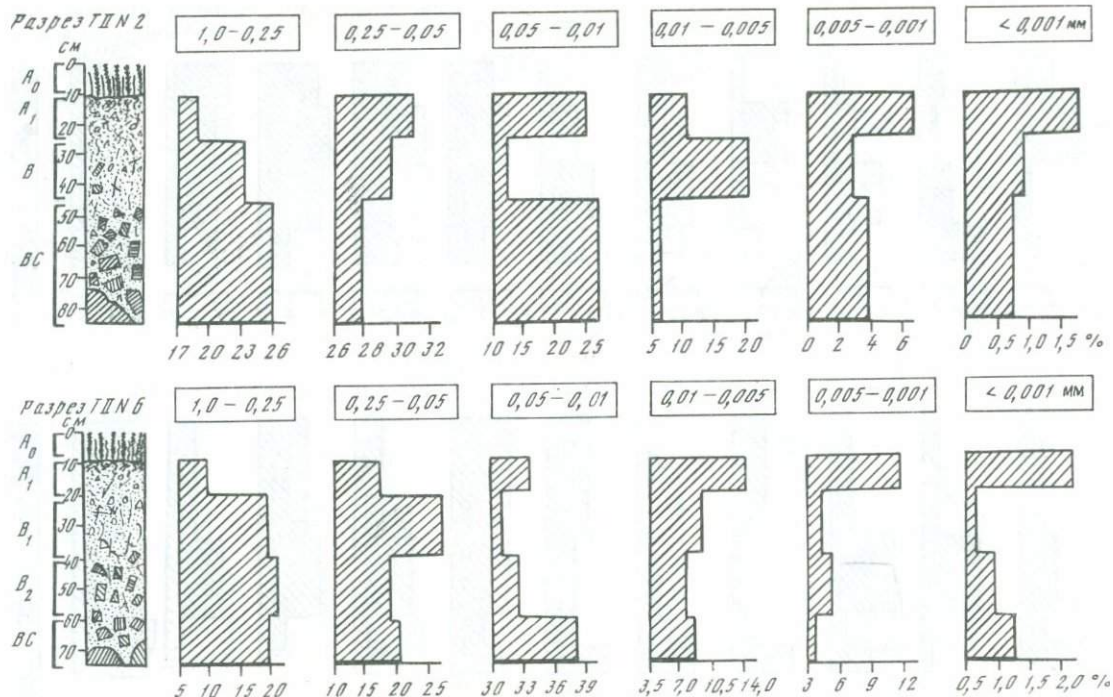
Олово — основной металл почв. Местный геохимический фон его в целом в почвах равен 0,002%, что в 2 раза выше кларка. Это же значение геохимического фона характерно и для генетических горизонтов А₁, В, ВС, а для сильно выветрелых вторичных кварцитов (кварц-хлорит-серицитовые породы) горизонта С эта величина составляет 0,003%. Содержание олова в почвах меньше 0,001%, т. е. ниже величины кларка, отмечено в единичных пробах из горизонта А₁. Максимальное содержание этого элемента, достигающее 0,4%, отмечено в одной пробе над рудным телом. Однако наиболее часто встречающееся повышенное содержание олова характерно для горизонтов В, ВС, С — 0,3%, что в 300 раз больше кларка, причем наибольшее число проб с этим содержанием приходится на горизонт ВС, на глубинах до 70—80 см. В целом содержание олова постепенно увеличивается от верхней части разреза к нижней, что хорошо видно на диаграммах распределения этого элемента по генетическим горизонтам почвенных разрезов (рис. 11).

Такое распределение олова и его спутников в буро-таежных почвах на данном участке обусловлено как микрообломками первичных минералов, в том числе и касситерита, так и продуктами их выветривания, в результате чего ионы-металлы накапливаются в этом горизонте вследствие сорбции окислами железа. Подтверждением этой гипотезы служит выявленная на этом объекте четкая корреляционная положительная связь между содержанием олова и свинца с окислами железа (рис. 12, 13).

Изучение особенностей распределения содержания химических элементов в почвах по магистральному профилю вкрест простираения рудного тела показало, что все основные химические элементы оруденения четко фиксируют местонахождение рудного тела (в частности, в точке 3) соответствующим пиком на графике (рис. 14).

Если накопление олова в крупных фракциях мелкозема почв (1,0—0,25 и 0,25—0,05 мм) связано в основном с микрообломками касситерита, то накопление Pb, Cu, Zn, As обусловлено безминеральной формой их — сорбцией оксидами железа — лимонитом. Безминеральную форму накопления в почвах этих металлов на примере Забайкалья отмечал Н. И. Крицук [1963], а по данным А. И. Перельмана [1966], это явление в гипергенной геохимии вообще характерно для зоны окисления сульфидных месторождений гумидных ландшафтов.

Установлено, что фоновые содержания большинства элементов в растениях ниже, чем в почвах, но аномальные концентрации большинства этих металлов в растениях выше почвенных аномалий. Соответственно резко повышена степень концентрации элементов в растениях, т. е. контрастность биогеохимических аномалий (табл. 5). Особенно показательное отношение



Р и с. 7. Механический состав мелкозема буро-таежных иллювиально-гумусовых почв (подбуров) на оловярудном месторождении сульфидно-касситеритового типа, мм

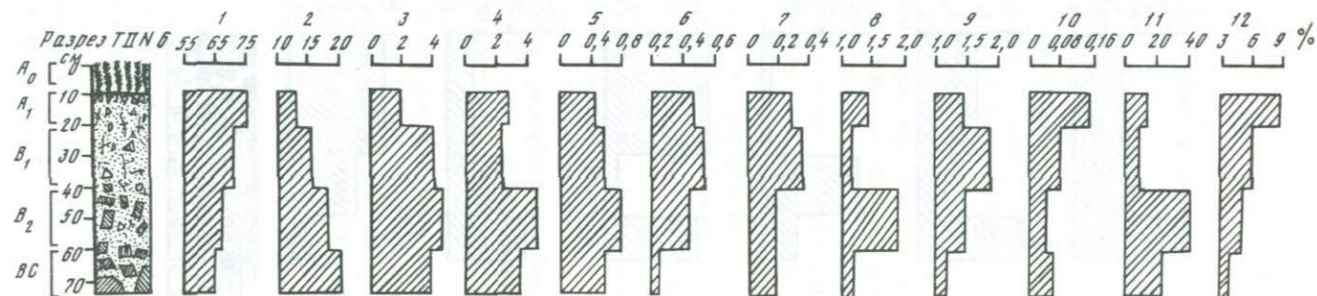
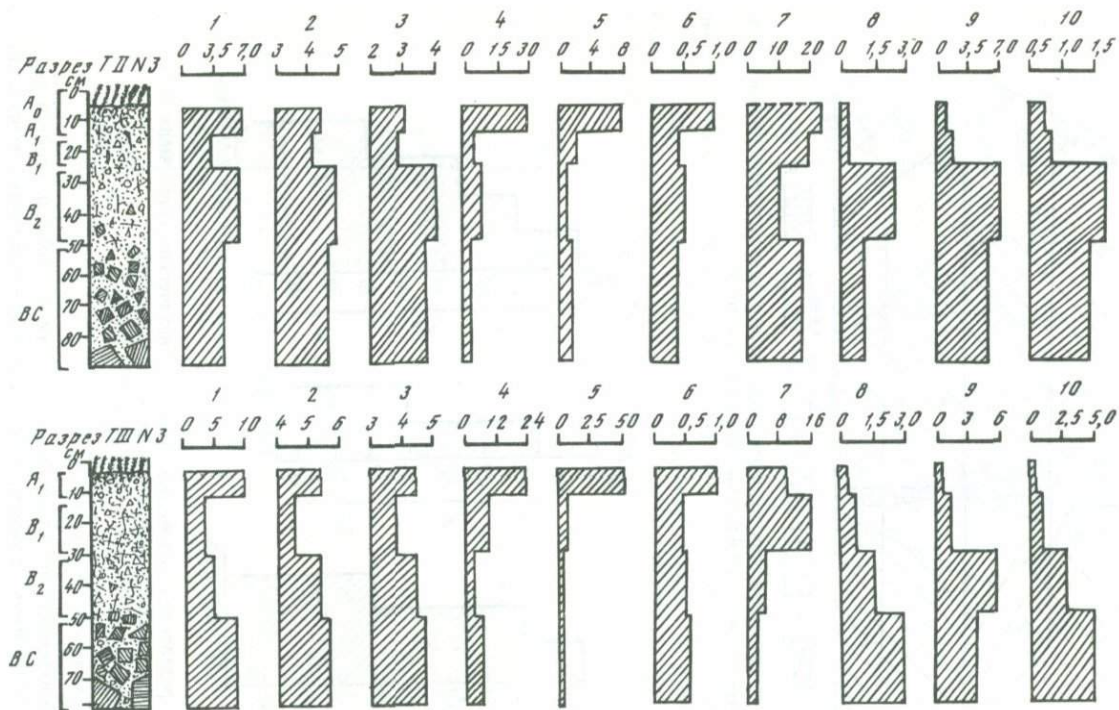


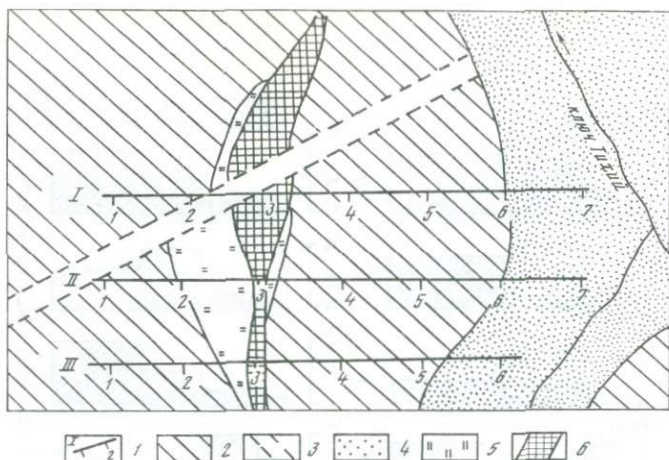
Рис. 8. Валовый химический состав мелкозема буро-таежных иллювиально-гумусовых почв (подбуров) на оловорудном месторождении сульфидно-касситеритового типа, %.

1 — SiO₂; 2 — Al₂O₃; 3 — Fe₂O₃; 4 — FeO; 5 — MnO; 6 — TiO₂; 7 — P₂O₅; 8 — CaO; 9 — MgO; 10 — SO₃; 11 — ПП, %; 12 — SiO₂/R₂O₃



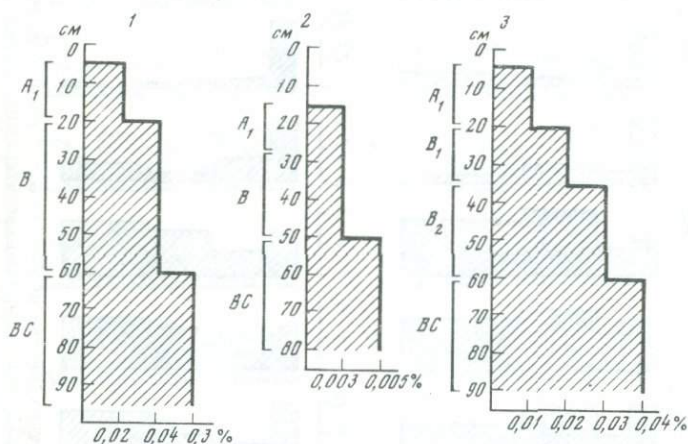
Р и с. 9. Химические свойства мелкозема буро-таежных иллювиально-гумусовых почв (подбуров) на оловярдном месторождении сульфидно-касситеритового типа

1 — H_2O , %; 2 — $pH_{вод.}$; 3 — $pH_{сол.}$; 4 — гумус; 5—7 — элементы, мг-экв.: 5 — Ca, 6 — Mg, 7 — H; 8—10 — оксиды, %: 8 — SiO_2 , 9 — Fe_2O_3 , 10 — Al_2O_3



Р и с. 10. Схема расположения профилей биогеохимического опробования на оловорудном месторождении сульфидно-касситеритового типа

1 — профили; 2 — песчанники; 3 — зона разлома; 4 — аллювий; 5 — кварц-турмалиновые породы; 6 — рудная зона

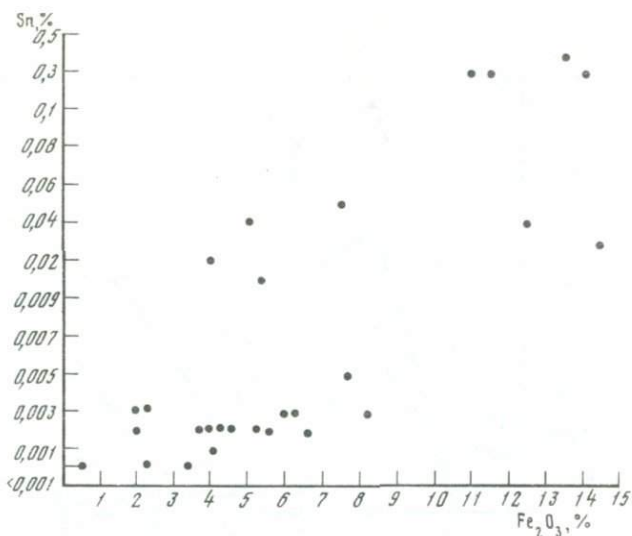


Р и с. 11. Распределение содержания олова по генетическим горизонтам почв на оловорудном месторождении сульфидно-касситеритового типа

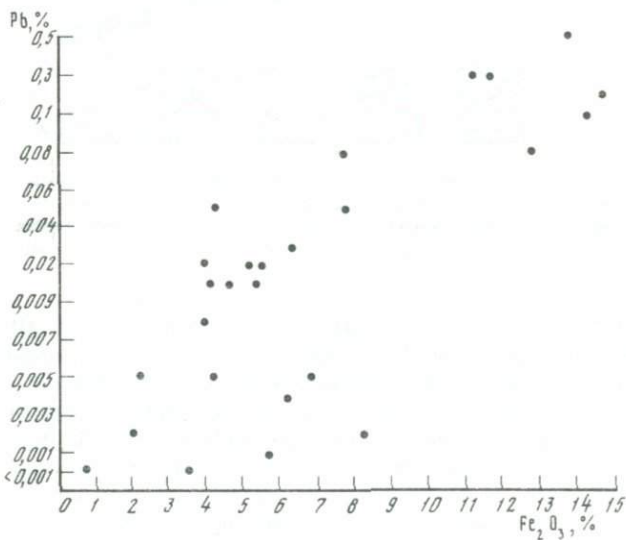
1—3 — разрезы: 1 — ТП № 4, 2 — ТП № 1, 3 — ТП № 3

степени концентрации металлов в растениях к степени концентрации их в почвах (C_p/C_n). Этот параметр показывает исключительную чувствительность растений к фиксированию оловорудной зоны как на основе олова, так и его спутников. По существу отношение C_p/C_n характеризует преимущество биогенных ореолов рассеяния олова и сопутствующих металлов над литогеохимическими для данного генетического типа оловянного оруденения.

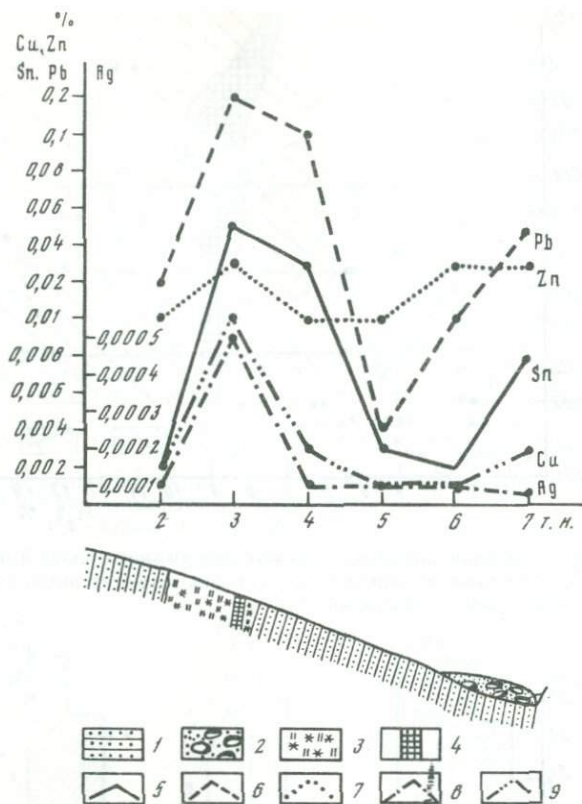
Олово обнаружено преимущественно в травах и мхах (табл. 6). В древесных породах этот элемент обнаружен лишь в одной пробе ветвей и дре-



Р и с. 12. Корреляционная зависимость между содержанием олова и оксидов железа в почвах на оловорудном месторождении сульфидно-касситеритового типа (число анализов 56, коэффициент корреляции $+0,70$)



Р и с. 13. Корреляционная зависимость между содержанием свинца и оксидов железа в почвах на оловорудном месторождении сульфидно-касситеритового типа (число анализов 56, коэффициент корреляции $+0,72$)



Р и с. 14. Распределение содержания олова и его спутников в почвах вкрест простира-
ния зоны сульфидно-касситеритовой минерализации (профиль II)

1 — песчаники; 2 — аллювиальные отложения; 3 — кварц-турмалиновые породы; 4 —
рудное тело; 5—9 — кривые распределения: 5 — Sn, 6 — Pb, 7 — Zn, 8 — Ag, 9 — Cu

весины 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 олова в этих растениях в 30—40 раз выше, чем местный геохимический фон в обычных растениях и в 60—80 раз больше кларка в растениях. Сравнительные статистические характеристики содержания олова в растениях и почвах приведены в табл. 7.

Зеленые мхи, в частности хелодиум Бландова и политрихум обыкновен-
ный, — наилучшие концентраторы олова на данном объекте, в их золе
содержание олова достигает 0,03—0,04%, что в 30—40 раз больше фона и
в 60—80 раз больше кларка в растениях. Весьма характерно, что между
содержанием олова в золе мхов и в почвах установлена значимая корреля-
ционная положительная связь, причем с каждым генетическим горизонтом —
A₁, B, BC, C, с коэффициентами корреляции от 0,37 до 0,55 (рис. 15).
Наибольшее значение коэффициента корреляции отмечается с гумусовым

Таблица 5

**Степень концентрации Sn и его спутников в почвах и в растениях
на сульфидно-касситеритовом месторождении**

Параметры	Металлы, %					
	Mo	Pb	Sn	Zn	Cu	Ag
<i>Почва</i>						
Фон	0,0001	0,01	0,003	0,01	0,001	0,0001
Аномальное содержание	0,0005	0,3	0,3	0,3	0,05	0,001
Степень концентрации (C_n)	5	30	100	30	50	10
<i>Растения</i>						
Фон	0,0001	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001
Аномальное содержание	0,005	0,1	0,04	2,0	0,05	0,005
Степень концентрации (C_p)	50	100	40	400	50	50
Отношение C_p/C_n	10,0	3,3	0,4	133,0	1,0	5,0

Таблица 6

Содержание Sn в золе растений на сульфидно-касситеритовом месторождении, %

Растения	Sn (верхний предел)	Растения	Sn (верхний предел)
Ель аянская			
ветви	0,0005	Кипрей узколистный	0,008
древесина	0,001	Вейник Лангсдорфа	0,001
сухая древесина	0,001	Осока ланцетная	0,008
Ива Бредина (общая проба)	0,001	Политрихум обыкновенный	0,04
Спирея средняя «	0,005	Кладония альпийская	0,003
Малина сахалинская «	0,03	Сфагнум Руссова	0,001
		Хелодиум Бландова	0,03

Таблица 7

**Статистические характеристики содержания олова в растениях и почвах
на оловорудном месторождении сульфидно-касситеритового типа**

Статистические параметры	Биообъекты	
	Растения	Почва
n — число проб	29	57
Пределы содержания, %	0,0005—0,04	0,0005—0,4
$\bar{x} \pm \lambda_5\%$ — среднее содержание, %	0,0088 \pm 0,0049	0,0367 \pm 0,0238
σ — стандартное отклонение	0,0131	0,090
S — дисперсия	0,00017	0,0081
V — коэффициент вариации, %	149	245
$\pm \lambda_5\%$ — ошибка среднего содержания	0,0049	0,0238
Оценка среднего содержания, %	55,68	64,85

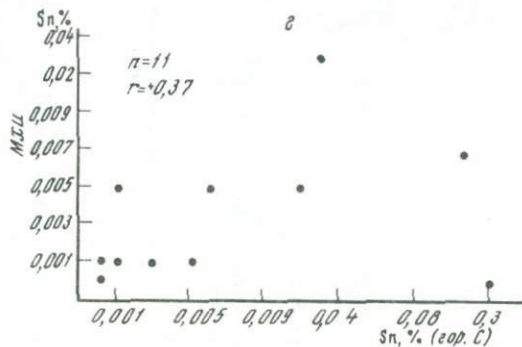
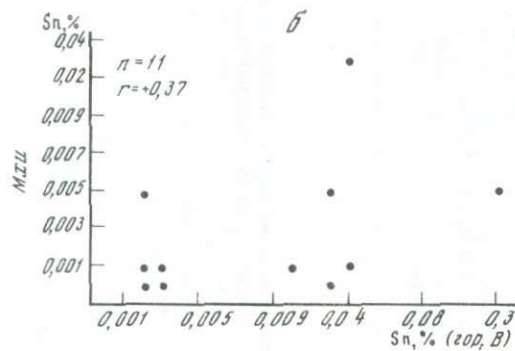
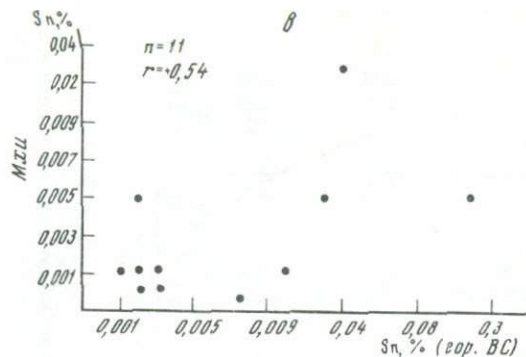
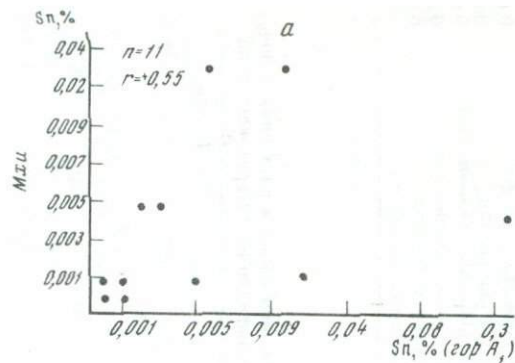


Рис. 15. Корреляционная связь между содержанием олова в золе мхов и в генетических горизонтах почв на оловорудном месторождении сульфидно-касситеритового типа
а—г — мхи горизонтов: А₁ (а), В (б), ВС (в), С (г)

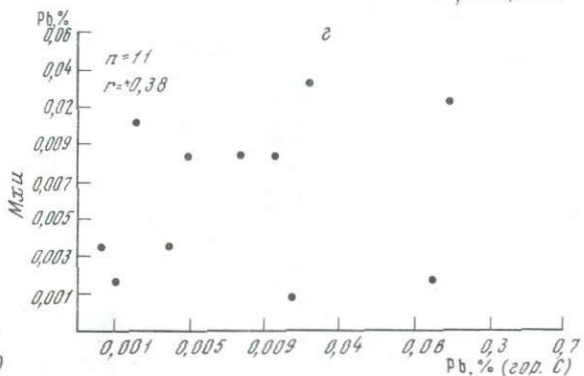
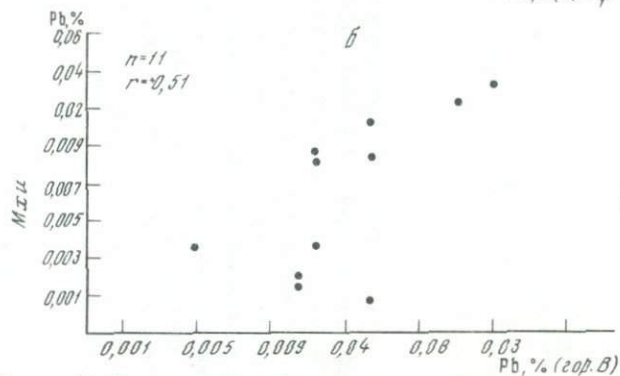
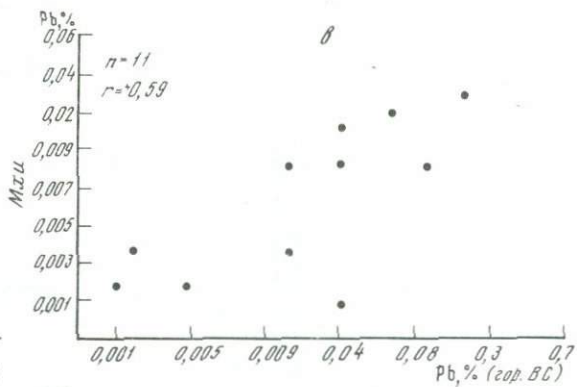
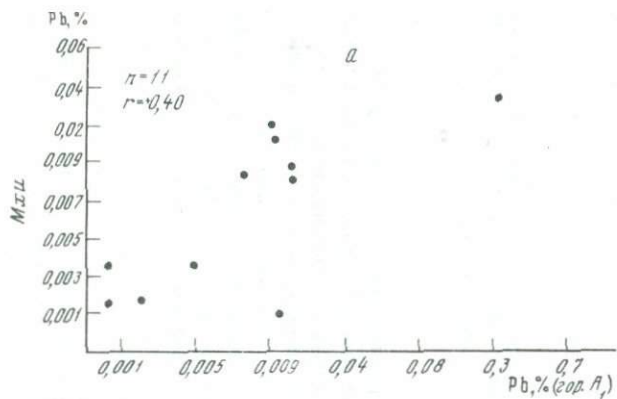


Рис. 16. Корреляционная связь между содержанием свинца в золе мхов и в генетических горизонтах почв на оловорудном месторождении сульфидно-касситеритового типа (а—г — см. рис. 15)

Таблица 8

Матрица парных коэффициентов корреляции между содержанием Sn и его спутников в золе растений на оловорудном месторождении сульфидно-касситеритового типа ($n=29$)

	Sn	Pb	Zn	Cu	Ag
Sn	1				
Pb	+0,66	1			
Zn	+0,22	+0,66	1		
Cu	+0,26	+0,25	+0,24	1	
Ag	-0,09	-0,04	+0,08	+0,25	1

Таблица 9

КБП и степень концентрации Sn и его спутников в почвах и в растениях на сульфидно-касситеритовом месторождении

Параметры	Металлы, %				
	Sn	Pb	Zn	Cu	Ag
Безрудный участок					
почва	0,002	0,02	0,03	0,002	0,0001
растения	0,001	0,005	0,08	0,002	0,0002
КБП	0,5	0,25	2,6	1,0	2,0
Рудная зона					
почва	0,03	0,08	0,03	0,01	0,0001
растения	0,03	0,04	0,5	0,03	0,001
КБП	1,0	0,5	16,0	3,0	10,0
Степень концентрации					
почва	15	4	1	5	1
растения	30	8	6	15	5

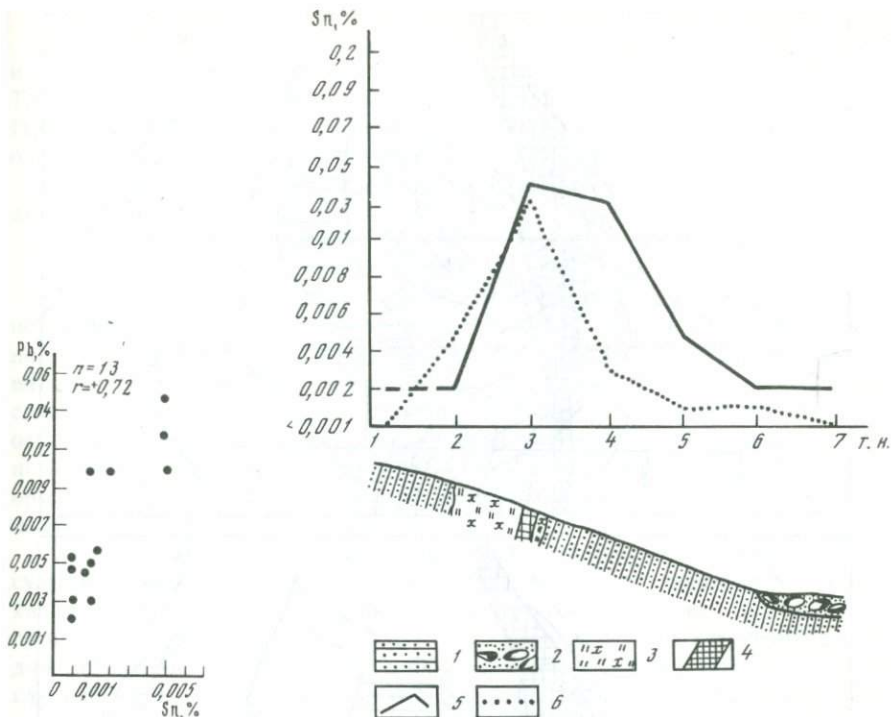
Примечание. Степень концентрации вычислялась как отношение содержания металлов в почвах и в растениях над рудной зоной к их содержанию за ее пределами.

горизонтом, хотя и с минеральным горизонтом ВС связь также заметная. Это свидетельствует о высокой индикационной возможности зеленых мхов при биогеохимических поисках оловянной минерализации.

Аналогичная корреляционная положительная связь установлена между содержанием свинца в золе мхов и в генетических горизонтах почв (рис. 16). Коэффициенты корреляции здесь также высокие — 0,38—0,59, с наибольшим значением для горизонта ВС; свинец в золе мхов можно рассматривать как хороший биогеохимический индикатор оловянной минерализации. Поэтому не случайно между содержанием олова и свинца в золе мхов имеется очень тесная положительная корреляционная связь с коэффициентом корреляции 0,72 (рис. 17).

Наличие положительной связи между содержанием олова и свинца имеет место не только в зеленых мхах, но и в других растениях с коэффициентом корреляции до 0,66. С другими металлами положительная связь олова в растениях также существует, хотя она менее тесная, например коэффициент корреляции с медью равен 0,26, а с цинком — 0,22 (табл. 8).

На рис. 18 приведен график распределения олова в почвах и в расте-



Р и с. 17. Корреляционная зависимость между содержанием олова и свинца в золе зеленых мхов на оловорудном месторождении сульфидно-касситеритового типа

Р и с. 18. Распределение олова в почвах и в растениях на оловорудном месторождении сульфидно-касситеритового типа (профиль II)

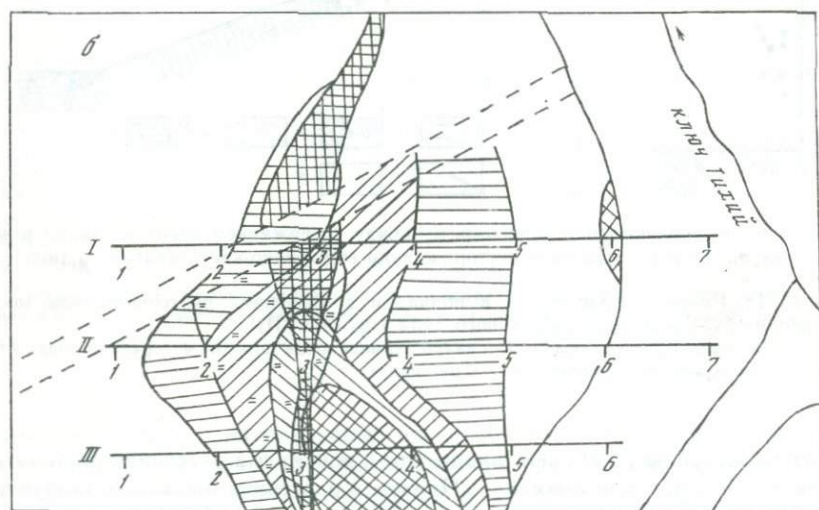
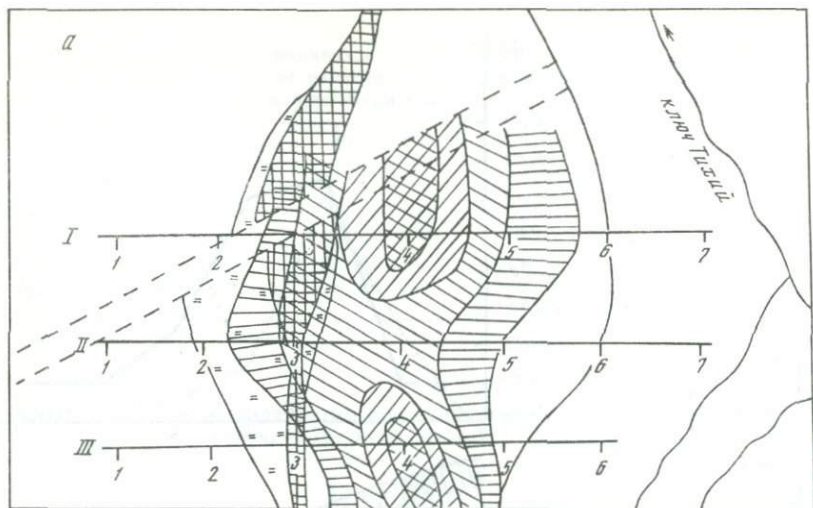
1 — песчаники; 2 — аллювий; 3 — кварц-турмалиновые породы; 4 — рудная зона; 5, 6 — содержание олова: 5 — в почвах, 6 — в растениях

ниях по профилю II. Из него видно, что в почвах и в растениях образуются четкие и контрастные аномалии. Причем в растениях аномалии надрудные, а в почвах они несколько (иногда до 20 м) смещены относительно рудного тела.

Образование аномального пика в нижней части склона на профиле I объясняется тем, что здесь происходит разгрузка грунтовых вод, дренирующих зону окисления и содержащих ионы олова.

Смещение аномалий олова в почвах и частично в растениях вниз по склону от места залегания рудной зоны обусловлено механическим рассеянием микрообломков касситерита, что подтверждает схема изоконцентраций олова в почвах и в растениях (рис. 19).

Надо отметить то, что оловорудная зона хорошо отбивается контрастными биогеохимическими аномалиями спутников олова, в частности свинца, меди, цинка и особенно серебра, которое оказалось прекрасным индикатором этого типа оруденения по содержанию его в хвойных деревьях [Ивашов, 1977].



Р и с. 19. Схема изоконцентраций олова в почвах (а) и в растениях (б) на участке минерализации сульфидно-касситеритового типа

1 — профили; 2 — рудная зона; 3 — кварц-турмалиновые породы; 4 — зона разлома; 5—8 — содержания олова соответственно в почвах и растениях, %: 5 — 0,005 и 0,01; 0,001 и 0,005; 6 — 0,01 и 0,05; 0,005 и 0,01; 7 — 0,05 и 0,1; 0,01 и 0,03; 8 — 0,1 и 0,2; 0,03 и 0,04

Установлено, что КБП (табл. 9) олова и его спутников — элементов-индикаторов над рудной зоной в 2—6 раз выше, чем на безрудных участках. Также выше и степень концентрации металлов в растениях, чем в почвах. Причем наиболее высокая степень концентрации в растениях характерна для олова — главного металла данного типа минерализации.

Составленные по данным табл. 9 ряды биологического поглощения выглядят следующим образом:

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. растениями поглощаются сначала наиболее подвижные элементы, а затем — малоподвижные. Во втором ряду изменения незначительны: произошла лишь перестановка олова и свинца. Это, очевидно, связано с тем, что олово является основным элементом рудной зоны, ионы его находятся в относительно повышенном содержании в водных растворах, циркулирующих в зоне оруденения, и поэтому растения на рудной зоне поглощают его в больших количествах, чем на безрудных участках.

На примере этого объекта четко видно, что биогеохимические поиски сульфидно-касситеритовых месторождений в горных ландшафтах темнохвойной тайги более эффективны, чем литогеохимические. Значительная промытость щебнистых почв на глубину приводит к тому, что необходимый для отбора литогеохимических проб мелкозем часто отсутствует даже на глубине до 70 см, и моховый покров лежит непосредственно на промытом щебне. Между тем биогеохимическое опробование мхов — основных концентраторов олова и его спутников — несомненно является более простой и менее трудоемкой операцией, чем отбор литогеохимических проб из щебнистых почв с глубины 70—80 см.

СУЛЬФИДНО-СТАННИО-КАССИТЕРИТОВЫЙ ТИП

Месторождение находится на западном склоне хребта Сихотэ-Алинь в зоне хвойно-широколиственных лесов. Абсолютные высоты местности в районе месторождения 550—800 м, относительные превышения — 250—300 м. Биогеохимические исследования выполнены на жиле Южной, имеющей первичную минерализацию, %: касситерит — 2,0, станин — 0,5, сфалерит — 1,7, халькопирит — 8,0, пирит — 0,6, марказит — 1,5, арсенопирит — 3,0, галенит — 0,4, пирротин — 0,3. Гипергенные минералы в зоне окисления — лимонит, скородит, церуссит, халькозин, ковеллин.

На рудовмещающих алевролитах и песчаниках рудной зоны сформированы бурые горно-лесные почвы с рН (водная вытяжка) 4,05—5,50. Для изучения геохимии почв и биогеохимического опробования в пределах оловорудной зоны и ее окрестностей было заложено пять профилей, один из которых проходил по простиранию жилы, а четыре остальных — вкрест простирания через 40 м (рис. 20). По данным шлихового анализа микробломки касситерита размером 0,15—0,60 мм встречаются только в генетических горизонтах в почвенных разрезах над рудной зоной, и наибольшее содержание их характерно для горизонта ВС. В 128 образцах почв, отобранных по генетическим горизонтам из 38 почвенных разрезов, заложённых через 20 м на профилях, определено содержание олова и его спутников.

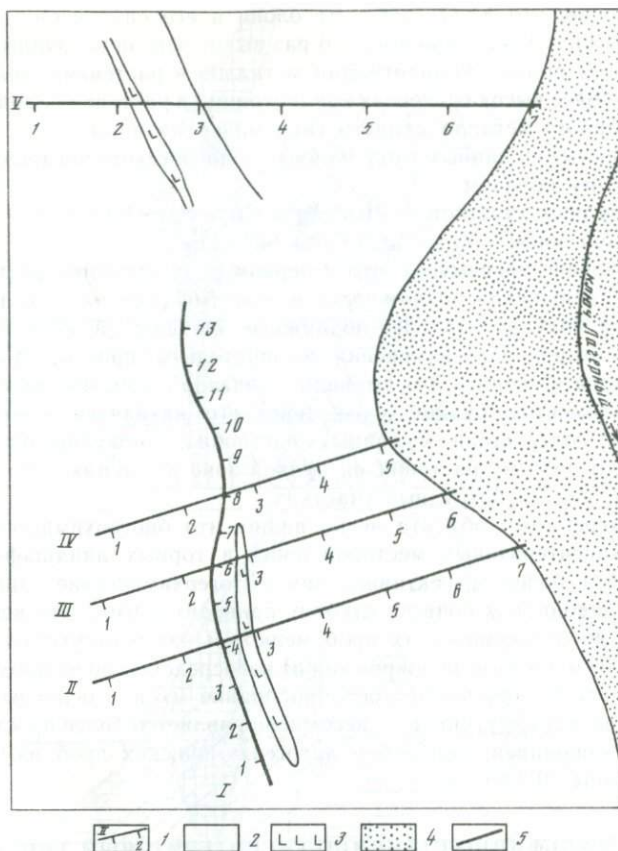


Рис. 20. Схематический геологический план участка опробования на оловорудном месторождении сульфидно-станнино-касситеритового типа

1 — профили; 2 — алевролит-песчаники; 3 — порфиры; 4 — аллювий; 5 — рудная зона

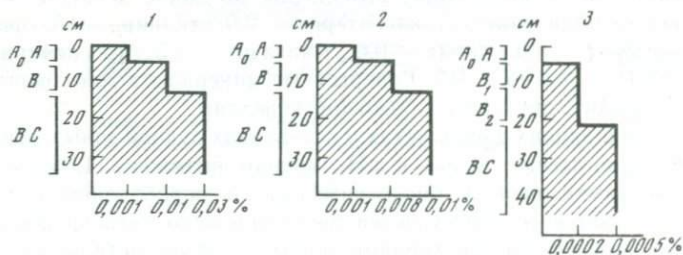


Рис. 21. Распределение содержания олова по генетическим горизонтам бурых горно-лесных почв (буроземы) на оловорудном месторождении сульфидно-станнино-касситеритового типа

1—3 — разрезы: 1 — А1 № 12, 2 — А1 № 13, 3 — АV № 1

Олово — главный химический элемент почв. Местный геохимический фон его в целом в почвах, а также в горизонтах A_0A и B одинаков и равен 0,001%, т. е. не превышает кларк в почвах, и лишь в горизонте BC величина его составляет 0,002%. Минимальное содержание олова в почвах за пределами рудной зоны опускается до 0,0002%. Максимальное содержание олова по генетическим горизонтам (%): A_0A — 0,005; B — 0,01; BC — 0,03, что соответственно в 5, 10, 30 раз выше кларка в почвах. В горизонте C (коренные сильно выветрелые рудовмещающие алевролитопесчанники) содержание олова достигает 0,006%, т. е. в 6 раз больше кларка. Таким образом, для этого металла наблюдается четкая закономерность постепенного увеличения содержания от верхнего горизонта A_0A к нижележащим горизонтам B и BC . Максимальное накопление олова отмечается в горизонте BC во всех изученных разрезах (рис. 21).

Анализ распределения содержания олова и его спутников в почвенных разрезах по магистральным профилям вкрест простирания и по простиранию рудного тела свидетельствует о том, что наибольшее содержание основных химических элементов в почвах отмечается над эпицентрами рудных залежей. Однако при этом наблюдается смещение литогеохимической аномалии вниз по склону относительно выхода рудного тела на поверхность вследствие значительной крутизны склона сопки. Распределение содержания олова, свинца и серебра по профилю I , проложенному по простиранию зоны минерализации, показывает, что над выходом рудного тела отмечаются максимальные содержания этих металлов, смещенные вниз по склону от оруденения на 80 м. Четкими индикаторами оловянного оруденения являются и другие сульфидные элементы — Cu и Zn , распределение которых в почвенных разрезах по этому профилю аналогично Sn , Pb , Ag .

Эпицентры рудных тел фиксируются по повышенному содержанию металлов в почвах по профилю не только по простиранию, но и в профилях, заложенных вкрест простирания рудного тела. Например, на рис. 22 показаны графики распределения Sn , Cu , Pb в почвах по профилю II вкрест простирания рудного тела, которое четко фиксируется на графике пиками содержания названных металлов, но опять же со значительным (до 40 м) смещением литогеохимической аномалии вниз по склону сопки.

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. Оказалось, что во всех почвенных разрезах олово в повышенном количестве содержится в горизонте BC , поэтому наибольшие пики на графике соответствуют максимальному содержанию олова в горизонте BC почвенных разрезов, заложенных в пределах рудной зоны. Это наглядно свидетельствует о том, что наиболее контрастными литогеохимические аномалии олова будут по генетическому горизонту BC на глубине 40—50 см. Следовательно, этот горизонт является оптимальным для отбора представительных стандартных (литогеохимических) проб.

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.

Олово обнаружено не во всех растениях участка опробования, особенно за пределами оруденения. Встречаемость его не превышает 20% от общего

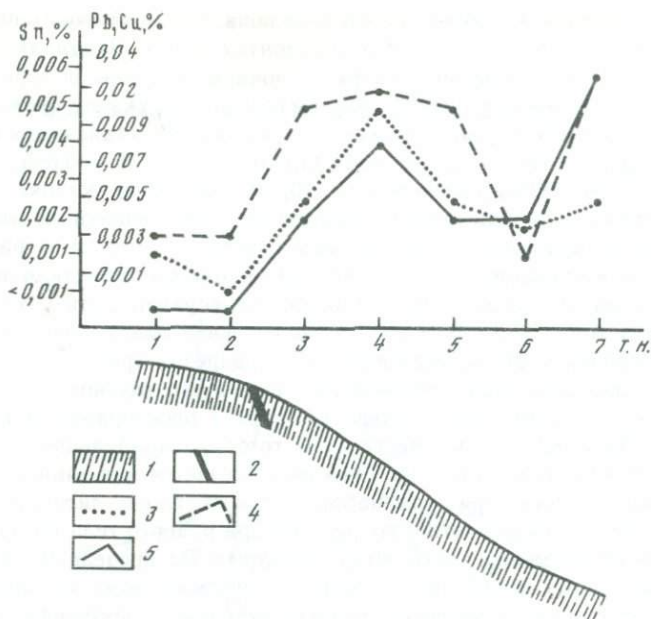


Рис. 22. Распределение олова и его спутников в почвах (горизонт BC) вкост простираия рудной жилы сульфидно-станныно-касситеритового месторождения (профиль II)

1 — алевролит-песчаники; 2 — рудная жила; 3—5 — кривые распределения: 3 — Cu, 4 — Pb, 5 — Sn

числа биогеохимических растительных проб в обычных растениях, в лещине разнолистной она достигает 50 и только в корнях спиреи — 100%. При этом лиственные виды деревьев, например липа и клены, характеризуются меньшей встречаемостью, чем хвойные породы. Зеленые мхи и осоки содержат Sn и другие металлы с наибольшей встречаемостью. 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. 10). Из растений травяного покрова олово обнаружено в страусопере. Концентрация Sn, равная 0,01—0,03% и достигающая почвенных аномалий, отмечена 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 Sn 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 простираию рудной зоны (профиль I), олово образует четкие лито- и биогеохимические аномалии. КПБ олова в растениях достигает 1,3.

Обращает на себя внимание резко контрастная аномалия олова в растениях на профиле V (рис. 23) при довольно незначительном, не более 0,0005% содержании олова в почвах. Однако на этом участке в пределах

Т а б л и ц а 10

**Содержание Sn в растениях
на сульфидно-станнино-касситеритовом месторождении, %**

Растения и их органы	Sn (верхний предел)	Растения и их органы	Sn (верхний предел)
Кедр корейский		Липа амурская	
хвоя	0,03	древесина	0,001
древесина	0,01	Лещина разнолистная	
Пихта белокорая		листья	0,005
хвоя	0,001	стебель	0,003
древесина	0,003	корни	0,003
кора	0,003	Чубушник тонколистный	
Ель аянская		стебель	0,004
хвоя	0,03	корни	0,01
ветви	0,003	Спирея средняя	
древесина	0,01	корни	0,003
кора	0,001	Рододендрон мелколистный	
Береза ребристая		ветви	0,003
листья	0,03	Актинидия коломикта	
ветви	0,002	листья	0,001
древесина	0,03	побеги	0,001
кора	0,001	Страусопер германский	0,002
Клен желтый		Политрихум обыкновенный	0,04
листья	0,03		
древесина	0,003		

профиля V отмечается наиболее высокая концентрация олова в первичных рудах, причем большая часть его представлена станнином, особенно в приповерхностных горизонтах. Как известно, окисление станнина в зоне гипергенеза происходит с образованием сульфата, который быстро гидролизуется с образованием гидроксида — $\text{Sn}(\text{OH})_4$ [Вишневецкий, 1959]. Гидроксид олова представляет собой коллоид, способствующий миграции ионов олова; следствие этого — большая доступность их растениям. 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.

Статистические характеристики содержания олова в растениях и в почвах на оловорудном месторождении сульфидно-станнино-касситеритового типа приведены в табл. 11.

Исследование общей корреляционной зависимости между содержанием олова в растениях и в почвах показало, что положительная связь имеется, но она слабая (с коэффициентом корреляции до 0,12), что, вероятно, объясняется поглощением олова растением не столько из почвенного поглощающего комплекса, сколько из водных растворов и грунтовых вод в целом, особенно при растворении станнина, как отмечалось выше. Следовательно, смешанный тип первичной оловянной минерализации (касситерит и станнин) отражается на специфике биогеохимической индикации: с одной стороны, образуются резко выраженные биогеохимические аномалии олова, а с другой, — корреляционная связь между содержанием этого металла в золе растений и в мелкоземле почв оказывается слабой.

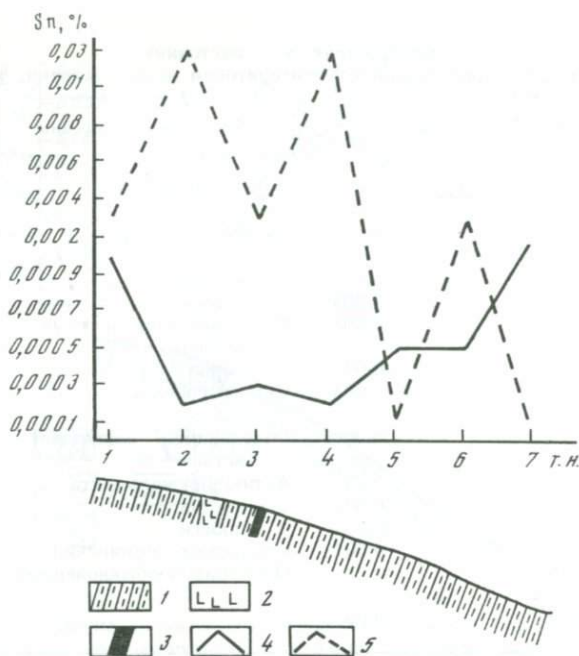


Рис. 23. Распределение олова в почвах и в растениях на зоне минерализации сульфидно-станнино-касситеритового типа (профиль V)

1 — алевролиты-песчаники; 2 — дайка порфирита; 3 — рудная жила; 4, 5 — содержание олова: 4 — в почвах, 5 — в растениях

Если корреляционная связь между содержанием олова в почвах и растениях слабая, то между содержанием в золе растений этого металла и его спутников — элементов-индикаторов связь достаточно четкая судя по матрице парных коэффициентов корреляции (табл. 12). Наиболее тесной является связь Sb с Pb, а среди спутников олова четко выраженная связь имеется между свинцом и медью, медью и серебром. Это не случайно, так как спутники олова (в частности, Pb, Zn, Cu, Ag) также являются хорошими биогеохимическими индикаторами оловянного оруденения данного генетического типа.

Для сульфидно-станнино-касситеритового типа минерализации выявлен дополнительный металл-индикатор оруденения — Ni. Так, наибольшее содержание Ni — до 1% — отмечено в золе листьев липы амурской, что в 200 раз больше кларка этого металла в растениях (0,005%). Индикационные биогеохимические свойства Ni обусловлены тем, что в составе оруденения присутствуют никельсодержащий пирротин и сульфид никеля — петландит. Внутрпочвенное выветривание этих минералов приводит к образованию в почвах доступного для растений ионов никеля.

Прекрасным биогеохимическим индикатором этого типа оруденения является и As, содержание которого в золе зеленых мхов над рудными телами достигает 0,006%, что в 2000 раз больше его кларка в растениях (0,00003%). Это связано с тем, что в рудах содержатся минералы мышьяка — арсенопирит и леллингит, которые при химическом выветривании в зоне

Т а б л и ц а 11

Статистические характеристики содержания Sn в растениях и в почвах на оловорудном месторождении сульфидно-станнино-касситеритового типа

Статистические параметры	Биообъекты	
	Растения	Почва
n — число проб	48	69
Пределы содержания, %	0,0002—0,04	0,0001—0,03
$\bar{x} \pm \lambda_5\%$ — среднее содержание, %	$0,0070 \pm 0,0029$	$0,0032 \pm 0,0013$
δ — стандартное отклонение	0,01009	0,0054
S — дисперсия	0,0001018	0,0000288
V — коэффициент вариации, %	144	167
$\pm \lambda_5\%$ — ошибка среднего содержания	0,0029	0,0013
Оценка среднего содержания, %	41,43	40,63

Т а б л и ц а 12

Матрица парных коэффициентов корреляции содержания Sn и его спутников в золе растений на оловорудном месторождении сульфидно-станнино-касситеритового типа ($n=48$)

	Sn	Pb	Zn	Cu	Ag
Sn	1				
Pb	+0,62	1			
Zn	+0,21	+0,16	1		
Cu	+0,26	+0,53	+0,22	1	
Ag	+0,03	+0,26	+0,28	+0,66	1

окисления оруденения [Смирнов, 1955] также поставляют доступные для растений ионы этого металла.

Итак, на участке оловянного месторождения сульфидно-станнино-касситеритового типа выявлено, с одной стороны, значительное число растений, накапливающих олово, а с другой — дополнительные металлы-индикаторы оруденения. Сравнительное изучение ореолов рассеяния олова показало, что над зонами оруденения, представленными существенно касситеритовыми рудами, возникают интенсивные аномалии в почвогрунтах и менее контрастные — в растениях, а на участках, где в рудах отмечается повышенное количество станнина, возникают резко контрастные биогеохимические аномалии и ослабленные литогеохимические. Следовательно, присутствие станнина в оловянных рудах может положительно сказаться на эффективности биогеохимических поисков оловорудных месторождений данного генетического типа.

КАССИТЕРИТ-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИЙ ТИП

Особенностью этого генетического типа оруденения является то, что помимо Sn и обычных полиметаллов — Cu, Pb, Zn, содержащихся в первичных рудах в составе сульфидов, в руде присутствуют редкие, рассеянные и редкоземельные элементы — Be, Ga, Zr, Nb, Y, Yb. Рудопроявление локализовано в биотитовых гранодиоритах и находится в пределах останцовой сопки на западном отроге хребта Сихотэ-Алиня, в Нижне-Бикинской геоло-

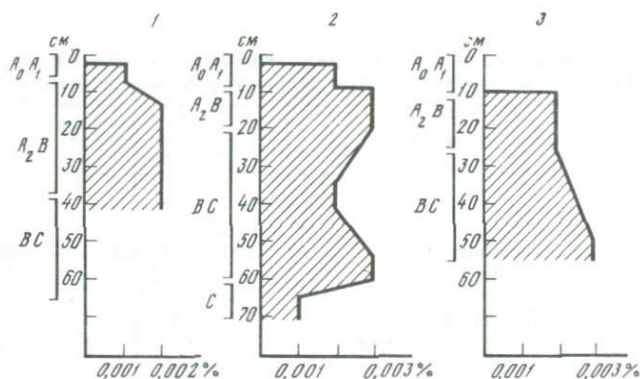


Рис. 24. Распределение содержания олова в мелкоземе генетических горизонтов бурых лесных почв на касситерит-полиметаллическом рудопроявлении

1—3 — точки наблюдения (г. н.) по профилю 1: 1 — 22; 2 — 21; 3 — 8

гической структуре. Первичное оруденение представлено тонкодисперсным касситеритом с сульфидами — халькопиритом, сфалеритом, галенитом и пиритом. Гипергенные минералы — малахит, азурит, церуссит, англезит, вульфенит, базовисмутит, пироморфит, лимонит.

Рудопроявление находится в зоне широколиственных лесов [Куренцова, 1965], и на его площади развиты бурые лесные почвы с рН (водная вытяжка) от 4,90 до 6,40. Шлиховым анализом в почвах, помимо касситерита, установлены другие устойчивые минералы, по классификации А. А. Курхаренко [1961]: магнетит, ильменит, хромит, гранат, ксенотим, монацит, циркон, эпидот, гематит и др.

Для изучения геохимии почв и биогеохимии растений вкострости простираения рудной зоны было заложено два магистральных профиля длиной примерно по 400 м каждый с расстоянием между ними 40 м. По профилям через 20 м из 34 почвенных разрезов было отобрано 115 образцов почв; из этих же пунктов по пробным площадкам взято 745 проб растений (11 видов деревьев, 9 — кустарников, 6 — трав).

В связи с тем, что оловянная минерализация на данном рудопроявлении выражена слабо вследствие незначительного эрозионного среза, олово имеет невысокую встречаемость в почвах в целом, порядка 30% от общего числа проб. Местный геохимический фон Sn в среднем в почвах, а также в генетических горизонтах А₀А₁ и С составляет 0,001%, т. е. равен кларку. В горизонтах А₂В и ВС геохимический фон Sn 0,002 и 0,003% соответственно, т. е. в 2 и 3 раза выше кларка. Наибольшие содержания олова в почвах — 0,005%, что в 5 раз больше кларка. Судя по количеству проб и величине встречаемости, Sn обнаруживает четко выраженную тенденцию накопления в горизонтах С и частично ВС, т. е. в нижних частях разрезов почв (рис. 24).

Аналогичную картину распределения в почвах, т. е. с наибольшим содержанием в горизонтах ВС и С, имеют спутники Sn—Cu, Pb, Zn, Ga, Be, Yb, Zr, содержание которых в этих горизонтах в 3—10 раз больше их кларков.

В гранулометрическом спектре мелкозема почв повышенное содержание Sn характерно для мелких фракций — 0,005—0,001 и меньше 0,001 мм,

Т а б л и ц а 13

**Содержание олова в растениях
на касситерит-полиметаллическом рудопроявлении, %**

Растения и их органы	Sn (верхний предел)	Растения и их органы	Sn (верхний предел)
Береза даурская (листья)	0,001	Спирея средняя	
Ильм сродный (ветви)	0,001	листья	0,001
Бархат амурский (ветви)	0,001	ветви	0,001
Ива Бредина (кора)	0,001	корни	0,003
Леспедеца двуцветная		Малина сахалинская	
ветви	0,001	(общая проба)	0,001
корни	0,001	Чубушник тонколистный	
Лещина разнолистная		ветви	0,001
ветви	0,001	корни	0,001
корни	0,001	Полынь побегоносная	0,001
		Шиповник даурский	0,001
		Земляника восточная	0,001
		Осока узколистная	0,001

в отличие от описанных выше оловорудных месторождений, где наибольшее содержание Sn в мелкоземе было в крупных фракциях — 0,25—1,0 и 0,05—0,25 мм. Это обусловлено тем, что в рудной зоне данного объекта касситерит тонкодисперсный.

Олово концентрируется рядом растений (табл. 13). При этом отмечается, что содержание его в кустарниках выше, чем в древесных растениях, в которых концентрация 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 этот металл в количестве до 0,001%, следует отметить леспедецу двуцветную, лещину разнолистную, малину сахалинскую, чубушник тонколистный. В них Sn накапливается в ветвях и в корнях, причем содержание его в корнях, как правило, выше. Наилучшим концентратором Sn на участке рудопроявления является спирея средняя, в которой оно обнаружено во всех органах, а в корнях концентрация его достигает максимальной для участка величины — 0,003%. По степени накопления Sn органы этого растения образуют ряд: листья—ветви—корни. В общей пробе трав Sn обнаружено только в пределах рудного тела, где содержание его составляет 0,001%. В целом содержание Sn в растениях на данном рудопроявлении незначительное, поэтому и степень концентрации этого элемента относительно местного геохимического фона в растениях невелика и превышает только в 3 раза фоновые значения, что обусловлено низким содержанием этого металла в коренных рудах зоны минерализации вследствие ее незначительного эрозионного среза.

Статистические характеристики содержания Sn в растениях и в почвах на рудопроявлении приведены в табл. 14.

Исследование корреляционной связи между содержанием олова в растениях и в почвах показало, что она слабая, и возможно, это также связано с незначительной оловянной минерализацией. Несколько ниже, чем на месторождениях других типов, связь олова с его спутниками и в золе растений, но, как и в предыдущих случаях, наиболее тесная связь имеет место между Sn и Pb, Zn и Cu, Cu и Pb (табл. 15).

Таблица 14

**Статистические характеристики содержания Sn
в растениях и в почвах на касситерит-полиметаллическом рудопроявлении**

Статистические параметры	Биообъекты	
	Растения	Почвы
<i>n</i> — число проб	28	28
Пределы содержания, %	0,0005—0,003	0,0005—0,005
$\bar{x} \pm \lambda_5\%$ — среднее содержание, %	$0,00075 \pm 0,0001$	$0,002 \pm 0,0004$
σ — стандартное отклонение	0,0006	0,001
<i>S</i> — дисперсия	0,0000004	0,000001
<i>V</i> — коэффициент вариации, %	84	50
$\pm \lambda_5\%$ — ошибка среднего содержания	0,0001	0,0004
Оценка среднего содержания, %	13,33	20,00

Таблица 15

**Матрица парных коэффициентов корреляции между содержанием Sn
и его спутников в золе растений
на касситерит-полиметаллическом рудопроявлении (*n* = 28)**

	Sn	Pb	Zn	Cu	Ag
Sn	1				
Pb	+0,31	1			
Zn	-0,07	+0,08	1		
Cu	+0,15	+0,25	+0,30	1	
Ag	-0,05	-0,14	-0,13	-0,15	1

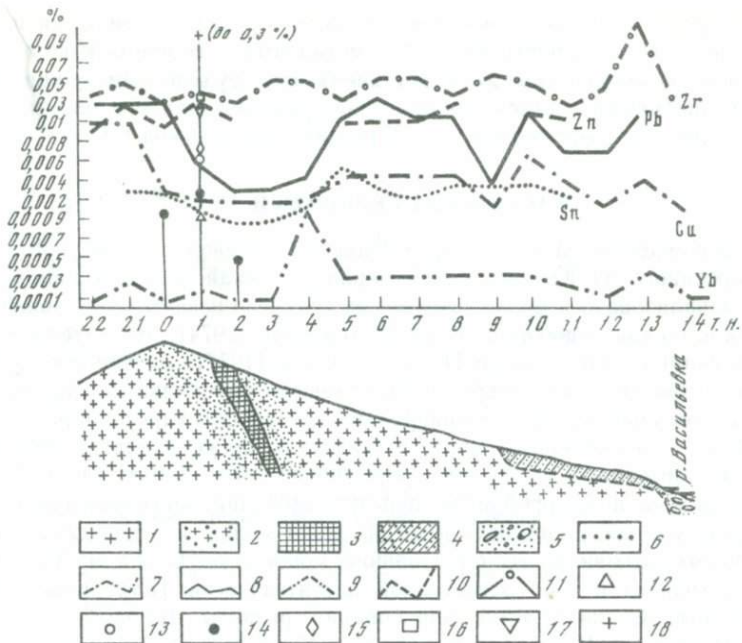
Таблица 16

**КБП металлов над рудной зоной
касситерит-полиметаллического рудопроявления**

Элемент	Содержание, %		КБП	Элемент	Содержание, %		КБП
	в растениях	в почве			в растениях	в почве	
Sn	0,003	0,005	0,6	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

Среди растений на рудопроявлении можно выделить несколько видов, являющихся концентраторами большинства химических элементов. 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 КБП (табл. 16). Наиболее интенсивно растения поглощают основные рудогенные, а также



Р и с. 25. Распределение содержания олова и его спутников в почвах и в растениях на зоне минерализации касситерит-полиметаллического рудопроявления (профиль 1)

1 — биотитовые гранодиориты; 2 — зона окварцевания; 3 — хлоритизированные (рудоносные) породы; 4, 5 — аллювий: 4 — второй террасы, 5 — первой террасы; 6—11 — металлы в почвах: 6 — Sn, 7 — Cu, 8 — Pb, 9 — Yb, 10 — Zn, 11 — Zr; 12—18 — металлы в растениях: 12 — Ag, 13 — Sn, 14 — Sn в опад, 15 — Mo, 16 — Pb, 17 — Cu, 18 — Zn

биогенные химические элементы, играющие в них важную физическую роль, т. е. такие, как Zn, Mn, Ni, Co, Mo, Cu, относящиеся к основным металлам рудопроявления. КБП указанных металлов в десятки раз выше по сравнению с другими химическими элементами в тех же растениях.

На основании данных табл. 16 составлен ряд по убывающей энергии биологического поглощения химических элементов растениями на рудопроявлении: $Zn > Ag > Mn > Ni > Mo > Co > Cu > Pb > Be > Ga > Sn > V$.

Четкие биогеохимические аномалии, отбивающие оруденение, характерны для спутников Sn — Pb, Cu, Zn, Mo, Ag и не только по растениям, но и по опад (рис. 25). Причем биогеохимические аномалии фиксируют более близкое к действительному залегание рудного тела по сравнению с литогеохимическими аномалиями. Это объясняется тем, что корневые системы растений проникают в рудную зону достаточно глубоко, т. е. значительно ниже «поверхностного слоя» [Сауков, 1975], обедненного рудными элементами, и поглощают ионы металлов непосредственно из обогащенных нижних горизонтов зоны окисления.

Обращает на себя внимание несколько пониженное содержание металлов в почвах непосредственно над рудной зоной. Это объясняется более интенсивным выщелачиванием муссонными дождями верхних горизонтов рудной

зоны по сравнению с вмещающими породами, в результате чего происходит обеднение ее верхней части тяжелыми металлами, в то время как содержание олова и его спутников в растениях над рудной зоной повышено. Поэтому биопоски в таких ландшафтных условиях данного генетического типа оруденения эффективнее литогеохимических поисков.

КАССИТЕРИТ-СКАРНОВЫЙ ТИП

Месторождение находится в составе Вознесенского рудного узла, расположенного на Юго-восточной окраине Ханкайского массива в Приморье, локализовано в мраморизованных сланцево-известково-доломитовых породах и, по классификации М. П. Материкова [1974], относится к оловосодержащим скарнам. По данным И. Н. Говорова [1977], оруденение связано с мусковитовыми и касситерит-мусковитовыми прожилками скарнов при подчиненном значении других минералов — сульфидов (арсенопирит, сфалерит, реже — халькопирит, пирит, галенит), а также граната, флюорита, шеелита и др.

Рудная зона, на которой выполнены исследования, расположена на фланге месторождения, занимает пологий склон сопки и перекрыта чехлом суглинистых делювиальных образований мощностью до 2,5 м. Месторождение находится в зоне лесостепной растительности [Куренцова, 1962]. Непосредственно на участке опробования развиты лугово-бурья почвы [Иванов, 1976] с рН (водная вытяжка) 5,10—6,30 в разрезах на аргиллитовых сланцах и 7,00—8,30 в разрезах на карбонатах и скарнах.

С целью установления биогеохимических особенностей олова и его спутников вкост простирания скарновой рудной зоны был заложен профиль длиной 400 м, на котором через 20 м опробовались почвы и растения.

В связи с тем что рудная зона перекрыта делювиальными отложениями значительной мощности, содержание Sn в почвогрунтах низкое, не превышает 0,001—0,003%. Поэтому литогеохимические ореолы Sn и его спутников — Pb, Mo, Cu, Cr, Ti и других металлов значительно ослаблены, практически закрыты, и по ним трудно диагностировать скарновое оруденение, особенно эпицентры залегания рудных тел.

Между тем биоореолы олова и его спутников, установленные на основе содержания металлов в 327 пробах растений, выражены четко, и рудная зона отбивается контрастными биоаномалиями. При этом олово установлено в растениях только над оруденением и в основном в травах (табл. 17). В древесно-кустарниковых видах растений олово не обнаружено, поскольку эта растительная ассоциация на участке биогеохимических исследований распространена за пределами оруденения. Наибольшее содержание олова установлено в осоке пузыреватой — 0,05%, что в 50 раз больше местного фона (0,001%) и в 100 раз выше кларка в растениях. В количестве 0,004—0,005% олово отмечено в клевере люпиновидном, в гравилате аллепском, в кровохлебке аптечной, в полыни Аржи. КБП олова в растениях достигают 5—50 единиц.

Статистические параметры содержания олова в золе растений на данном объекте следующие: число проб (n) = 36; пределы содержания (%) — 0,0005—0,05; среднее содержание ($\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$) — 0,003125 ± 0,00271; стандартное отклонение (σ) — 0,0081301; дисперсия (S) — 0,0000661; коэффи-

Таблица 17

Содержание Sn в золе растений на касситерит-скарновой минерализации, %

Растения	Sn (верхний предел)	Растения	Sn (верхний предел)
Клевер люпиновидный	0,005	Осока гладконосная	0,001
Гравилат аллепский	0,004	Кровохлебка аптечная	0,005
Хвощ лесной	0,002	Вика приятная	0,001
Порезник жабрицевидный	0,001	Вероника сибирская	0,001
Софора желтеющая	0,001	Полынь Аржи	0,004
Купена душистая	0,001	Подмаренник настоящий	0,003
Герань Максимовича	0,003	Ива козья (листья)	0,0005
Осока пузыреватая	0,05		

Таблица 18

Матрица парных коэффициентов корреляции между содержанием Sn и его спутников в золе растений на касситерит-скарновом месторождении ($n=36$)

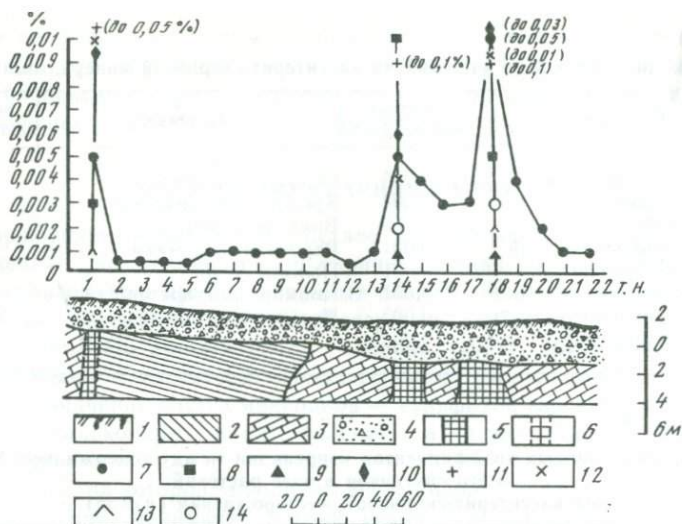
	Sn	Pb	Mo	Mn	Zn	Cu	Ti	Ni
Sn	1							
Pb	-0,04	1						
Mo	-0,04	+0,20	1					
Mn	-0,05	+0,09	-0,11	1				
Zn	-0,12	+0,33	+0,22	-0,33	1			
Cu	-0,18	+0,36	+0,16	-0,04	+0,45	1		
Ti	+0,12	-0,06	+0,03	-0,16	-0,30	-0,22	1	
Ni	+0,37	-0,03	-0,38	+0,24	-0,27	+0,17	-0,26	1

коэффициент вариации (V , %) — 260, ошибка среднего содержания ($\pm \lambda_{5\%}$) — 0,00271; оценка среднего содержания — 86,60%.

Исследование корреляционной связи между содержанием олова и его спутников в золе растений показало, что таковая существует, но не со всеми металлами (табл. 18). Наиболее тесная положительная связь имеется между Sn и Ni, Sn и Ti, Zn и Pb, Cu и Pb, Cu и Zn. Отрицательная связь имеет место между Sn и Cu, Ni и Mo, Zn и Mn, Ti и Zn, Ni и Zn, Ni и Ti.

Надо отметить, что в растениях на этом объекте связь между оловом и свинцом оказалась слабой, что, видимо, объясняется тем, что в выборке проб участвовали лишь травянистые растения, в отличие от других месторождений. Возможно, данная растительная ассоциация ведет себя специфично с точки зрения накопления олова и свинца на этом оруденении, и такое предположение заслуживает дальнейшего исследования с целью получения однозначного ответа.

По биогеохимическому профилю, заложенному вкрест простирания оруденения, четко видно, что скарновые зоны хорошо отбиваются по содержанию в растениях Sn, Pb, Mo, Cu, Ti, Ni, V, Cr (рис. 26). Хотя V и Cr встречаются в растениях в небольшом количестве и в единичных пробах, но и их наибольшие содержания до 0,002—0,003% отмечены только в надрудных зонах, в частности в полыни Аржи. Поэтому эти два металла тоже можно



Р и с. 26. Распределение содержания олова и его спутников в золе растений по биогеохимическому профилю на участке оловорудного месторождения касситерит-скарнового типа

1 — почвенный слой; 2 — аргиллитовые сланцы; 3 — мраморизованные известняки; 4 — делювиальные образования; 5 — рудные зоны известные; 6 — рудная жила предполагаемая; 7—14 — металлы в растениях: 7 — Sn, 8 — Pb, 9 — Mo, 10 — Cu, 11 — Ti, 12 — Ni, 13 — V, 14 — Cr

рассматривать как дополнительные биогеохимические индикаторы касситерит-скарнового оруденения.

Как видно из рис. 26, оловорудная минерализация скарнового типа четко улавливается биоореолами в таких условиях, где литогеохимические вторичные ореолы выражены слабо вследствие перекрытия рудной зоны аллохтонными рыхлыми образованиями. Более того, представилась возможность даже зафиксировать неизвестную рудную жилу на фланге основного рудного тела в точке наблюдения (т. н. 1), наличие которой до проведения биогеохимических исследований не предполагалось.

Следует подчеркнуть значительную контрастность биоаномалий, которая достигает: для Sn — 50, Pb — 20, Ni — 10, Cu — 5, Mo, Ti, V, Cr — 3. Несмотря на незначительное содержание олова в коренных рудах, на данном объекте возникают контрастные биогеохимические аномалии этого металла. По-видимому, в зоне гипергенеза касситерит такого типа оловянной минерализации химически выветривается значительнонее за счет угольной и других неорганических кислот, возникающих в почвогрунтах вследствие гипергенного преобразования карбонатных пород, что приводит к повышенному количеству в почвах подвижных, доступных для растений ионов олова. Поэтому биопоиски оловянных руд этого генетического типа в условиях дальневосточных ландшафтов будут успешными.

КАССИТЕРИТ-ПЕГМАТИТОВЫЙ ТИП

Месторождение этого генетического типа находится в зоне широколиственных лесов и локализовано в кварцево-слюдистых сланцах. Рудная зона представлена серией мелких пегматитовых жил, в которых, кроме касситерита, присутствуют акцессорные минералы — лепидолит, сподумен, петалит, берилл, циркон, шеелит и др.

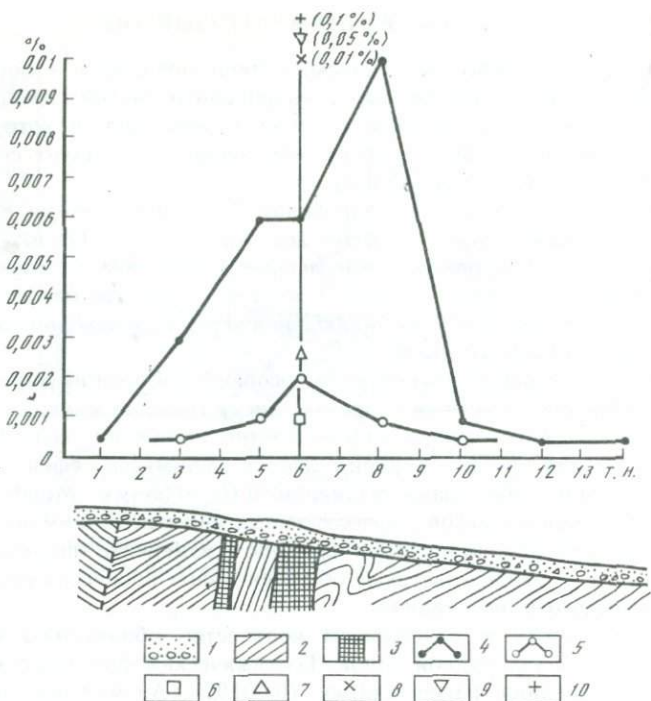
Участок биогеохимического опробования был расположен на северном склоне останковой сопки, покрытой лещинно-леспедиевыми дубняками, под которыми сформированы бурые лесные почвы с рН (водная вытяжка) 5,2—7,8. Вкрест простирания рудной зоны был заложен биогеохимический профиль, по которому в точках наблюдения через 10 м отобрано 35 образцов почв и 270 растительных проб.

Минералогические и геохимические особенности почв на данном объекте изучены по восьми почвенным разрезам. Среди тяжелых минералов в почвах, помимо касситерита, установлены магнетит, ильменит, колумбит, топаз, гранат, турмалин, рутил, циркон, шеелит, лейкоксен, сфен. Касситерит представлен микрообломками размером 0,10—0,55 мм. Морфологические особенности микрообломков других тяжелых минералов, а именно: мартитизация магнетита, лейкоксенизация ильменита, изменение эпидота, окисление колумбита и т. д. свидетельствуют об интенсивных процессах внутрипочвенного химического выветривания.

Олово в почвах в наибольшем количестве обнаружено в разрезах непосредственно над рудной зоной. Геохимический фон этого металла на участке опробования равен кларку (0,001%). Аномальные содержания над рудной зоной резко повышены и составляют в горизонтах (%): А — 0,01, В — 0,005, ВС — 0,006, что соответственно в 10, 5, 6 раз больше кларка в почвах. Аналогичная картина в соотношении фоновых и аномальных содержаний характерна и для спутников олова по пегматитовой минерализации — Li, Be, Zr, Ga, W.

Биогеохимические ореолы рассеяния олова и его спутников в растениях более четко и контрастно фиксируют пегматитовую зону. Олово обнаружено только над пегматитами в пяти видах растений. Содержание его в растениях колеблется от 0,0005% (древесина дуба) до 0,002% (ветви чубушника). В деревьях олово накапливается в коре и древесине, а в кустарниках — в ветвях. Основными концентраторами олова на месторождении являются шпороцветник вырезной и кочедыжник женский. Кроме того, олово накапливается в древесине дуба и коре липы. В максимальных количествах олово обнаружено в ветвях чубушника — 0,002%. Степень концентрации олова в золе растений, однако, в 1,5—3 раза ниже, чем в почвах, что объясняется, с одной стороны, довольно слабой миграционной способностью этого металла в составе касситерита, а с другой — незначительной оловянной минерализацией на объекте.

Распределение содержания олова в почвах и растениях по профилю показывает, что биогеохимические аномалии более точно фиксируют рудные тела пегматитов, т. е. являются надрудными, и обладают значительной контрастностью. Это позволяет считать биогеохимический метод успешным при поисках касситеритсодержащих редкометалльных пегматитов по основному элементу-индикатору — олову. КБП олова над пегматитами увеличивается более чем в 6 раз по сравнению с неминерализованными участками, хотя абсолютные величины КБП незначительные — 0,10—0,66.



Р и с. 27. Распределение содержания олова и его спутников в почвах и в растениях на оловорудном месторождении касситерит-пегматитового типа

1 — почвенно-делювиальные образования; 2 — кварцево-сланцевые сланцы; 3 — рудная зона; 4 — олово в почвах; 5—10 — металлы в растениях: 5 — Sn, 6 — Ga, 7 — Be, 8 — Zr, 9 — W, 10 — Li

Металлы-спутники олова по пегматитовой минерализации также являются хорошими биогеохимическими индикаторами оруденения, поскольку содержатся в растениях в значительном количестве (рис. 27), в частности Li, Be, Ga, Zr, W. Например, содержание Li в растениях достигает 0,01—0,1%, а Be — 0,002%. Весьма значительна здесь индикаторная роль Ga — изоморфной примеси лепидолита [Гинзбург и др., 1966]. Этот металл установлен в растениях до 0,003% только над рудной зоной и особенно характерен для шпорочветника вырезного, чубушника тонколистного, лещины разнолистной, дуба монгольского, липы амурской.

Высоко индикаторное значение и W, обнаруженного в растениях также только над рудной зоной. Источником его в почвах является шеелит. При внутрипочвенном химическом выветривании микрообломков шеелита в первую очередь выносятся кальций. Оставшиеся продукты выветривания, например трехокись вольфрама с органическим веществом почв, в частности с гуминовыми кислотами, образует подвижные комплексные соединения [Лукашев, Лукашев, 1967], которые благоприятствуют поглощению вольфрама растениями. Содержание вольфрама в растениях значительно, оно достигает 0,01—0,05%. Обращает на себя внимание довольно высокая степень концентрации вольфрама в растениях над пегматитами относительно

кларка в осадочных породах (0,0002%) — до 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, на что указывают высокие КБП — до 3—16 единиц. Содержание вольфрама в растениях свидетельствует о значительно большей контрастности биогеохимических аномалий по сравнению с литогеохимическими, что делает вольфрам ценным биогеохимическим индикатором касситерит-пегматитового оруденения.

КАССИТЕРИТ-ГРЕЙЗЕНОВЫЙ ТИП

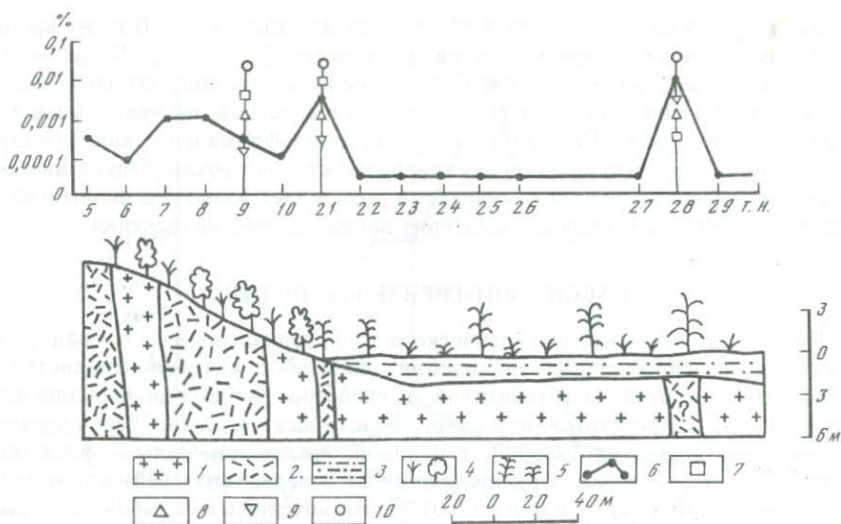
Рудопроявление этого генетического типа локализовано в гранодиоритах. Касситеритовая минерализация связана с кварцево-слюдистыми грейзенами. Помимо касситеритовой, в грейзенах имеется и бериллиевая минерализация, представленная кварц-берилловыми и альбит-берилловыми прожилками, содержащими, кроме берилла, другие минералы — флюорит, циркон, апатит, мусковит. Содержание олова в первичных грейзенах незначительное, колеблется от 0,001 до 0,01%, что обусловлено слабой степенью минерализации.

Рудопроявление находится в пределах останцового сопки высотой 40—50 м, сложенной гранодиоритами. Сопка покрыта леспедцевыми дубняками, под которыми развиты бурые лесные почвы с рН (водная вытяжка) 4,90—6,15. Окружающая сопку равнина с лугово-глеевыми почвами покрыта осоково-вейниковыми лугами с редкой березой.

Для изучения особенностей накопления олова и его спутников в почвах и в растениях на зоне грейзенизации гранодиоритов, включая и не затронутые оруденением породы, было заложено два биогеохимических профиля длиной 400 м с расстоянием между ними 40 м, на которых в точках наблюдения через 20 м опробовались по генетическим горизонтам почвы и отбирались растительные пробы. В общей сложности из 20 почвенных разрезов отобрано 69 образцов почв.

Олово в бурых лесных почвах в пределах сопки обнаружено в 31 пробе, т. е. встречаемость его составляет 45% с содержанием 0,0005—0,002% в основном в горизонте ВС и только в тех разрезах, которые непосредственно находятся на зоне грейзенизации. Количество проб мелкозема почв, в которых обнаружено олово, по классам содержания распределяется следующим образом (% и число проб): 0,002—2; 0,001—5; 0,0005—24. При этом в пяти пробах олово установлено в гумусовом горизонте до 0,0005%. Это еще раз подчеркивает слабую оловянную минерализацию участка и, как следствие, незначительное содержание металла в почвах. Исследование содержания олова во фракциях мелкозема показало, что наибольшее содержание металла, правда, не превышающее 0,003%, отмечено во фракции 0,25—0,05 мм. Во фракциях мелкозема меньшей размерности содержание олова минимально — 0,0001—0,0005%. Следовательно, тенденция олова к накоплению в крупных фракциях мелкозема, отмеченная на других объектах, имеет место и на касситерит-грейзеновом рудопоявлении.

Несмотря на значительное количество (258 проб) и разнообразие опробованного растительного материала (20 видов), олово обнаружено только в леспедце двуцветной в восьми точках наблюдения с содержанием 0,0005—



Р и с. 28. Распределение содержания олова и его спутников в растениях по профилю на касситерит-грейзеновом рудопроявлении

1 — гранодиориты; 2 — грейзенизированные гранодиориты; 3 — покровные алеврито-глинистые образования; 4 — дубняки леспедциевые на бурых лесных почвах; 5 — осоково-вейниковые луга; 6—10 — содержание металлов в растениях: 6 — Sn, 7 — Be, 8 — Pb, 9 — Mo, 10 — Zr

0,001%. Наиболее часто этот металл встречается в корнях леспедцы, а также в опаде с содержанием до 0,0005%. Хотя количество олова в данных биообъектах и незначительно, эти материалы свидетельствуют о высокой чувствительности биометода к оловянной минерализации касситерит-грейзенового типа.

Как видно из рис. 28, наибольшие содержания олова в леспедце двуцветной отмечаются на зонах грейзенизирования гранодиоритов, в привершинной и склоновых частях сопки, для которых характерны практически открытые ореолы олова и сопутствующих металлов, несмотря на значительную мощность элювиально-делювиальных и почвенных отложений — 1,0—1,5 м.

Для проверки возможности биогеохимической индикации ослабленной оловянной минерализации в грейзенизированных гранодиоритах, скрытой предположительно под четвертичными озерно-аллювиальными образованиями на окружающей сопку равнине, в следующий полевой сезон биогеохимический профиль был продолжен с 10 по 29 точки наблюдения т. е. еще на 400 м (между точками наблюдения 26 и 27 расстояние составляет 200 м). Продолженная часть профиля проходит по равнинной местности, покрытой осоково-вейниковыми лугами с редкой березой на лугово-глебовых почвах в отличие от дубняков леспедциевых, развитых на бурых лесных почвах в пределах сопки [Ивашов, 1986б].

Опробование растений показало, что олово содержится в повышенных количествах только в березе даурской — до 0,003% в древесине (т. н. 21) и до 0,01% в ветвях (т. н. 28). В других растениях на этой части профиля олово не обнаружено, за исключением содержания в виде «следов»

в осоках, т. е. ниже предела чувствительности анализа (0,0001%). Содержание олова в березе даурской в т. н. 21, 28 в 6—20 раз больше кларка этого металла в растениях и в 3—10 раз контрастнее биогеохимических аномалий, установленных по открытым ореолам рассеяния олова в пределах склона сопки. КБП олова достигает 5,0. Это дает основание считать, что в т. н. 21, 28 в составе коренных гранодиоритов имеются зоны повышенной оловянно-грейзеновой минерализации, перекрытой покровными аллохтонными озерно-аллювиальными образованиями. Весьма характерно, что опробование гумусового горизонта лугово-глеевых почв в каждом разрезе по профилю, начиная с т. н. 22, с целью обнаружения олова дало отрицательные результаты. Следовательно, биогеохимия за счет корневых систем, в данном случае березы, более чувствительна в обнаружении даже ослабленной касситеритовой минерализации, чем литогеохимия, особенно когда оруденение перекрыто покровными отложениями мощностью до 2,5—3,0 м [Ивашов, 1982 г].

Зоны касситерит-грейзеновой минерализации биогеохимически успешно фиксируются, помимо олова, его спутниками — элементами-биоиндикаторами, в частности Be, Zr, Mo, Pb и др.

Таким образом, проведенные биогеохимические исследования на касситерит-грейзеновом рудопроявлении показывают, что этот генетический тип оловянного оруденения, хотя и ослабленного, может успешно фиксироваться растениями по содержанию в них не только олова, но и его спутников. При этом наиболее чувствительным для индикации оловянного оруденения оказалось кустарниковое растение — леспедеца двуцветная, широко распространенный вид в зоне широколиственных лесов Дальнего Востока, который можно использовать в практике биогеохимических поисков. Следует добавить, что данное бобовое растение является универсальным концентратором Mo, и эта ранее высказанная нами точка зрения [Ивашов, 1976в] подтверждается новым фактическим материалом. Весьма характерно, что на зоне грейзенизированных гранодиоритов в леспедеце двуцветной, помимо Sn, Be, Zr, Mo, определены также Ni, Co, Cr, Cu, Ag, Pb, V, что значительно расширяет поисковый биогеохимический диапазон этого растения.

КАССИТЕРИТ-РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЙ ТИП

Этот генетический тип представлен рудопроявлением на контакте гранитов и известняков, в котором развита комплексная оловянная минерализация, связанная и со скарнами (пироксен-флюорит-шеелитовая с касситеритом) и с пегматитами (альбит-кварц-мусковитовая с касситеритом). Кроме олова, пегматитовые жилы содержат Be, Nb, Ta, Cs, Rb, Li и другие металлы. В гипогенную минералогическую ассоциацию пегматитов, кроме касситерита, входят минералы: колумбит, танталит, ортит, рутил, гематит, магнетит, биотит, мусковит, циркон, пирит, арсенопирит и др. С учетом скарновой зоны в целом на данном рудопроявлении оловянное оруденение в минералогическом отношении исключительно разнообразно, поскольку в его составе имеется много сопутствующих минералов — спутников касситерита. Некоторые из этих минералов, так же как берилл, колумбит, танталит, сами представляют большой интерес с точки зрения их использования. Поэтому не случайно рудопроявление относится к комплексным касситерит-редкометалльным.

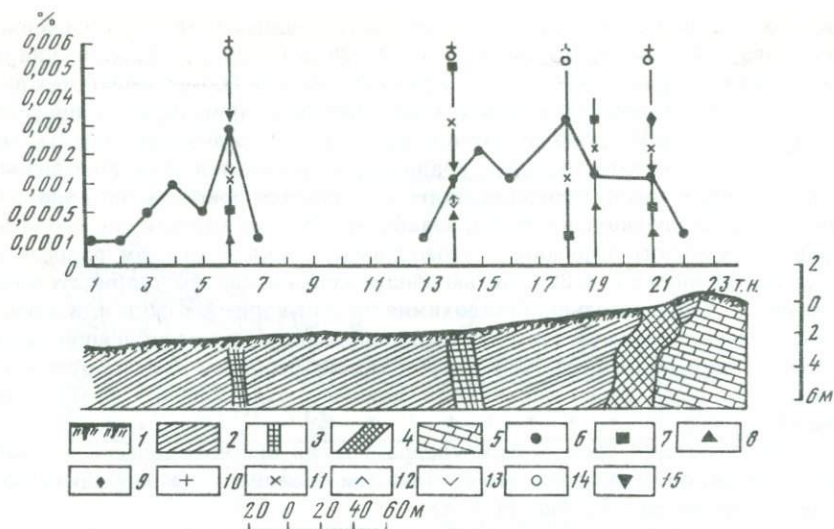


Рис. 29. Распределение содержания олова и его спутников в золе растений по биогеохимическому профилю вкрест простирания зон минерализаций комплексного касситерит-редкометалльного рудопоявления

1 — почвенно-элювиально-делювиальные образования; 2 — рудовмещающие кварцево-сланцевые сланцы; 3 — рудные пегматитовые жилы; 4 — скарновое оруденение; 5 — мраморизованные известняки; 6—15 — содержание металлов в растениях: 6 — Sn, 7 — Be, 8 — Ag, 9 — W, 10 — Li, 11 — V, 12 — V, 13 — Ga, 14 — Zr, 15 — Mo

Рудопоявление размещено в пределах останцовый сопки, находящейся в зоне широколиственных лесов. Сопка покрыта дубняками с березой даурской и осинкой, под которыми сформированы бурые лесные почвы с рН (водная вытяжка) 6,30—6,60 (на скарнах), 7,20—8,10 (на мраморизованных известняках), 5,60—7,20 (на кварцево-сланцевых сланцах). С помощью шлихового анализа установлено, что касситерит в генетически горизонтальных почвах представлен угловатыми микрообломками размером 0,1—0,5 мм.

Геохимия олова и его спутников в почвах на рудопоявлении была изучена по генетическим горизонтам в разрезах (21 проба), заложенных на участке таким образом, чтобы представилась возможность охарактеризовать особенности содержания металлов в зависимости от почвообразующих пород. Оказалось, что большинство металлов в почвах содержится в повышенном количестве только в разрезах на зонах оруденения, в частности олово. Так, содержание этого металла в почвах над пегматитовой жилой (разрез № 14) колеблется от 0,0005 до 0,005%, над скарновой зоной (разрез № 21) — от 0,001 до 0,003%, а над мраморизованными известняками — всего лишь до 0,0005%. В целом содержание олова в почвах низкое, что связано со слабой оловянной минерализацией, и этот металл обнаружен только в девяти пробах, т. е. встречаемость его составляет лишь 43% от общего числа почвенных проб. Пробы, в которых обнаружено олово, по классам содержания распределяются следующим образом (% и количество проб): 0,0005—4; 0,001—1; 0,002—1; 0,003—2; 0,005—1. При этом весьма важно, что олово до 0,003% обнаружено в гумусовом горизонте почв.

Таблица 19

КБП в растениях на комплексном касситерит-редкометалльном рудопроявлении

Элемент	Содержание, %		КБП	Кларк в растениях, %
	в растениях	в почве		
Sn	0,003	0,005	0,6	0,0005
Cu	0,05	0,003	1,6	0,02
Zn	1,0	0,01	100	0,09
Mn	3,0	0,08	37,5	0,75
Ti	0,3	0,3	1	0,1
Zr	0,01	0,03	0,3	—
Cr	0,07	0,003	23,3	0,025
Ni	0,08	0,005	16	0,005
Li	0,1	0,05	2	0,0011
V	0,003	0,005	0,6	0,0061
Co	0,003	0,001	3	0,0015
Pb	0,003	0,002	1,5	0,001
Sc	0,03	0,002	15	0,006*
Be	0,005	0,005	1	0,0002
Ba	3,0	0,05	60	0,01
Ga	0,001	0,0005	2	0,001*
W	0,03	0,01	3	0,003**
Mo	0,1	Не опр.	—	0,002
Ag	0,0005	«	—	0,0001
Y	0,001	«	—	—
Sr	0,2	«	—	—

* В золе каменных углей: Sc (Шербина, 1964); Ga [Холодов, 1966].

** В золе растений Дальнего Востока на вольфрамоносных гранитах [Ивашов, 1976в].

В растениях на основе 573 проб (20 пробных площадок) установлена разнообразная ассоциация металлов: Sn, Cu, Zn, Ti, Mn, Cr, Ni, Co, V, Zr, Pb, Sc, Be, Ba, Sr, Ga, W, Li, Mo, Ag, Y.

Незначительная оловянная минерализация рудопроявления сказалась на биогенных ореолах рассеяния олова. Содержание этого металла в растениях колеблется от следов (0,0001%) до 0,003% и обнаружено лишь в 15 растительных пробах, т. е. встречаемость низкая. Наибольшие содержания олова отмечены в растениях, %: атрактилодос овальный и кровохлебка аптечная — 0,003, лилейник малый — 0,002, осока ланцетная, полынь узколистная, листья лещины разнолистной — 0,001.

Статистические параметры содержания олова в растениях: среднее содержание (\bar{x}): $0,0016 \pm 0,00078$; дисперсия (S) — 0,00000106; стандартное отклонение (σ) — 0,00102; коэффициент вариации (V, %) — 64,4; ошибка среднего ($\pm \lambda_5\%$) — 0,00078; относительная ошибка (точность) среднего (%, %) — 48,8.

Хотя содержание олова в растениях низкое, оно однако достаточно четко фиксирует места залегания пегматитовых жил и скарновой зоны (рис. 29). При этом скарновое и пегматитовое оруденения отбивают и другие металлы — спутники олова на основе содержания их в растениях, в частности Mo, Be, Ag, W, Li, V, Y, Ga, Zr с достаточно высокими значениями КБП (табл. 19). Почти для всех металлов КБП больше 1, за исключением Sn, Zr, V, что объясняется слабой оловянной и цирконий-ванадиевой минерализацией. Тем не менее наибольшее содержание олова в растениях в 6 раз больше кларка, и это весьма существенно для биогеохимической

**Матрица парных коэффициентов корреляции содержания Sn
и его спутников в золе растений
на комплексном касситерит-редкометалльном рудопроявлении**

	Sn	Ti	Ni	Mo	Cu	Zn	Ba	Sr	Mn
Sn	1								
Ti	+0,24	1							
Ni	+0,11	-0,03	1						
Mo	+0,15	-0,18	+0,84	1					
Cu	+0,22	+0,23	+0,76	+0,70	1				
Zn	+0,45	-0,36	+0,46	+0,51	+0,24	1			
Ba	+0,14	-0,25	+0,80	+0,83	+0,69	+0,41	1		
Sr	+0,63	-0,06	-0,20	-0,20	-0,03	-0,15	-0,14	1	
Mn	-0,23	-0,11	-0,18	-0,22	-0,33	+0,10	-0,18	+0,03	1

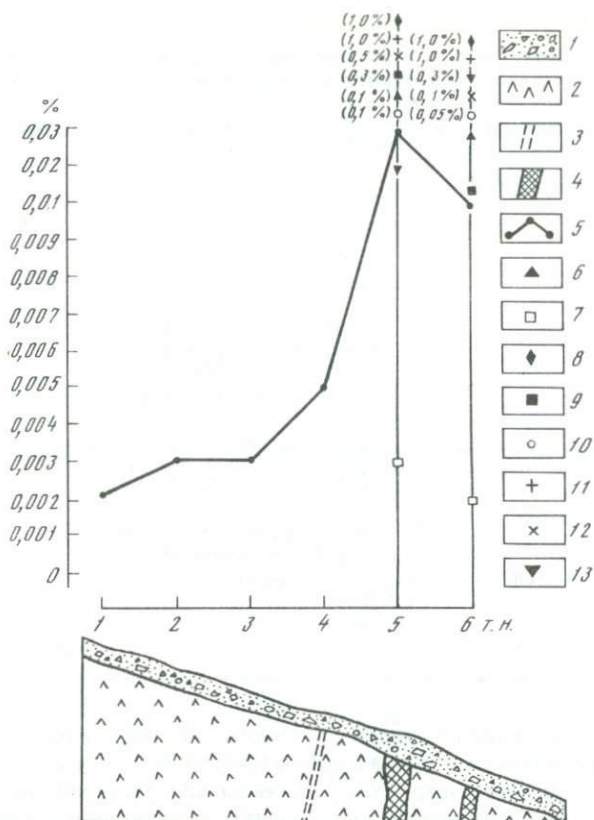
индикации касситеритового оруденения данного генетического типа, несмотря на его слабое проявление. Наибольшие значения КБП характерны для биогенных элементов — Zn, Mn, Ba, Co, Ni, Sr, а также для типичных металлов данного оруденения — Li, W, Sc, Ga.

О том, что у олова на данном рудопроявлении имеется большое число металлов-индикаторов, свидетельствуют коэффициенты корреляции между содержанием их в растениях (табл. 20). Положительная корреляционная связь Sn отмечается с Ni, Mo, Cu, Zn, Ba и Sr, а отрицательная — с Ti и Mn. При этом наиболее тесная связь наблюдается между биогенными элементами, в частности Mo с Cu, Zn, Ba, Ni; Cu — с Ni и Zn.

Таким образом, проведенные биогеохимические исследования дают основание сделать вывод, что аналогичные комплексные касситерит-редкометалльные рудопроявления и месторождения могут успешно фиксироваться растениями как по главному металлу — олову, так и по его спутникам даже в условиях ослабленной касситеритовой минерализации.

КАССИТЕРИТ-ХЛОРИТОВЫЙ ТИП

Касситерит-хлоритовый тип оловорудных месторождений как в нашей стране, так и за рубежом распространен наиболее широко, и с ним связаны основные запасы олова [Канишева, 1977]. Месторождение, на котором выполнены биогеохимические исследования, расположено на западном склоне хребта Сихотэ-Алинь, в верховьях р. Уссури, и локализовано в эффузивах. Основные рудные минералы — касситерит, пирит, сфалерит, галенит, арсенопирит; второстепенные — пирротин и халькопирит. В качестве акцессорной примеси встречаются станнин и франкеит. Касситерит ассоциирует в кварцевых турмалинитах с хлоритом, а также встречается в виде кварц-касситеритовых прожилков и скрытокристаллических тонкодисперсных агрегатов темно-бурого цвета размером от тысячных долей до 0,1—0,5 мм. Станнин присутствует в незначительном количестве в сульфидных рудах вместе с касситеритом и диагностируется только под микроскопом в виде зерен размером 0,005—0,1 мм. По вещественному составу и геолого-структурным признакам этот генетический тип оруденения аналогичен месторождениям оловорудных провинций Японии, в частности рудному району Икуно-Акенобе [Геология..., 1961; Kato, 1927, 1928].



Р и с. 30. Содержание олова и его спутников в золе древесных растений по профилю на оловярдном месторождении касситерит-хлоритового типа

1 — делювиальные отложения; 2 — кислые эффузивы; 3 — зона разлома; 4 — рудные тела; 5—13 — металлы в растениях: 5 — Sn, 6 — Pb, 7 — Ag, 8 — Zn, 9 — Cu, 10 — Ni, 11 — Ba, 12 — Sr, 13 — Ti

Месторождение находится в горном районе с абсолютными отметками 700—800 м, в местности с резко расчлененным рельефом в зоне хвойно-широколиственных лесов. Непосредственно рудная зона размещена на склоне крутизной 15—30°, покрытом толщей (до 3—5 м) делювиально-пролювиальных глыбовых и щебнистых образований, в которых мелкозем практически отсутствует. Вследствие таких ландшафтных особенностей почвенный покров на участке выражен так слабо, что не было возможности провести его опробование параллельно с биогеохимическим. По этой же причине невозможно было взять и шлиховые пробы из почвогрунтов.

Вдоль склона вкрест простираения рудной зоны был заложен биогеохимический профиль, на котором через 20 м в точках наблюдения отбирались пробы растений (рис. 30). Всего было взято 208 проб, олово обнаружено в 16 видах растений: 7 — деревья, 2 — кустарники, 7 — травы и мхи (табл. 21). Встречаемость олова в растениях на участке составляет свыше 50%, а местный геохимический фон равен 0,001%. Как правило,

Таблица 21

Содержание Sn в золе растений на оловорудном месторождении касситерит-хлоритового типа, %

Растения и их органы	Sn (верхний предел)	Растения и их органы	Sn (верхний предел)
Ель аянская		Клен желтый	
ветви	0,01	листья	0,001
кора	0,003	Осина	
древесина	0,01	ветви	0,001
Кедр корейский		кора	0,001
ветви	0,002	древесина	0,001
кора	0,005	Ива сухолюбивая	
древесина	0,003	ветви	0,002
Пихта белокорая		Малина сахалинская	
хвоя	0,003	ветви	0,001
ветви	0,001	Мерингия белоцветковая	0,001
кора	0,001	Кипрей узколистный	0,001
древесина	0,01	Щитовник Линнея	0,002
Лиственница даурская		Осока мечевидная	0,002
хвоя	0,03	Вальдштейния тройчатая	0,003
кора	0,003	Хилокомиум	0,002
Береза маньчжурская		Полиподиум	0,003
ветви	0,001		
кора	0,03		
древесина	0,001		

наибольшие содержания олова в растениях отмечаются над зонами минерализации, в частности в точках наблюдения 5, 6.

Статистические параметры содержания олова в растениях: среднее содержание (\bar{x}) — 0,0037, дисперсия (S) — 0,00004, стандартное отклонение (σ) — 0,0063, коэффициент вариации ($V, \%$) — 170,5, ошибка среднего содержания с 5-процентным уровнем значимости ($\pm \lambda_{5\%}$) — 0,0019, относительная ошибка (точность) среднего ($\bar{x}, \%$) — 51,3.

Весьма характерно, что на этом месторождении наибольшим количеством олова отмечаются древесные растения, особенно хвойные (%): ель аянская — 0,01, пихта белокорая — 0,01, лиственница даурская — 0,03, кора березы маньчжурской — 0,03, что в 20—60 раз выше кларка олова. Эти концентрации металла в растениях зафиксированы непосредственно над рудными телами. Повышенное содержание олова — до 0,005%, т. е. в 10 раз больше кларка — обнаружено в растениях над зоной разлома. За пределами оруденения и зоны разлома, т. е. на участках «стерильных» вулканитов, содержание олова в растениях колеблется в пределах кларка и фона (0,0005—0,001%). КБП олова в растениях достигает 30,0.

Зона минерализации биогеохимически четко фиксируется растениями на основе повышенного содержания других металлов-индикаторов — спутников олова по первичным рудам, т. е. Pb, Cu, Zn, Ag и др., о чем свидетельствуют корреляционные связи (табл. 22).

Свинец — наиболее четкий биогеохимический индикатор касситеритового оруденения данного генетического типа. Наибольшие его содержания в растениях отмечены непосредственно над рудными телами — до 0,03—0,1%, что в 30—100 раз больше кларка и местного фона (0,001%). Этот металл

Таблица 22

Матрица парных коэффициентов корреляции между содержанием Sn и его спутников в золе растений на оловорудном месторождении касситерит-хлоритового типа (n = 31)

	Sn	Pb	Cu	Zn	Ni	Ba
Sn	1					
Pb	+0,22	1				
Cu	+0,26	+0,11	1			
Zn	+0,08	+0,23	+0,34	1		
Ni	-0,09	+0,04	-0,48	+0,22	1	
Ba	+0,07	-0,33	-0,22	-0,03	-0,09	1

Таблица 23

Содержание Pb в золе растений на оловорудном месторождении касситерит-хлоритового типа, %

Растение	Хвоя (листья)	Ветви	Кора	Древесина
Кедр корейский	0,001	0,03	0,2	0,01
Пихта белокорая	0,02	0,03	0,01	0,05
Ель аянская	0,003	0,05	0,002	0,08
Береза маньчжурская	0,003	0,05	0,03	0,1
Клен желтый	0,005	0,001	0,001	0,05
Осина	0,005	0,03	0,004	0,1
Ива сухолюбивая	0,003	0,005		
Малина сахалинская	0,001	0,05		
Спирея березолистная	0,001	0,01		
Щитовник Линнея	0,01			
Хилокомиум	0,01			
Ветреница теневая	0,002			
Осока ланцетная	0,003			
Чистотел большой	0,001			
Полынь побегоносная	0,001			
Кипрей узколистный	0,005			
Майник двулистный	0,002			
Вейник Лангсдорфа	0,001			

обнаружен во многих растениях, наибольшее его количество — в древесных видах, в частности в древесине хвойных и лиственных деревьев (табл. 23). При этом хорошо выявляется закономерность в особенностях содержания свинца в органах древесных пород, составляющих ряд по степени увеличения накопления: кора—хвоя (листья)—ветви—древесина. В кустарниках содержание свинца достигает 0,05%, в папоротниках и мхах 0,01%, в травах — 0,002—0,005%.

Серебро как биогеохимический индикатор также весьма характерно для оруденения. Наибольшие содержания этого металла — 0,001—0,003%, что в 10—30 раз больше кларка (0,0001%), отмечены в растениях только над рудной зоной, в частности в древесине пихты белокорой, кедр корейского, ели аянской и осины. Обычное содержание серебра в растениях на объекте не превышает 0,0001—0,0002%.

Таким образом, исследования показали, что касситерит-хлоритовый тип оловянного оруденения успешно поддается биогеохимической индикации

по основному металлу — олову, а также его спутникам и в таких ландшафтных и горно-геологических условиях, где применение литогеохимического и даже шлихового методов затруднено вследствие крупноглыбовых склоновых образований. При этом следует отметить, что высокая контрастность биоаномалий олова и повышенное значение КБП в растениях на данном типе оруденения обусловлены, с одной стороны, присутствием в рудах тонкодисперсного касситерита, а с другой — акцессорной примесью станина.

КАССИТЕРИТ-ТУРМАЛИНОВЫЙ ТИП

Оловорудные месторождения касситерит-турмалинового типа представляют наибольший интерес с точки зрения промышленного использования. Они широко распространены, руды их относительно легко обогащаются, а степень извлечения олова из них достаточно высокая. К этому генетическому типу относятся известные месторождения — Корнуоллские в Великобритании, Лалагуа в Боливии, Сунгай-Лембина в Малайзии, Клаппа-Кампит в Индонезии, ряд месторождений в КНР и Японии. В нашей стране на долю оловорудных месторождений касситерит-турмалинового типа приходится 60,9% запасов олова [Лугов, 1975].

Месторождение, на котором проведены биогеохимические исследования, локализовано в зоне дробления осадочно-эффузивных образований. Рудные тела представлены кварц-турмалиновыми метасоматитами с касситеритом практически при полном отсутствии сульфидных минералов, в том числе и станина. Касситерит в оруденении представлен метаколлоидной разновидностью тонкодисперсного строения с размером зерен в тысячные и сотые доли миллиметра. Для касситерита характерно высокое содержание индия — до 20—95 г/т [Канищева, 1977], что типично для оловорудных месторождений Дальнего Востока, в рудах которых имеется метаколлоидный колломорфный касситерит [Иванов, 1966; Усенко, Чеботарев, 1973; Осипова, 1976, 1980; Никулин, 1966, 1981; Онихимовский, Гаврилов, 1981].

Месторождение расположено в горнотаежной местности с абсолютными отметками до 900—1000 м, в пределах южной подзоны зоны темнохвойных лесов, и непосредственно находится в долине ручья со склонами крутизной 30—35°, покрытыми крупноглыбовыми делювиальными отложениями, что затрудняет, а подчас делает невозможным отбор и литогеохимических и шлиховых проб вследствие сильной промытости этих образований и отсутствия мелкозема.

Вкрест простираения одной из рудных зон на участке поперек долины со склона на склон был заложен биогеохимический профиль, по которому на шести площадках отбирались пробы растений. Всего было опробовано 6 видов древесных пород, 4 — кустарников и 19 — трав, общее количество проб составило 221.

Олово было обнаружено в 23 видах (древесные растения — 7, кустарниковые — 4, травянистые — 12), в более чем 100 пробах. Встречаемость олова в растениях, распространенных в пределах рудной зоны, составляет свыше 70—80%. Виды растений и их органы, содержащие олово, приведены в табл. 24. Местный геохимический фон олова в растениях — 0,001%.

Следует отметить, что на данном участке наибольшие содержания олова обнаружены в деревьях, особенно в хвойных — до 0,02—0,1%, что в 40—

Таблица 24

**Содержание Sn в золе растений на оловорудном месторождении
касситерит-турмалинового типа, %**

Растения и их органы	Sn (верхний предел)	Растения и их органы	Sn (верхний предел)
Ель аянская		Осина	
хвоя	0,005	листья	0,001
кора	0,001	ветви	0,001
ветви	0,004	кора	0,001
древесина	0,02	древесина	0,003
Пихта белокорая		Ива сухолюбивая	
хвоя	0,1	листья	0,02
ветви	0,002	ветви	0,003
кора	0,002	Спирея безрелистная	
древесина	0,003	листья	0,01
Кедровый стланник		ветви	0,02
хвоя	0,003	Рябинолистник рябинолистный	
ветви	0,001	листья	0,001
кора	0,003	ветви	0,002
древесина	0,001	Бузина сибирская (листья)	0,002
Береза маньчжурская		Кочедыжник красночерешковый	0,001
листья	0,007	Вейник Лангсдорфа	0,0005
ветви	0,001	Осока мечевидная	0,005
кора	0,001	Валерьяна заенсейская	0,01
древесина	0,002	Щитовник буковый	0,002
Береза ребристая		Кипрей узколистный	0,02
листья	0,003	Клинтония удская	0,0005
ветви	0,002	Плаун пальчатый	0,002
кора	0,002	Плаун можжевельниковый	0,002
древесина	0,003	Плаун сплюснутый	0,02
Клен желтый		Клопогон даурский	0,0005
листья	0,005	Брусника	0,05
ветви	0,002		

200 раз больше кларка в растениях. Из кустарников наибольшие концентрации олова отмечены в листьях (до 0,01%) и ветвях (до 0,02%) спиреи безрелистной. 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 зоны. Выше по склону от рудного тела, в пределах первичного ореола рассеяния встречаемость олова в растениях не превышает 20%, а содержание его не больше 0,004%. КБП олова достигает 100,0.

Весьма любопытно отметить факт накопления олова растениями, распространенными в днище долины, пересекающей рудную зону. Содержание металла здесь — 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 в аллювиальных отложениях долины, на которых поселились растения, имеется доступное для них олово, накопление которого в растениях обусловлено одной из следующих причин: 1) наличием коренного оруденения, перекрытого аллювием 3—4-метровой мощности; 2) богатой россыпью касситерита в долине; 3) высоким содержанием олова в водотоках долины, размывающих рудоносные породы выше по течению и дренирующих аллювиальную песчано-галечниковую толщу русловых и пойменных осадков.

Матрица парных коэффициентов корреляции между содержанием Sn и его спутников в золе растений на оловорудном месторождении касситерит-турмалинового типа ($n=93$)

	Sn	Pb	Cu	Ba	Ni
Sn	1				
Pb	+0,22	1			
Cu	+0,15	+0,40	1		
Ba	-0,04	-0,05	+0,31	1	
Ni	-0,07	+0,06	+0,52	+0,36	1

Таким образом, олово на данном месторождении достаточно интенсивно поглощается растениями, что, несомненно, обусловлено наличием в составе минерализации тонкодисперсного (метаколлоидного) касситерита. Это подтверждает установленную на других оловорудных месторождениях закономерность о предпочтительном накоплении олова растениями, если в составе оруденения присутствует мелкозернистый и тонкодисперсный касситерит. Кроме того, это свидетельствует о больших перспективах биогеохимических поисков на Дальнем Востоке оловорудных месторождений, руды которых представлены колломорфным касситеритом, который больше растворим в воде и в минеральных кислотах по сравнению с кристаллическим касситеритом [Новороссова, Комарова, 1962]. Следовательно, переход ионов олова в почвенные растворы и грунтовые воды из колломорфного касситерита способствует более интенсивному поглощению этого металла растениями, чем на объектах с кристаллическим касситеритом. Поэтому логично предположить, что месторождения олова, кассификационно входящие в так называемую риолитовую формацию, т. е. деревянистого касситерита [Смирнов, 1947; Крылова, 1972; Онихимовский, 1977], могут быть более успешно обнаружены при помощи биогеохимического метода.

Оловорудная зона биогеохимически фиксируется и спутниками Sn — Pb, Cu, Ag, Ga, Zr и другими металлами, на что указывают также и корреляционные связи между ними (табл. 25).

Необходимо отметить, что на данном месторождении высокоинформативными биогеохимическими индикаторами рудной зоны оказались плауны — можжевелниковый, пыльчатый и плюснутый, которые можно рассматривать как комплексные концентраты металлов. Они содержат непосредственно над зоной минерализации разнообразные элементы в повышенном количестве, %: Sn — 0,02, Be — 0,0002, Zr — 0,03, Cr — 0,005, V — 0,003, Mn — 3,0, Ni — 0,05, Mo — 0,0005, Cu — 0,01, Zn — 0,07, Pb — 0,001, Ag — 0,0001, Ba — 0,2, Sr — 0,03. При этом Sn накапливается в этих растениях больше кларка в 40 раз, Ba и Ni — в 10, Mn — в 4 раза и т. д.

Итак, касситерит-турмалиновый бессульфидный тип минерализации с касситеритом метаколлоидного строения биогеохимически успешно фиксируется контрастными биоаномалиями олова и его спутников.

КАССИТЕРИТ-ВОЛЬФРАМИТ-ТУРМАЛИНОВЫЙ ТИП

Биогеохимические исследования на оруденение этого генетического типа проведены в Баджалском рудном районе, который находится в зоне сплошной многолетней мерзлоты, непосредственно примыкает к железной дороге восточного плеча БАМа и является весьма перспективным для открытия здесь крупных оловорудных месторождений различных генетических типов, относящихся к касситерит-кварцевой формации [Болотников и др., 1975]. Горно-геологические и ландшафтные условия проведения геохимических поисков на восточной части зоны БАМа вообще и в частности в Баджалском рудном узле исключительно неблагоприятны, что обусловлено резко расчлененным рельефом с абсолютными отметками выше 2000 м и относительными превышениями 400—500 м.

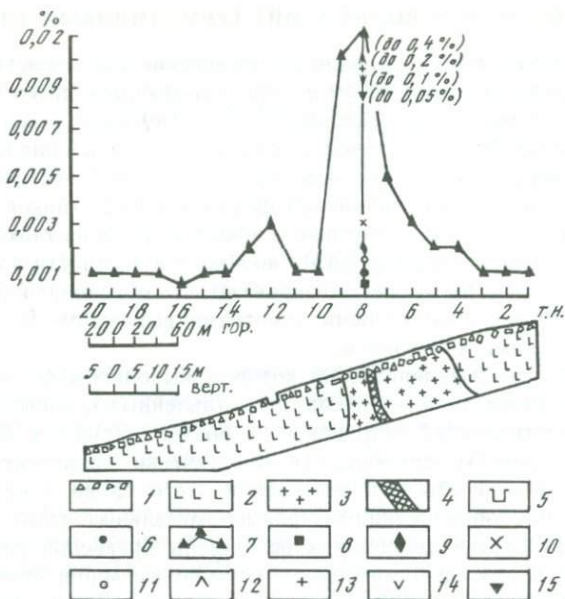
Участок с рудопроявлением, на котором выполнены исследования, находится в зоне светлохвойных лесов, представленных главными древесными породами — лиственницей даурской и кедровым стлаником. Весьма характерно, что на участке опробования практически полностью отсутствует почвенный покров в обычном понимании этого слова. Склоны покрыты крупноглыбовыми образованиями, размер отдельных глыб до $1,5 \times 2$ м и более. Однако такие ландшафты не лишены древесной растительности. В расщелины между глыбами проникают мощные корни древесных растений — лиственницы даурской, кедрового стланика, ели аянской, и там, на глубине, они находят необходимые для растений питательные вещества и влагу.

Если говорить об эффективности применения геохимических методов поисков рудных месторождений в описываемых ландшафтах, то в таких условиях возможно использование только сколового и биогеохимических методов. Отбор в таких ландшафтах шлиховых или литогеохимических проб практически бесполезен, так как делювий исключительно крупноглыбовый, имеет значительную мощность, а рыхлый мелкозернистый материал, необходимый для шлиховых проб и металлометрии, в большинстве случаев отсутствует или находится на недоступной глубине в расщелинах между глыбами. Как правило, делювиальные отложения значительно выщелочены, интенсивно промыты муссонными дождями, поэтому тонкодисперсный обломочный материал вымыт в нижние горизонты делювия или вынесен в нижнюю часть склонов.

Оруденение представлено гидротермально измененными турмалинизированными породами с касситеритом и локализовано в кислых эффузивах. Кроме касситерита и турмалина, в составе минерализации присутствуют вольфрамит, шеелит, висмутин, базовисмутит, самородный висмут, молибденит, в подчиненном количестве — арсениpirit, галенит, сфалерит и др.

В целом зона минерализации на участке с поверхности выражена чрезвычайно слабо. Выполненными ранее поисковыми работами, предшествовавшими биогеохимическому опробованию, была сделана безуспешная попытка вскрыть зону серией канав, которые практически не дошли до коренных пород. Однако, судя по отвалам, наибольшая турмалинизация была характерна для канавы 7, поэтому местоположение последней предположительно принималось как эпицентр зоны оруденения участка.

Вкрест простираения предполагаемой рудной зоны на участке был заложен биогеохимический профиль, верхняя часть которого, расположенная гип-



Р и с. 31. Распределение содержания металлов в золе растений по биогеохимическому профилю вквост простириания предполагаемой оловорудной зоны касситерит-вольфрамиту-турмалинового типа

1 — делювиальные крупноглыбовые образования; 2 — кварцевые порфиры; 3 — гранодиориты; 4 — предполагаемая оловорудная жила; 5 — канава № 7; 6—15 — металлы в растениях: 6 — Sn, 7 — Pb, 8 — Be, 9 — Co, 10 — Sc, 11 — Ag, 12 — Zn, 13 — Cu, 14 — Bi, 15 — W

сометрически 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. Опробованию подверглись ель аянская, кедровый стланик, рододендрон золотистый, брусника, дёрн канадский, сфагнум, хелоидиум. В общей сложности на профиле было отобрано 218 биогеохимических проб. Канава 7 на профиле биогеохимического опробования соответствовала т. н. 12 (рис. 31).

Обработка результатов биогеохимического опробования показала, что вследствие слабой оловянной минерализации олово обнаружено лишь в т. н. 8 в бруснике (0,0005%) и в сфагнуме (0,001%). Однако зона коренного оруденения прекрасно отбивается по содержанию в растениях других элементов, сопровождающих рудопоявление Sn, в частности Pb, Ag, Bi, Sc, W и др.

Так, Pb в наибольшем количестве до 0,02% отмечен в хвое стланика, распространенного з т. н. 8 при фоновых содержаниях 0,001%. В соседних точках 7, 9 содержание Pb в растениях 0,01%, за пределами их — 0,002—0,004%.

Ag при фоновых содержаниях 0,0001% и в повышенном количестве до 0,001% обнаружен в древесине ели аянской также в т. н. 8, что в 10 раз больше фона. На других точках наблюдения содержание Ag не превышает 0,0001—0,0002%.

Матрица парных коэффициентов корреляции
между содержанием металлов в золе на оловярудном проявлении
касситерит-вольфрамит-турмалинового типа ($n=18$)

	Be	Ti	Cu	Pb	Sc	Zr
Be	1					
Ti	-0,56	1				
Cu	-0,04	+0,60	1			
Pb	-0,04	+0,47	+0,45	1		
Sc	-0,32	-0,43	-0,35	-0,25	1	
Zr	-0,54	+0,85	+0,60	+0,44	-0,35	1

Примечание. Корреляционные связи между содержанием Sn и W не исследовались из-за ограниченного числа проб растений, в которых обнаружены указанные металлы.

Вi в максимальном количестве — до 0,1% — обнаружен в золе хвои кедрового стланика только в т. н. 8, что в 100 раз превышает фон этого металла в растениях (0,001%). За пределами предполагаемой рудной жилы содержание Вi в растениях не превышает 0,002%, а на участках распространения рудовмещающих пород — кварцевых порфиров (кислых эффузивов) — количество его в золе растений ниже чувствительности анализа. Следовательно, Вi, находящийся в зоне оруденения в составе минералов — висмутина, базовисмутина и самородного висмута, — является прекрасным биогеохимическим индикатором оловянной минерализации касситерит-вольфрамит-турмалинового типа.

Хорошим биогеохимическим индикатором оловянного оруденения является также Sc. Как известно, этот металл — спутник олова — сопровождает оловянную минерализацию, находясь в качестве изоморфной примеси в касситерите. В наибольшем количестве — 0,003% — он установлен в хвое ели аянской и в сфагнуме только в т. н. 8, за пределами которой содержание Sc в единичных пробах растений не превышает 0,001%.

W определен в единичных пробах растений в т. н. 8, в частности в хвое кедрового стланика — 0,05%, в листьях брусники — 0,03%, а также в т. н. 9 в ветвях рододендрона — 0,03%. Интересно, что этот металл обнаружен до 0,05% в древесине ели аянской и до 0,1% в листьях рододендрона золотистого в т. н. 5, что по-видимому, свидетельствует о дополнительной вольфрамовой минерализации в этом пункте. Выше и ниже по склону от указанных точек W в растениях на биогеохимическом профиле не зафиксирован.

Другие металлы, имеющие второстепенное значение в оруденении, также содержатся в растениях в повышенном количестве над зоной минерализации и могут быть дополнительными биогеохимическими индикаторами. Об этом свидетельствуют достаточно четкие корреляционные связи как положительные, так и отрицательные между содержанием микроэлементов в золе растений (табл. 26). Тесная положительная корреляционная связь характерна для следующих пар: Pb—Cu, Pb—Ti, Pb—Zr, Zr—Ti, Zr—Cu, а тесная отрицательная — Be—Ti, Be—Pb, Be—Sc, Be—Zr, Sc—Zr.

Надо отметить, что в зоне оруденения рудопроявления касситерит содержится в незначительном количестве по сравнению с вольфрамитом, галенитом, сфалеритом, молибденитом, висмутином и другими минералами. Тем не менее и в этом случае олово дает четкие биогеохимические аномалии,

которые в совокупности с биогеохимическими аномалиями других металлов-спутников олова успешно фиксируют рудную зону, что свидетельствует о больших перспективах биогеохимических поисков оловорудных месторождений касситерит-вольфрамит-турмалинового типа.

Кроме того, как видно из рис. 31, среди второстепенных металлов достаточно четкими биогеохимическими индикаторами, отбивающими рудную жилу в т. н. 8, являются Ве с содержанием 0,0005% во мхах, а также Со — 0,002, Zп — 0,4, Сu — 0,2%, установленные в древесине ели аянской.

Весьма характерно, что ряд металлов, особенно редких и рассеянных, обнаружены в единичных пробах растений в относительно повышенном количестве только над рудной жилой, в частности в т. н. 8 (%): Ti — 0,1—0,3 (хелодиум, сфагнум), Мо — 0,0003—0,001 (рододендрон, сфагнум), Zr — 0,1—0,3 (сфагнум, хелодиум), Ga — 0,001 (хелодиум, сфагнум), Y — 0,001 (хелодиум), Yb (сфагнум).

Итак, как по олову, так и по его спутникам биогеохимическая аномалия на профиле четко проявляется в т. н. 8 и соответствует основной рудной жиле, что на 80 м выше по склону, чем предполагалось (местоположение канавы 7). Таким образом, биогеохимическая индикация дает возможность более точно установить нахождение эпицентра оловорудной жилы в горно-геологических и ландшафтных условиях, где практически невозможно применение шлихового и литогеохимического методов поиска.

Весьма показательно, что в остаточных древеснистых продуктах гипергенеза, вскрытых и отобранных в т. н. 8, установлены следующие металлы, %: Sn — 0,001, Pb — 0,005, W — 0,003, Mn — 0,05, Ti — 0,1, Bi — 0,003, Cu — 1,0—3,0, Cr — 0,003, Ni — 0,001, V — 0,003, Ba — 0,001, Sr — 0,03, Be — 0,0002, Ga — 0,001, Zr — 0,01, Y — 0,003, Yb — 0,0005. По существу эти данные подтверждают то, что биогеохимические аномалии олова и его спутников в растениях в т. н. 8 не случайны и соответствуют эпицентру оруденения. Следовательно, поиски оруденения касситерит-вольфрамит-турмалинового типа биогеохимическим методом на восточном участке зоны БАМа в ландшафтных условиях, аналогичных Баджальскому оловорудному узлу, будут эффективны [Ивашов, 1984в].

КАССИТЕРИТ-ВОЛЬФРАМИТОВАЯ РОССЫПЬ

Россыпь находится в долине ключа Рудный, левого притока р. Бичи на Нижнем Амуре. По данным С. Ф. Усенко и М. В. Чеботарева [1973] и Г. А. Петровой [1957], она образовалась за счет Бичинского коренного оловорудного месторождения, содержащего в рудах основные минералы — касситерит и вольфрамит. Касситерит-вольфрамитовые коренные руды месторождения дали комплексную, минералогически специализированную россыпь, аналогичную комплексным россыпям в Яно-Колымском регионе, установленным А. И. Федотовым [1977].

Изучение минералогического состава россыпи, выполненное нами по шлихам, показало, что, помимо касситерита и вольфрамита, имеются другие ценные компоненты — ильменит, монацит, рутил, шеелит, топаз (табл. 27).

Кроме того, в составе шлихов установлены акцессорные тяжелые минералы: гематит, циркон, эпидот, турмалин. Легкая фракция представлена

Содержание минералов в касситерит-вольфрамитовой россыпи,
% от веса серого шлиха

№ п/п	Минерал	%	№ п/п	Минерал	%
1	Касситерит	1,04	10	Гидро окислы железа	0,15
2	Вольфрамит	1,31	11	Гранат	0,17
3	Шеелит	0,91	12	Магнетит	0,02
4	Ильменит	0,36	13	Биотит	0,17
5	Монацит	0,08	14	Мусковит	0,04
6	Рутил	0,04	15	Пироксен	0,20
7	Апатит	0,05	16	Кварц	50,28
8	Топаз	1,18	17	Полевой шпат	13,71
9	Лимонит	3,49	18	Обломки пород	27,43

биотитом, мусковитом, кварцем, полевыми шпатами, обломками пород кварцево-слюдистого состава.

В целом содержание серого шлиха из продуктивного слоя россыпи невысокое, при этом до 92% шлиха приходится на легкие минералы и до 8% — непосредственно на собственно шлих (тяжелые минералы).

Касситерит содержится в тяжелой немагнитной фракции шлихов до 40% и представлен неокатанными угловатыми и неправильными обломками кристаллов от розовато-желтого до желтовато-коричневого цвета с сильным алмазным блеском, размер зерен 0,1—0,8 мм.

Участок, на котором проведены биогеохимические исследования, находится в зоне светлохвойных лесов. Основными в древостое среди хвойных являются лиственница даурская, ель аянская и кедровый стланик. По простирацию россыпи от подножия склона поперек долины был заложен профиль, на котором по восьми пробным площадкам через 20 м проведено опробование деревьев, кустарников, трав и мхов — всего 157 проб. Содержание олова в растениях, распространенных на россыпи, колеблется от 0,001 до 0,005% (табл. 28).

Хотя это количество металла в растениях по сравнению с другими оловорудными объектами не столь велико, но тем не менее в 10 раз выше кларка. При этом важно то, что касситерит в россыпи фиксируется биогеохимическими аномалиями олова в растениях с контрастностью до 5 единиц, и эти данные, впервые полученные применительно к территории Дальнего Востока, имеют принципиальное значение. Наибольшее содержание олова отмечается в ягеле (до 0,005%), т. е. в растении, широко распространенном на Дальнем Востоке, особенно на территории лесотундры Северо-Востока СССР, где уже разрабатываются касситеритовые россыпи и имеются большие перспективы открытия новых россыпей. Поэтому проведение биогеохимических поисков россыпного олова на основе опробования ягеля, а также лиственницы даурской, которая также характерна для этого региона, может быть весьма эффективным для обнаружения новых оловорудных месторождений.

Статистические параметры содержания олова в растениях на касситерит-вольфрамитовой россыпи следующие: среднее содержание (\bar{x}) — 0,00212, дисперсия (S) — 0,00000155, стандартное отклонение (σ) — 0,00125,

Т а б л и ц а 28

Содержание Sn в золе растений на касситерит-вольфрамитовой россыпи, %

Растения и их органы	Sn (верхний предел)	Растения и их органы	Sn (верхний предел)
Лиственница даурская		Багульник крупнолистный	
хвоя	0,002	листья	0,002
кора	0,002	Спирея березолистная	
Осина		листья	0,001
древесина	0,002	Брусника	
Рододендрон золотистый		листья	0,002
листья	0,001	Ягель	0,005

Т а б л и ц а 29

Матрица парных коэффициентов корреляции между содержанием Sn и его спутников в золе растений на касситерит-вольфрамитовой россыпи

	Sn	Cu	Pb	Zn	Mo	Ni	Ba	Sr	Mn
Sn	1								
Cu	+0,82	1							
Pb	+0,61	+0,57	1						
Zn	+0,78	+0,79	+0,80	1					
Mo	-0,33	-0,22	-0,29	-0,25	1				
Ni	+0,55	+0,65	+0,53	+0,66	+0,36	1			
Ba	-0,07	-0,30	-0,36	-0,33	+0,77	-0,26	1		
Sr	+0,69	+0,69	+0,77	+0,81	-0,32	+0,74	-0,38	1	
Mn	-0,49	-0,59	-0,20	-0,43	+0,31	-0,70	-0,84	-0,52	1

коэффициент вариации ($V, \%$) — 58,80, ошибка среднего содержания с 5-процентным уровнем значимости ($\pm \lambda_{5\%}$) — 0,00088, относительная ошибка (точность) среднего содержания ($\bar{x}, \%$) — 41,50.

Помимо олова, россыпь фиксируется растениями на основе содержания в них других металлов. Это связано с тем, что в составе россыпи имеется ряд минералов-спутников касситерита. Содержащиеся в них химические элементы высвобождаются и поглощаются растениями так же, как и ионы олова, возникающие при химическом выветривании россыпного касситерита. Поэтому не случайно между содержанием олова и другими металлами в растениях выявлены тесные корреляционные связи (табл. 29).

Наиболее характерна тесная положительная связь с Cu, Pb, Zn, Ni, Sr, а отрицательная — с Mo, Mn, Ba. Поэтому названные элементы можно использовать как дополнительные биогеохимические индикаторы россыпи.

Помимо Cu, Pb и Zn, весьма характерны индикаторные свойства Mo, хотя непосредственно молибденовых минералов в составе россыпи нет. Наличие Mo в составе россыпи, по-видимому, связано с примесью его в шеелите, как это установлено для месторождения в штате Невада (США), где шеелит (CaWO_4) содержит примесь повеллита (CaMoO_4) параллельно с зейрегитом — минералом промежуточного состава, в котором имеется до 34% MoO_3 [Hsu, Galli, 1973]. Повышенные содержания Mo — до 0,03% отмечены в коре лиственницы, в хвое стланика, в ветвях рябинолистника, в листьях малины и брусники, а также до 0,1% в вейнике. Наибольшее содержание этого элемента — до 0,3% — обнаружено в ветвях

рододендрона, что в 150 раз выше кларка в растениях (0,002%). Надо отметить, что Mo хорошо коррелирует с Sn в растениях, но в отличие от Cu, Zp и Pb эта связь отрицательная.

Весьма характерно то, что в единичных пробах (и только в листьях брусники) обнаружен лантан с содержанием 0,0005%. Лантан — основной элемент минералов монацита, также спутника касситерита до данной россыпи. Поэтому обнаружение этого редкого элемента в растениях имеет важное научное и особенно прикладное значение: возможно использование лантана как биогеохимического индикатора при поисках комплексных касситеритовых россыпей, содержащих монацит.

Среди других микроэлементов в растениях в единичных пробах обнаружен Ti до 0,01—0,05% в ветвях рододендрона и багульника, в листьях брусники, в ягеле; Ag — до 0,0002—0,0005% в органах хвойных пород с максимальным содержанием 0,003% в древесине ели, что в 30 раз больше кларка; Be — до 0,0001—0,0005% в ветвях березы, в древесине ольхи, в дёрене канадском, в бруснике, в листьях малины; Co — до 0,001—0,002% в листьях и в древесине ольхи, дуба, осины, березы; Cr — до 0,01% в древесине ели и в листьях спиреи березолистной; Zr — до 0,01—0,02% в древесине лиственницы, в ветвях ели и рододендрона, в бруснике.

Таким образом, биогеохимические исследования на касситеритовой россыпи показали, что по основному металлу Sn и его спутникам — Cu, Zp, Pb, Mo, Ni, Ba, Sr, Mn — аналогичные россыпи можно с успехом искать биогеохимическим методом. При этом дополнительными биогеохимическими индикаторами, особенно для комплексных россыпей, могут быть La, Ti, Ag, Be, Zr, Sr.

Надо отметить, что существующее в настоящее время широко распространенное мнение об универсальности шлихового метода для поисков россыпей касситерита не всегда оправдано. Например, шлиховые поиски затруднены из-за значительной мощности аллохтонных покровных образований. Поэтому применение биогеохимического метода как наиболее глубинного по сравнению с другими методами за счет диффузионного подтока металлосодержащих грунтовых вод к корням растений будет эффективным для обнаружения касситеритовых россыпей на стадии как рекогносцировочных, так и детальных поисковых работ.

БАЗАЛЬТОВЫЕ МАССИВЫ

В последние годы были получены материалы о находках касситерита и самородного олова в породах андезито-базальтового состава вопреки сложившемуся мнению о «стерильности» этих магматических образований с точки зрения оловоносности.

Так, самородное олово в виде каплевидных зерен размером до 1,5 мм в диаметре обнаружено в траппах Сибирской платформы, в частности в анатозитовых габбро-долеритах Биллээхского интрузива, где валовое содержание олова достигает 10 г/т [Округин и др., 1975].

По данным А. Ф. Коржинского и Е. В. Францкой [1955], зерна самородного олова обнаружены в покровных четвертичных базальтах Западного Прибайкалья. К. Н. Рудич [1972] установил содержание олова до 4,2 г/т в базальтах Якутии, в частности вулкана Балаган-Тас. Содержание олова значительно выше кларка определили Г. А. Гринберг и др. [1976] в базальтах

юго-западной части Охотско-Чукотского вулканического пояса, в частности в Куйдусунской (до 6,9 г/т) и в Ульяновской (до 8,9 г/т) впадинах. В одном из рудных районов Приморья повышенные содержания олова характерны для мезозойских базальтов Куксинского и Самаргинского комплексов, в среднем до 5,0 и 6,5 г/т соответственно [Симаненко, 1977]. Значительно выше кларка концентрации олова в базальтоидах Курило-Камчатской зоны и Курильских островов отметили В. Н. Горкун и др. [1963], Е. Д. Петраченко и В. Г. Сахно [1974], Л. Л. Леонова и В. А. Легейдо [1975] и др. Содержание олова до 5,5 г/т установили В. С. Зубков и В. А. Легейдо [1982] в юрских базальтоидах (шошониты и латиты) Центрального Забайкалья. В трахибазальтах и латитах акатуевского комплекса Приаргунья концентрация этого металла достигает 4,9 г/т [Таусон, Захаров, 1974]. Обогащены оловом базальты Срединно-Атлантического хребта [Барсуков и др., 1977], Срединно-Индийского хребта [Smith, Burton, 1972], Восточной и Западной рифтовых зон Африки [Герасимовский, Борисенко, 1971]. Как показал Л. В. Таусон [1977] на примере шошонитов латитовой серии, наличие олова в базальтах связано с их мантийным происхождением, и следствием этого является формирование касситерит-аксинитовой минерализации.

Наиболее интересные обобщения по содержанию олова в базальтоидах Дальнего Востока сделали В. В. Онихимовский, Ю. И. Бакулин, В. И. Гаврилов, Н. Е. Малямин [Онихимовский, Бакулин, 1975; Гаврилов, Малямин, 1975; Гаврилов, Онихимовский, 1978; Онихимовский, Гаврилов, 1982]. Было показано, что в Комсомольском рудном районе для миоценовых базальтов характерно повышенное содержание олова (до 10 г/т) по сравнению с четвертичными базальтами (до 1,2 г/т).

Эти же исследователи установили высокие содержания олова в базальтах Курильских островов, Камчатки и Сахалина. Непосредственно касситерит обнаружен в базальтовых потоках вулканов Тятя на о-ве Кунашир, а также в базальтах вулканов Аланд, Руруй, Эбеко на Курильских островах, где содержание олова колеблется от 4,3 до 15,0 г/т.

В плиоценовых базальтах орловской свиты на западе Сахалина содержание олова достигает 5 г/т, в них также отмечен касситерит, причем концентрация олова в неэлектромагнитной фракции шлихов из базальтовых проточечек достигает 0,1% (1000 г/т), а в электромагнитной — 0,03%, т. е. 300 г/т [Гаврилов, Онихимовский, 1978].

Для проверки возможности биогеохимической индикации Sn в андезитобазальтах были проведены биогеохимические исследования на восьми базальтовых массивах (плато) Приморья (ПШ 1—8) палеогенового возраста и на шести массивах Приамурья (АБ 1,4,3,7,8,9) нижнечетвертичного возраста, т. е. всего на 14 объектах. На каждом массиве закладывалась пробная площадка для отбора биогеохимических проб и образцов почв [Ивашов, 1981а, б].

Содержание Sn в свежих базальтах — 0,0005—0,0007%. В продуктах их гипергенеза — в мелкоземной генетических горизонтов почв некоторых разрезов, например ПШ-4, количество олова достигает 0,002%, в частности в горизонтах на глубине 15—22 и 30—35 см. Олово обнаружено и в отдельных фракциях мелкозема — в 0,05—0,01 и в 0,005—0,001 мм в количестве до 0,0005%. Однако в большинстве разрезов на базальтовых массивах, особенно четвертичного возраста, содержание олова составляет лишь 0,0001—

0,0002% или находится за пределами чувствительности анализа. Такая резкая разница в содержании олова в продуктах гипергенеза базальтов обусловлена различной геохимической специализацией коренных материнских пород в зависимости от возраста. В целом отмечено повышенное содержание олова в палеогеновых (миоцен-плиоцен) базальтах по сравнению с четвертичными базальтоидами [Ивашов, 1975г, е, 1978а, 1980б].

Количество олова в золе растений на базальтах значительно выше, чем в почвах (табл. 30). Олово обнаружено в большинстве растений на всех исследованных массивах палеогенового возраста и в единичных растениях — на четвертичных базальтах. Наибольшие содержания олова в растениях отмечаются на миоцен-плиоценовых базальтах — до 0,08%, а максимальные количества этого металла в растениях на четвертичных базальтах достигают лишь 0,003%. Следовательно, геохимическую специализацию базальтов в связи с их возрастом четко фиксируют растения.

Относительно кларка в растениях (0,0005%) наибольшие содержания олова в золе растений на палеогеновых (0,08%) и четвертичных (0,003%) базальтах соответственно больше в 160 и 6 раз. Если эти же количества сравнить с кларком олова в основных породах, равным 0,00015% [Беус, Григорян, 1975; Green, 1969], то они окажутся больше соответственно в 600 и 20 раз.

Такие высокие концентрации олова, которые в ряде случаев почти аналогичны концентрациям в растениях на оловорудных месторождениях, обусловлены специфическими формами нахождения этого металла в базальтах, чем в других породах, например, в гранитах, а именно — в виде самородного олова, которое лучше растворимо по сравнению с касситеритом и, следовательно, более доступно растениям.

Надо отметить, что в распределении концентрации олова по органам деревьев отмечается четко выраженная закономерность: максимальные количества металла установлены в древесине хвойных пород и частично лиственных — пихты, ели, кедра, осины, а также в коре лиственных деревьев, например липы. По сравнению с другими органами деревьев — листьями и ветвями — эта разница в содержании колеблется от 10 до 80 раз, например у пихты белокорой и кедра корейского. Такие резкие колебания в содержании олова в различных органах древесных растений, по-видимому, обусловлены, с одной стороны, физиологическими особенностями органов, а с другой — специфической формой олова в базальтах. Как следствие физиологических процессов это, возможно, связано с наименьшей зольностью древесины по сравнению с другими органами, что установлено нами специальными исследованиями.

Так, зольность органов пихты белокорой (среднее из 9 анализов), %: хвоя — 3,9, ветви — 1,9, кора — 4,3, древесина — 0,4; кедра корейского (среднее из 5 анализов): хвоя — 2,5, ветви — 1,6, кора — 1,9, древесина — 0,2. Аналогичные соотношения зольности органов имеют и другие древесные породы с наименьшим выходом золы из древесины. Поэтому озоление древесины приводит, очевидно, к большему обогащению оловом, как и его спутниками-металлами, чем озоление других органов деревьев, характеризующихся повышенным содержанием зольных элементов.

В целом среднее содержание олова в растениях на базальтовых массивах по данным 86 анализов 0,0047%. По видам растений и их органам средние концентрации (в %) и количество проб составляют: деревья:

Содержание Sn в золе растений на базальтовых массивах юга Дальнего Востока, %

Растения и их органы	Sn (верхний предел)	Растения и их органы	Sn (верхний предел)
Пихта белокорая		Клен желтый	
ветви	0,001	древесина	0,003
древесина	0,01	Клен бородатый	
кора	0,001	ветви	0,001
Ель аянская		Лещина маньчжурская	
ветви	0,001	листья	0,003
древесина	0,03	ветви	0,001
кора	0,001	Рябина ольхолистная	
Кедр корейский		листья	0,001
ветви	0,001	Чубушник тонколиственный	
древесина	0,08	листья	0,001
кора	0,003	ветви	0,002
Дуб монгольский		Ива козья	
листья	0,003	листья	0,001
ветви	0,0005	ветви	0,005
древесина	0,001	древесина	0,003
Липа амурская		Актинидия коломикта	
листья	0,003	листья	0,001
ветви	0,001	Жимолость горбатая	
древесина	0,001	листья	0,001
кора	0,03	ветви	0,002
Осина		Черемуха Максимовича	
древесина	0,01	листья	0,001
кора	0,003	ветви	0,003
Ясень маньчжурский		Смородина бледноцветковая	
древесина	0,001	листья	0,001
Береза каменная		Виноград амурский	
древесина	0,01	листья	0,0005
кора	0,001	Маакния амурская	
Береза желтая		древесина	0,001
древесина	0,001	кора	0,003
Береза маньчжурская		Джеферсония сомнительная	0,05
древесина	0,001	Дудник гладкий	0,001
Береза черная		Майник двулистный	0,001
листья	0,003	Адокса мускусная	0,001
кора	0,002	Вейник Лангсдорфа	0,001
Граб сердцелистный		Вороний глаз	0,001
ветви	0,001	Кислица обыкновенная	0,001
Клен ложнозибольдов		Кочедыжник письменный	0,003
листья	0,003	Орляк обыкновенный	0,003
древесина	0,003	Чемерица черная	0,001
Клен мелколистный		Соссюрея крупнолистная	0,001
листья	0,002	Осока мечевидная	0,001
ветви	0,001	Плаун можжевельниковый	0,002
древесина	0,001	Плаун пильчатый	0,002
Клен зеленокорый			
листья	0,001		
древесина	0,001		

хвоя (листья) — 0,0024 (5), ветви — 0,00094 (8), древесина — 0,0075 (32), кора — 0,0041 (11); кустарники: листья — 0,0015 (11), ветви — 0,0022 (5), ствол — 0,003 (1); травы — 0,0051 (13).

Постоянными спутниками олова по содержанию в растениях являются металлы, составляющие геохимическую ассоциацию, характерную для андезито-базальтов, а именно: Mn, Ti, Ni, Ba, Sr. Реже в растениях встречаются Pb, Zn, Mo, не свойственные магматическим породам основного состава. В единичных пробах обнаружены Ag, V, Cr, Ga, Be, Zr, причем Ag установлен исключительно в древесине хвойных деревьев с содержанием 0,0002—0,0005%, т. е. в 2—5 раз больше кларка в растениях, что еще раз подчеркивает способность хвойных — ели аянской и кедра корейского — к накоплению серебра.

Таким образом, впервые установлено, что биогеохимический метод дает возможность уточнить геохимическую специализацию базальтов с точки зрения содержания в них специфических форм олова, в частности самородного, оценить базальты как потенциальный источник олова и подтвердить гипотезу о поступлении олова в базальты за счет мантийного вещества Земли.

ОЛОВОНОСНЫЕ ГРАНИТЫ

Под оловоносными подразумеваются граниты с содержанием олова больше кларка — 3 г/т [Виноградов, 1962; Дурасова, 1970; Онихимовский, 1977]. Олово в этих породах равномерно рассеяно как в виде аксессуарного касситерита, так и в форме изоморфной примеси в составе породообразующих минералов — биотита, мусковита, полевых шпатов и даже кварца [Тausон, 1961; 1977; Барсуков, 1974]. Однако в отличие от базальтов в гранитах не отмечено самородное олово, и эта принципиальная разница в форме нахождения элемента в основных эффузивах и кислых интрузивах несомненно должны сказаться на его биогеохимии.

Для проверки этой гипотезы были проведены биогеохимические исследования на гранитных массивах Приморья, в частности на мысе Гамова, в зоне южных широколиственных лесов (ППИ-65—68), и Приамурья, на Малом Хингане в зоне хвойно-широколиственных лесов (ППИ-69—72, 74, 75). Содержание олова в свежих гранитах не превышает 5—7 г/т и по этому количеству они относятся к оловоносным, хотя оловянного оруденения как такового в них нет. На указанных гранитных массивах в точках наблюдения отбирались пробы пород, почв и растений. Содержание олова в почвах и в нижележащих горизонтах современной коры выветривания приведено в табл. 31. Оказалось, что количество олова в продуктах современного гипергенеза гранитов в свежих породах не превышает 0,0005—0,001% (5—10 г/т). Следовательно, обогащение почв и современной коры выветривания оловом практически не происходит, исключение — разрез ППИ-74, здесь на глубине 125—140 см содержание олова достигает 0,001%. Поэтому можно отметить, что установленная нами ранее [Ивашов, 1982в] геохимическая специализация первичных (оловоносных) гранитов сказывается и на продуктах их современного гипергенеза — почвах и коре выветривания, что подтверждается новым фактическим материалом. Олово в пределах 5—7 г/т установлено в основном в нижних горизонтах коры выветривания — свидетельство того, что по разрезам происходит вертикальная дифференциация микрозерен аксессуарного касситерита и относительное на-

Содержание Sn в современных продуктах гипергенеза
и в почвах на оловоносных гранитах Приморья и Приамурья

Номер разреза	Глубина, см	Sn, %	Местонахождение
ПШ-65	170—180	0,0005	Юг Приморья, мыс Гамова
ПШ-66	50—60	0,0005	«
ПШ-67	50—75	0,0005	«
ПШ-68	135—148	0,0007	«
«	215—223	0,0005	«
ПШ-69	70—90	0,0005	Приамурье, Малый Хинган
ПШ-70	2—5	0,0005	«
«	20—35	0,0005	«
«	80—95	0,0007	«
ПШ-71	2—8	0,0005	«
«	15—25	0,0005	«
«	55—65	0,0005	«
«	100—120	0,0005	«
ПШ-72	50—67	0,0007	«
ПШ-74	55—75	0,0007	«
«	95—100	0,0005	«
«	125—140	0,001	«
ПШ-75	50—75	0,0005	«
«	90—120	0,0007	«
«	150—165	0,0007	«

копление их в указанных горизонтах зоны гипергенеза. При этом оказалось, что олово в почвогрунтах в значимых количествах — 5—7 г/т — содержится только во фракциях 0,005—0,001 и 0,01—0,005 мм мелкозема, т. е. в составе исключительно мелких зерен акцессорного касситерита [Ивашов, 1975в, 1976б, 1979в, 1981в].

Что касается содержания олова в растениях на гранитных массивах, то количество его в них находится в пределах чувствительности и анализа и кларка (0,0001—0,0005%). Это еще раз свидетельствует о том, что биогеохимические аномалии олова в растениях возникают только при наличии оловянного оруденения.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что содержание в гранитах микрокристаллического акцессорного касситерита, равномерно рассеянного в породе с валовым количеством олова до 10 г/т, биогеохимическими аномалиями в растениях не фиксируется в отличие от базальтов, как это было показано выше. Валовое содержание этого металла в базальтах всего лишь 5—7 г/т, а в растениях формируются резкие биоаномалии с концентрацией до 0,08%, что в 160 раз больше кларка олова в растениях. Это обусловлено специфическими формами нахождения олова в указанных типах пород: акцессорного касситерита в гранитах и акцессорного самородного олова в базальтах. Следовательно, формирование биоаномалий олова контролируется формами нахождения данного металла в почвообразующих породах. Эта неизвестная ранее особенность биогеохимии олова имеет важное значение в планировании биогеохимических поисков.

БИОГЕОХИМИЯ АКЦЕССОРНОГО ОЛОВА НА НЕОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ И РУДОПРОЯВЛЕНИЯХ

С целью выяснения возможности использования олова как биогеохимического индикатора для поисков других руд, исходя из акцессорной примеси его в зонах минерализаций, были проведены биогеохимические исследования на различных неоловорудных месторождениях, рудопроявлениях и на рудоносных массивах горных пород в пределах хвойно-широколиственных лесов Дальнего Востока.

Полиметаллическое месторождение. Оруденение этого объекта представлено пироксеновыми и гранатовыми скарнами с галенитовой, сфалеритовой и пирротиновой минерализацией, на которой олово в количестве 0,0005% установлено в ветвях ивы Радде, в листьях маакии амурской, в ветвях чубушника тонколистного. Важно, что олово в этих растениях обнаружено непосредственно над рудными телами. В первичных рудах металл присутствует в составе микрозерен акцессорного касситерита, а также в виде изоморфной примеси в пирротине. Следовательно, несмотря на незначительное количество олова в растениях, оно оказалось четким биогеохимическим индикатором скарнов с галенит-сфалерит-пирротиновой минерализацией.

Никеленосный серпентинитовый массив. На этом массиве олово обнаружено только в трех видах растений — в коре бархата амурского до 0,0005%, в вике мышиной и в ирисе одноцветковом до 0,001%. В первичных породах этот металл содержится в виде изоморфной примеси в минералах кварцевых прожилков, находящихся в составе серпентинитов. Таким образом, кларковое содержание акцессорного олова в серпентинитах фиксируется также практически кларковыми концентрациями этого металла в растениях. Это свидетельствует, с одной стороны, о том, что олово не дает ложных биогеохимических аномалий, а с другой — о большой чувствительности биогеохимического метода в индикации даже акцессорного олова в составе коренных пород [Ивашов, 1978б, 1980а, 1982в].

Россыпь золота. Олово обнаружено в растениях, произрастающих на россыпи золота, в составе которой имеется касситерит как спутник этого самородного металла, вследствие чего на россыпи образовались биогеохимические ореолы олова с содержанием в золе растений от 0,0005 до 0,02%, в частности в хвое пихты, в древесине лиственницы, в надземной части зеленых мхов (кукушкин лен) до 0,0005%, в хвое ели — 0,001%, в древесине березы Эрмана — 0,003%, в древесине ели — 0,02%. При этом биогеохимические аномалии Sn и Au, фиксирующие повышенные содержания этих металлов в делювии, практически совпадают. Поэтому использование олова в качестве индикатора при биогеохимических поисках золотоносных россыпей может быть исключительно эффективным, особенно при обнаружении комплексных золото-касситеритовых россыпей.

Ореол рассеяния вольфрама. На механическом ореоле рассеяния вольфрамита и шеелита также отмечены биоореолы рассеяния олова за счет акцессорного касситерита. Олово было обнаружено в ветвях пихты белокорой в количестве до 0,003%, что в 6 раз больше кларка и, по-видимому, в этом пункте фиксируется наличие минерализации под делювиальными образованиями. Поэтому не случайно олово обнаружено только в пихте, имеющей более мощную корневую систему по сравнению с кустарниками и травами, а спутники Sn в этих пробах, ‰: Cu — 0,005, Pb — 0,002,

Содержание Sn в растениях лесостепи Дальнего Востока на участках с касситеритовой минерализацией (по Р. С. Климовой и др., 1960 г.)

Вид растений	Sn, %	Вид растений	Sn, %
Дуб монгольский	0,003	Акатник амурский	0,001
Береза даурская	0,003	Патрэнция скабиозолистная	0,001
Леспедеца двуцветная	0,003	Папоротник луговой	0,006
Лещина разнолистная	0,003	Мискантус сахароцветный	0,001
Спирея средняя	0,04	Кохия веничная	0,001
Клевер ползучий	0,003	Осока пузыреватая	0,001
Вика приятная	0,01	Майник двулистный	0,003
Земляника восточная	0,003	Подмаренник настоящий	0,001
Орляк обыкновенный	0,01	Полынь жертвенная	0,03
Спорыш	0,003	Одуванчик монгольский	0,001
Мята даурская	0,001		

Mo — 0,003, Ni — 0,02, Ba — 0,03, т. е. в основном сульфидные металлы как индикаторы оруденения.

Редкометалльные рудопроявления. На этих рудопроявлениях биогеохимические ореолы рассеяния олова были установлены Л. И. Грабовской и Е. Д. Астрахан [1963]. Олово в количестве от тысячных до десятых долей процента было обнаружено этими исследователями в ветках и листьях дуба монгольского, лещины разнолистной, леспедецы двухцветной, а также в надземной части папоротника орляка обыкновенного и полыни маньчжурской. Источником олова в редкометалльной минерализации рудопоявления является касситерит и изоморфные примеси этого металла в рудных и породообразующих минералах. Постоянные спутники олова в растениях — Be, Zr, Nb, которые составляют основную геохимическую ассоциацию металлов в первичных рудах.

Надо отметить, что наши материалы по биогеохимии олова и биогеохимической индикации оловянной минерализации на Дальнем Востоке согласуются с данными других исследователей. Так, Р. С. Климова и др. (1960 г.) определили олово в количестве от 0,001 до 0,04% в растениях на рудопоявлениях с касситеритовой минерализацией, находящихся в зоне лесостепи (табл. 32). Показательно, что повышенные концентрации олова отмечены в спирее средней, орляке обыкновенном, вике приятной, полыни жертвенной, которые и по нашим данным являются концентраторами олова. В количестве 0,001—0,0005% олово установлено (помимо указанных в табл. 32) в растениях: полынь обыкновенная, вика мышиная, ландыш маньчжурский, чина низкая, чемерица черная, лапчатка земляничная, шалфей сорный, многоножка обыкновенная, дурнишник зобатый, лабазник дланевидный, василистник китайский, хлорант японский, софора желтеющая, камыш трехгранный, ива корзиночная. Олово на рудных объектах содержится в основном в травянистых растениях, что обусловлено растительными ассоциациями данной ландшафтной зоны. Степень накопления металла значительна, в 20—60 раз выше кларка в растениях. Отмеченные выше растения, содержащие олово, характерны для зоны лесостепи Дальнего Востока.

В. А. Махинин (1970 г.) провел биогеохимические исследования на оловорудных объектах Приамурья в условиях мерзлотных ландшафтов, где склоны гор покрыты мхами. В таких ландшафтах из-за трудности отбора

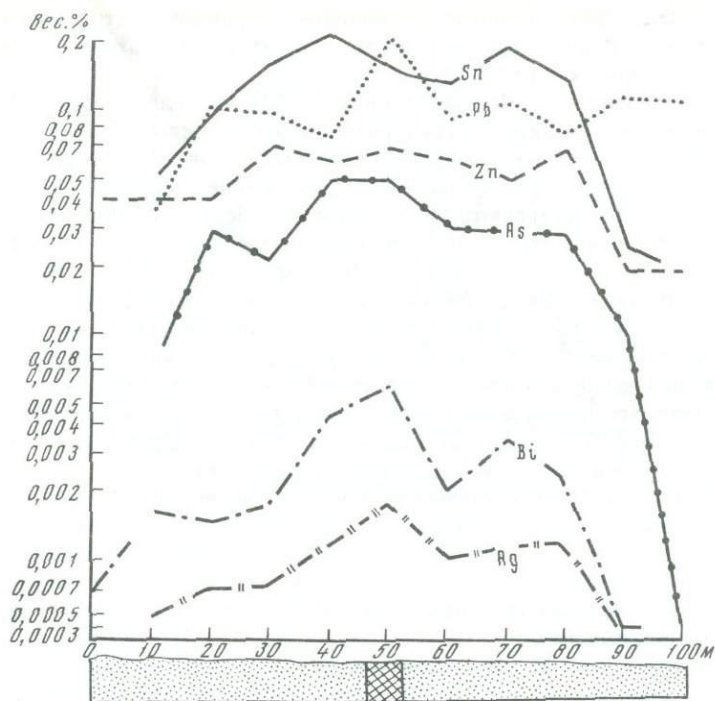


Рис. 32. Распределение химических элементов в золе мхов над оловорудным телом (по В. А. Махину, 1970 г.)

проб из почвогрунтов литогеохимическое опробование становится непроизводительным и экономически невыгодным. И, наоборот, хорошие результаты при выявлении гипергенных аномалий олова были получены при биогеохимическом опробовании зеленых мхов (рис. 32). Рудное тело непосредственно фиксируется достаточно контрастными биогеохимическими аномалиями не только олова, но и его спутниками — четкими биогеохимическими индикаторами оруденения — с наибольшими содержаниями металлов в золе мхов, %: Sn — 0,2, Pb — 0,02, Ag — 0,002, Bi — 0,06, Zn — 0,06, As — 0,05. По заключению В. А. Махина [1971], мхи являются хорошими концентраторами ряда рудных компонентов вследствие их меньшей трансформации по сравнению с высшими растениями, и опробование мхов эффективно не только для оловорудных проявлений, но и для месторождений других металлов. На оловорудных объектах, перекрытых рыхлыми образованиями мощностью больше 3 м, в частности на участке с оловянно-вольфрамо-бериллиевым оруденением, биогеохимическая аномалия олова была зафиксирована по содержанию этого металла в золе березы, дуба, лиственницы, ольхи, осины, лещины. На сульфидно-касситеритовом рудопроявлении рудные тела четко отбивались по содержанию Sn и его спутников — Pb, Zn, Cu, Ag в кедровом стланике, в ели, в березе, а также в осоках и малине. В целом по мнению В. А. Махина [1969], биогеохимический метод поисков рудных месторождений, в том числе и Sn, на Дальнем

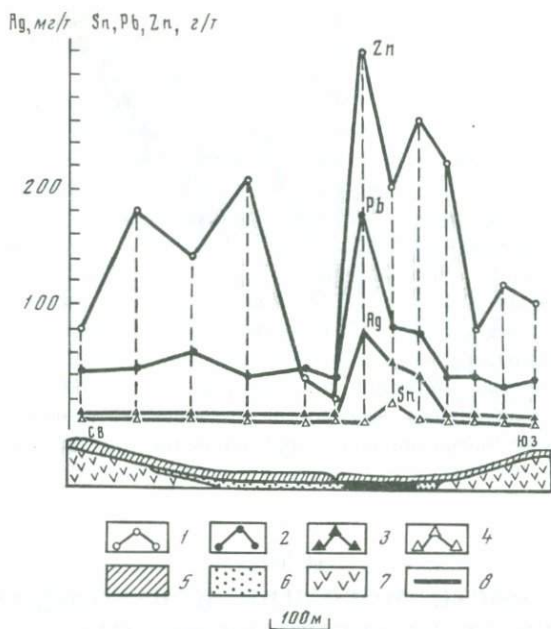
Востоке может найти широкое применение в краевых частях мезозойско-кайнозойских впадин, где мощность аллохтонных рыхлых покровных отложений не превышает 25—30 м.

Н. Е. Васильев и А. Ф. Скрипченко [1972] провели биогеохимические исследования на сульфидно-касситеритовом месторождении Приморья, расположенном в зоне хвойно-широколиственных лесов. В золе растений Sn обнаружен во многих видах с фоновым содержанием 0,0007%. Аномальные концентрации его достигают, %: в кедре корейском — 0,005, пихте белокорой — 0,08, клене желтом — 0,08, березе плосколистной — 0,002, рододендроне сихотэ-алинском — 0,003, в зеленых мхах — 0,01, в бруснике — 0,003, папоротнике орляке обыкновенном — 0,01, малине сахалинской — 0,01. В пределах фона 0,0003—0,0007% Sn обнаружен также в осине. Таким образом, наибольшие содержания Sn в растениях 0,01—0,08%, что в 20—160 раз выше кларка в растениях. По нашим данным, эти растения накапливают Sn примерно в таком же количестве. Следовательно, отмеченные растения можно использовать как объекты опробования при биогеохимических поисках оловорудных месторождений.

Формирование биогеохимических ореолов рассеяния олова и его спутников на зонах оловянной минерализации Приморья отметили Б. А. Колотов и др. [1970]. Эти исследователи подтвердили биогеохимическое значение некоторых растений, накапливающих олово в повышенных количествах, которые можно использовать при биогеохимическом опробовании в процессе поисков оловянных руд.

Как установлено В. М. Питулько [1977], биогеохимические ореолы рассеяния олова формируются в условиях Крайнего Северо-Востока СССР в мерзлотно-таежных ландшафтах, т. е. в криолитозоне, как на коренных месторождениях, так и на касситеритовых россыпях. Например, на местонахождении Барыллыэлах, представленном коренными хлорит-сульфидно-касситеритовыми рудами, контрастность биогеохимических аномалий олова по содержанию его в ветвях лиственницы колеблется от 2 до 10. На касситеритовых россыпях с глубиной залегания промышленного пласта до 10 м В. М. Питулько [1977] установлены, помимо олова, биогенные ореолы рассеяния Pb, Zn, Cu, Ag, Mo, Ni, Co, Mn, В. Например, на рис. 33 изображен биогеохимический ореол рассеяния касситеритовой россыпи по данным определения металлов в золе березки Миддендорфа. Как видно, россыпь четко фиксируется названным растением как по содержанию в нем Sn до 20 г/т, так и его спутников — Zn, Pb, Ag. Проведенная В. М. Питулько [1975] оценка оловянного оруденения по комплексным (лито-, гидро- и биогеохимическим) гипергенным ореолам рассеяния в условиях Крайнего Севера показала, что гидрохимические и биогеохимические аномалии позволяют выделять отдельные рудные тела и с помощью экспрессных методик.

По данным Н. П. Солнцева [1969], олово оказалось хорошим биогеохимическим индикатором рудопроявлений кварц-вольфрамитового типа в условиях горнотаежных мерзлотно-ландшафтов Амурской области. Среднее содержание металла, %: в травах — 0,00496, в ветках березы — 0,00178, в коре лиственницы — 0,00054, в ветках ольхи — 0,0067, в опаде — 0,0011. Установлено, что количества Sn в растениях на участках оруденения находятся в тесной связи с другими металлами-индикаторами на основе значений коэффициентов корреляции: с Zn — 0,81, Cu — 0,79, Y — 0,50, (травы); Mo — 0,43, Co — 0,42, Cr — 0,46, Yb — 0,24, Zr — 0,37



Р и с. 33. Биогеохимический ореол рассеяния металлов над касситеритовой россыпью месторождения Барыллызлах (по В. М. Питулько [1977])

Распределение содержания микроэлементов по профилю в золе ветвей березы Миддендорфа: 1—4 — металлы: 1 — Zn, 2 — Pb, 3 — Ag, 4 — Sn; 5 — солифлюкционно-делювиальные отложения; 6 — аллювиальные отложения; 7 — коренные породы; 8 — касситеритовая россыпь

(кора лиственницы); Ni — 0,29 (ветки березы); Ba — 0,39 (ветки ольхи); Pb — 0,37, Y — 0,43 (опад). Связь с другими металлами — Be, Ag, W, Bi, As — менее тесная. Содержание Sn в почвах 0,00048—0,00186%.

О. В. Рыжов [1983] провел биогеохимические исследования на касситерит-сульфидном месторождении в горном ландшафте темнохвойных лесов Комсомольского рудного района с целью уточнения закономерностей концентрации растениями Sn и его спутников на участке известного оловяродного тела. Главными минералами рудных зон месторождения метасоматитов являются кварц, турмалин, хлорит, карбонаты, серицит, касситерит, а также сульфиды — халькопирит, арсенопирит, пирротин, сфалерит, галенит. В сульфидных минералах установлена примесь олова (%): арсенопирит — 0,28, халькопирит — 0,16, сульфиды железа — 0,014. Наибольшие содержания олова в пробах из ели аянской достигают, %: в хвое — 0,005, в молодых ветках — 0,07, старых ветках — 0,03, в корне — 0,005, древесине — 0,01, коре — 0,01. Содержание других металлов в пробах (%): Pb (0,01—0,2), Cu (0,07—0,2), Ag (0,0001—0,007), Zn (0,2—1,0), В (0,2—0,3), Со (0,0002—0,001), Ni (0,005—0,01). Оказалось, что Sn, Pb, Cu, В концентрируются в молодых ветках, Ag — в древесине, а Zn распределен почти равномерно. В целом по особенностям содержания металлов в органах ели аянской выделяются три группы: 1) базипетальное поглощение — Sn, Pb, Cu, В; 2) акропетальное — Ag; 3) нейтральное — Zn. Как указывает

О. В. Рыжов [1983], такое распределение металлов аналогично распределению, установленному П. В. Ивашовым [1976в] на сульфидно-касситеритовом месторождении. По биогеохимическому профилю высокие содержания Sn — до 0,002—0,01% при фоне 0,001% в растениях отмечаются в пределах рудного блока над зонами оловосодержащих метасоматитов. Четкие биогеохимические аномалии в растениях на этом участке дают и Pb с содержанием до 0,01% при фоне 0,005% и Zn — 0,5% (аномалия) и 0,2% (фон). Как и в наших случаях, наиболее высокая контрастность биогеохимических аномалий характерна для Sn, и это связано с минимальной миграционной способностью Sn по сравнению с другими металлами, контрастность аномалий которых ниже вследствие большей склонности их (например, Zn, Ag, Cu и др.) к рассеянию. По заключению О. В. Рыжова [1983], наиболее информативным металлом в растениях на сульфидно-касситеритовом типе минерализации является Sn, который дает узкие локальные биогеохимические ореолы рассеяния над зоной оруденения и четкие контрастные биогеохимические аномалии непосредственно над рудными телами.

ГЛАВА 3

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИГРАЦИИ И НАКОПЛЕНИЯ ОЛОВА В БИООБЪЕКТАХ НА ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Биогеохимические исследования, проведенные на оловорудных месторождениях разного генетического типа в различных ландшафтно-климатических и горно-геологических условиях, позволили выявить общие закономерности миграции и накопления олова в биообъектах — почвах и растениях.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ОЛОВА В ПОЧВАХ

Большинство оловорудных месторождений и рудопроявлений, на которых проведены биогеохимические исследования, находятся в горных районах Дальнего Востока. Поэтому по современной номенклатуре [Розанов, 1974; Добровольский, Урусевская, 1984] основными почвами, развитыми на участках минерализаций, являются буроземы и их разновидности, формирующиеся в зонах хвойно-широколиственных, темнохвойных и светлохвойных лесов. В частности эти почвы широко распространены на территории восточного и западного склонов Сихотэ-Алиня в пределах хребтов Малого Хингана, Мяо-Чана, Баджала, Джэгды, Тукурингры, на останцовых сопках Ханкайской, Среднеамурской, Зейско-Бурейской равнин и окружающих их горных сооружений [Ковда и др., 1957; Ливеровский, 1969]. В южной части своего ареала буроземы распространяются на территорию п-ова Корея и Китая, формируясь в горах Большого Хингана, Маньчжурии и сопредельных горных регионов [Ковда, 1959].

Естественно, что ареал распространения буроземов захватывает и площади оловорудных месторождений в пределах горной части юга Дальнего

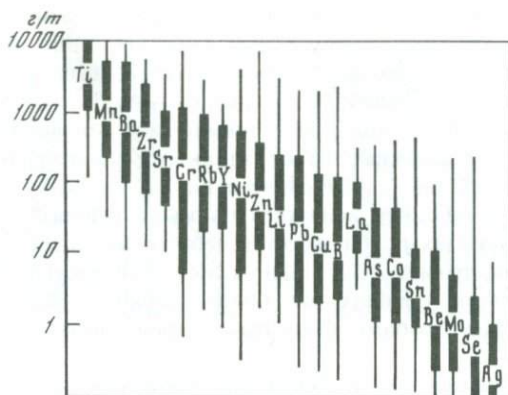


Рис. 34. Пределы содержания олова и других микроэлементов в нормальных минеральных почвах (по Р. Л. Митчеллу [Mitchell, 1972])
Тонкими линиями показаны нетипичные содержания микроэлементов

Востока [Ивашов, 1976в]. Следовательно, при биогеохимических исследованиях в пределах названного региона опробованию подвергались эти почвы. При будущих биогеохимических и геохимических поисках оловорудных месторождений на перспективных участках указанные почвы также будут объектом опробования. Поэтому установление закономерностей содержания и распределения в них олова имеет большое значение.

Изучение геохимии олова в почвах оловоносных районов нашей страны имеет не только важное прикладное, но и большое научное значение, поскольку сведений об особенностях накопления этого металла в почвах пока очень мало. Достаточно отметить, что почти 30 лет назад И. И. Гинзбург [1957], рассматривая вопросы геохимических поисков оловорудных месторождений, писал: «Данных о содержании этого металла в почвах Советского Союза не имеется» [Гинзбург, 1957, с. 189]. Полученные нами первые оригинальные сведения по обширному дальневосточному региону нашей страны в какой-то степени восполняют этот пробел в знаниях о геохимии олова в зоне гипергенеза.

Кларк олова в почвах, по А. П. Виноградову [1957], равен 0,001%. По-видимому, это верхний предел концентрации олова в минеральных почвах, сформированных на плотных коренных породах с фоновыми содержаниями олова. По данным Р. Л. Митчелла [Mitchell, 1972], пределы содержания олова как элемента-примеси в нормальных минеральных почвах 0,0001—0,001%. Большие содержания этого металла характерны для почв, сформированных на породах с оловянной минерализацией. Содержание олова и других элементов-примесей в нормальных минеральных почвах приведено на рис. 34. Как видно из диаграммы, концентрация Sn в почве свыше 0,0001% сопровождается разнообразной геохимической ассоциацией в виде примеси аксессуарных металлов.

Опыт изучения буроземов показывает, что они в первом приближении состоят из трех генетических горизонтов: верхнего — А, нижележащего иллювиального — В и переходного — 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 — A_2 . Иллювиальный горизонт В наиболее уплотнен и содержит повышенное количество глинистых и илестых частиц. В зависимости от характера уплотнения и морфологических особенностей он подразделяется на B_1 , B_2 , B_3 и т. д. Переходный горизонт ВС, находящийся в нижней части почвенного профиля, на границе почвообразующих пород, несет в себе те же признаки привноса минеральных частиц, что и горизонт В, но в силу его непосредственной близости к почвообразующим породам он более щебнист. Мелкозем заполняет пространство между глыбами выветрелых пород и имеет в нем подчиненное значение.

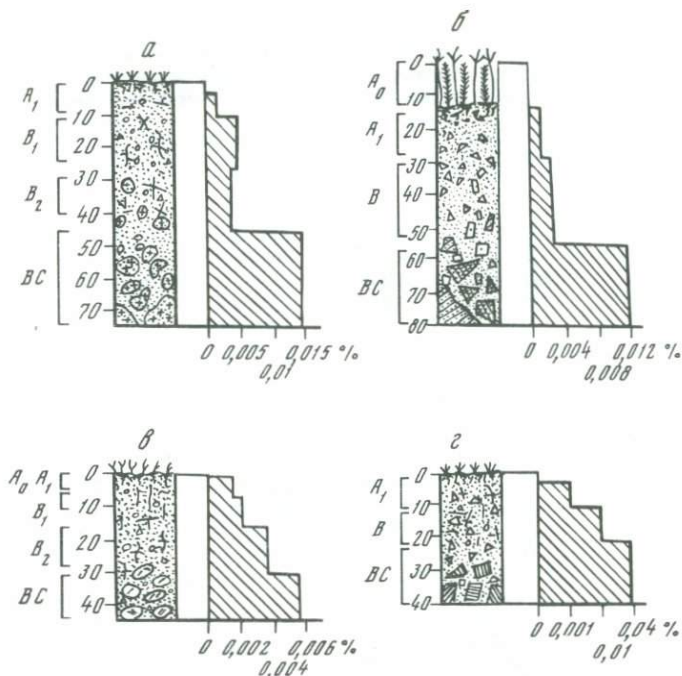
Изучение геохимии Sn в буроземах показало, что для каждого из генетических горизонтов характерно особое количественное содержание металла. Так, наибольшие концентрации Sn до 0,4% приурочены к нижней части почвенного профиля — в составе горизонта ВС и обусловлены наличием в нем повышенных количеств микрообломков первичного касситерита (рис. 35). Спутниками Sn в этом горизонте являются также слабоподвижные металлы — Zr, Be, V, Cr, находящиеся в составе микрообломков собственных устойчивых минералов — циркона, берилла, хромита и др. Весьма характерны для горизонта ВС и полиметаллы — Cu, Zn, Pb, также спутники Sn, но их максимальные количества в почвах в этом горизонте обусловлены безминеральной формой вследствие сорбции гидроксидами железа и марганца, а также глинистыми частицами.

Содержание Sn в иллювиальном горизонте В несколько меньше, чем в ВС, но и иногда достигает 0,2%, что в 200 раз больше кларка в почвах по А. П. Виноградову [1957]. Спутниками Sn в этом горизонте почв являются Ni, Co, V, Ga, Ba, содержащиеся здесь в повышенном количестве за счет сорбции глинистыми и илестыми частицами, наибольшее количество которых, по данным механического анализа, как правило, приурочено к горизонту В.

Заметные количества Sn имеются в верхнем гумусовом горизонте А (до 0,005%, а в отдельных пробах — до 0,02%); хотя они значительно меньше, чем в нижележащих генетических горизонтах, тем не менее это свидетельствует о биогеомном накоплении Sn. Хорошим спутником Sn в этом горизонте является Mn, который вследствие своей высокой биогенности склонен накапливаться в гумусовом горизонте, что отметили еще А. П. Виноградов [1957] и Д. П. Малюга [1963].

Таким образом, независимо от генетического типа оруденения и рудовмещающих пород олово в буроземах обнаруживает четко выраженную тенденцию максимально накапливаться в горизонте ВС и минимально — в горизонте А, т. е. наблюдается постепенное увеличение концентрации металла от верхнего горизонта к нижним.

Весьма характерно, что эта закономерность сохраняется в различных ландшафтных (лесо-растительных) и орографических условиях местности, в почвах, сформированных как в элювиальных, так и в делювиальных условиях (табл. 33). Например, содержание Sn в верхней части почвенных разрезов в гумусовом горизонте A_1 в 12—14 раз меньше, чем в наиболее богатом переходном к коре выветривания генетическом горизонте ВС. Эта особенность максимального накопления Sn в горизонте ВС бурых лесных



Р и с. 35. Распределение содержания олова в мелкоземе (фракция меньше 1,0 мм) по генетическим горизонтам разрезов почв, сформированных на плотных кристаллических породах с оловянной минерализацией

Разрезы: а — В I № 5 на гранодиоритах (касситерит-полиметаллическое рудопоявление), б — ТI № 1 на песчаниках (сульфидно-касситеритовое месторождение), в — КI № 6 на кварцевых порфирах (кварц-касситеритовое месторождение), г — АI № 8 на алевролитах (сульфидно-станнино-касситеритовое месторождение)

почв прослеживается во всех современных корах выветривания, сформированных на различных оловосодержащих породах — на эффузивных, интрузивных, осадочных и т. д.

Глубина залегания генетического горизонта BC в разных ландшафтных зонах оловорудных районов Дальнего Востока различна 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 BC 25—55 см (кварц-касситеритовое месторождение), а в таких же ландшафтных условиях, но в почвах и в современной коре выветривания, сформированной на гранодиоритах (касситерит-полиметаллическое рудопоявление) — 40—80 см и более. При прочих равных условиях в водораздельной части сопок глубина залегания горизонта BC в почвах, сформированных на гранодиоритах, значительно меньше, чем в нижней, выположенной части склонов.

Эти данные имеют большое значение для разработки научных основ не только биогеохимического, но и литогеохимического метода поисков оловянных руд. Особенно они важны для оценки горизонта BC как пи-

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

Разрез	Горизонт	Глубина отбора, см	Sn, %	Тип оловянного оруденения	Место заложения почвенного разреза
В I № 5	A ₁	5—10	Следы	Касситеритово-полиметаллическое рудопроявление в гранодиоритах	Верхняя часть склона сопки (участок широколиственных лесов)
	B ₁	22—27	0,005		
	B ₂	38—45	0,004		
	BC	66—75	0,015		
В I № 10	A ₁	3—10	0,0009	То же	Нижняя часть склона сопки (там же)
	B ₁	20—26	0,0048		
	B ₂	48—56	0,0048		
	BC	87—92	0,0130		
К I № 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	0,028		
	B ₂	25—30	0,030		
	BC	40—45	0,360		
К I № 27	A ₀ A ₁	0—10	Следы	То же	Верхняя часть склона сопки (там же)
	B ₁	10—22	«		
	B ₂	22—35	«		
	BC	35—55	0,36		
Т I № 1	A ₁	17—25	0,0009	Судьфидно-касситеритовое оруденение в алевродитах и песчаниках	Средняя часть склона сопки (зона темнохвойных лесов)
	B	35—50	0,0020		
	BC	65—80	0,0120		

тающего слоя корневых систем растений и, в конечном счете, формирования биогенных ореолов рассеяния олова.

Для подтверждения зависимости степени накопления олова в почвах от почвообразующих пород был применен метод изоволюметрии или метод абсолютных масс [Лисицына, 1973]. С этой целью весовые процентные содержания металла пересчитывались на абсолютное содержание с учетом объемного веса образцов почв каждого генетического горизонта. Результаты пересчетов на содержание олова (в мг/см³) приведены в табл. 34. Оказалось, что общая 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 В I № 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 0,345 мг/см³, а в горизонте BC — 0,420 мг/см³, т. е. несколько больше. Действительно, сравнивая морфологию горизонтов A₂ и BC, можно заметить, что они имеют различные генетические особенности: горизонт A₂ — рыхлый, наиболее выщелочен, осветлен, содержит относитель-

Оценка степени накопления Sn в бурых лесных почвах, образованных на различных оловосодержащих породах с учетом плотности (объемного веса) генетических горизонтов

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Sn, %	Плотность, г/см ³	Sn, мг/см ³
К I № 20 (кислые магматические породы)	A ₁	0—10	0,002	1,05	0,0210
	B ₁	10—25	0,008	1,15	0,0920
	B ₂	25—35	0,010	1,24	0,1240
	BC	35—55	0,030	1,50	0,4500
В I № 21 (средние магматические породы)	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
А I № 13 (терригенные породы)	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
Т II № 3 (терригенные породы)	A ₁	5—20	0,010	1,05	0,1050
	B ₁	20—35	0,020	1,10	0,2200
	B ₂	35—60	0,030	1,15	0,3450
	BC	60—90	0,040	1,50	0,6000

но мало глинистых частиц; горизонт BC имеет преимущественно иллювиальное происхождение, в нем накапливаются глинистые частицы и подвижные гидрооксиды железа, алюминия и кремнезема, вследствие чего он более уплотнен. Следовательно, по генетической сущности горизонт BC более предрасположен к накоплению в нем олова, чем горизонт A₂, особенно если учитывать гравитационный фактор — вертикальное перемещение по почвенному разрезу микрообломков касситерита — устойчивого минерала со значительным удельным весом [Ивашов, 1979а].

Таким образом, тенденция накопления олова в нижней части почвенных разрезов на разных в петрографическом отношении оловосодержащих породах хорошо выявляется как по весовым, так и по объемным содержаниям металла в генетических горизонтах и контролируется буроземным процессом почвообразования [Ивашов, 1982б].

Такое распределение олова в минеральных почвах в первом приближении соответствует модели А. Левинсона [1976], изображенной на рис. 36. Как следует из этой модели, площадь распространения металла в верхнем горизонте почв значительно шире, чем площадь самого месторождения (рудного тела), а содержание его меньше, чем в нижележащих генетических горизонтах В, BC, С. Поэтому в большинстве случаев, исходя из поисковых целей и экономии средств и времени целесообразнее опробовать почвы по горизонтам В или BC. Впрочем, как было показано, в условиях оловорудных полей Дальнего Востока опробование верхнего гумусового горизонта А также дает положительные результаты в фиксировании аномалий олова.

Т а б л и ц а 35

**Распределение валового содержания Sn по фракциям мелкозема генетических горизонтов
бурых лесных почв на оловорудных объектах, %**

Разрез и генетический тип оруденения	Горизонт	Глубина, см	Фракция, мм					
			1,0—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001
Т I № 1, сульфидно- касситеритовый	<i>A</i> ₁	13—30	0,5	0,5	0,2	0,005	0,005	0,005
	<i>B</i>	30—35	0,5	0,5	0,1	0,01	0,01	0,005
	<i>BC</i>	55—80	0,5	0,6	0,1	0,003	0,005	0,01
К I № 6, кварц-касситери- товый	<i>A</i> ₀ <i>A</i> ₁	0—5	Не опр.	0,005	0,001	0,001	0,0003	0,0003
	<i>B</i> ₁	5—15	«	0,1	0,003	0,001	0,001	0,001
	<i>B</i> ₂	15—30	«	0,08	0,005	0,001	0,0005	0,0005
	<i>BC</i>	30—46	«	0,07	0,005	0,001	0,001	0,0003
А I № 8, сульфидно-стан- нино-касситеритовый	<i>A</i> ₀ <i>A</i> ₁	0—10	0,0003	0,002	0,0003	0,0003	0,0005	0,0003
	<i>B</i>	10—20	0,03	0,02	0,001	0,001	0,0003	0,0005
	<i>BC</i>	20—40	0,03	0,01	0,001	0,001	0,0008	0,0005
В I № 21, касситерит- полиметаллический	<i>A</i> ₀ <i>A</i> ₁	0—10	Не опр.	0,001	0,001	0,0005	0,001	—
	<i>A</i> ₂ <i>B</i>	10—40	«	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001
	<i>BC</i>	40—60	«	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
	<i>C</i>	60—70	«	—	—	0,002	0,001	0,001

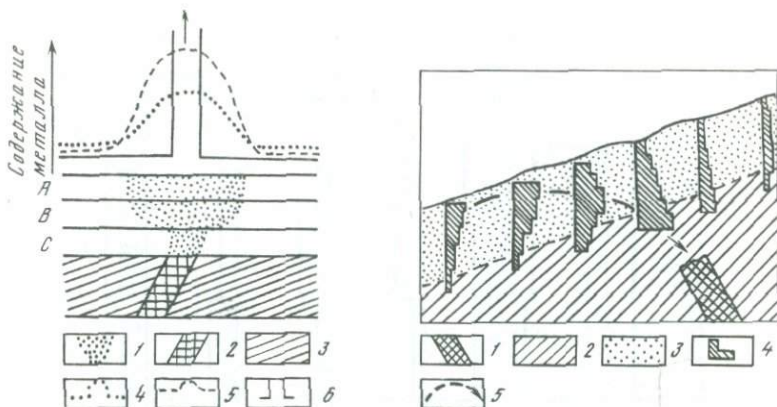


Рис. 36. Модель вторичного ореола рассеяния металла в почвенных генетических горизонтах на равнинном участке местности (по А. Левинсону [1976])

1 — конфигурация вторичного ореола рассеяния металла в почвенных горизонтах по вертикали; 2 — рудная жила; 3 — рудовмещающие породы; 4—6 — кривые распределения металла в почвенных горизонтах А—С: 4 — в горизонте А, 5 — в горизонте В, 6 — в горизонте С

Рис. 37. Модель прогноза местоположения коренного оруденения на основе изучения распределения металла с глубиной в почвогрунтах на склоне (по Хоксу и Уэббу [1964])

1 — рудное тело; 2 — рудовмещающие породы; 3 — остаточные покровные образования; 4 — распределение содержания металла в разрезах шурфов; 5 — направление изменения максимального содержания металла в почвенных горизонтах вверх по склону по мере приближения к рудному телу

Однако модель А. Левинсона [1976] описывает распределение тяжелых металлов, и в частности олова, по генетическим горизонтам в почвах на равнинных участках местности. На склонах значительной крутизны в связи с перемещением делювиального материала и, следовательно, минерального вещества генетических горизонтов почв процесс перераспределения олова более реально отображается моделью Х. Е. Хокса и Дж. С. Уэбба [1964], представленной на рис. 37, из которого видно, что наибольшее содержание металла вниз по склону от рудного тела постепенно смещается от горизонта ВС через горизонт В к горизонту А. В то время как выше по склону за пределами рудного тела содержание металла в почвенных горизонтах — в пределах фона. Такое распределение металла имеет большое значение в интерпретации установленной почвенной аномалии и, в конечном счете, в выявлении местоположения рудного тела.

Изучение содержания Sn по гранулометрическому спектру мелкозема почв показало, что практически независимо от генетического типа оруденения с зернистым касситеритом в каждом генетическом горизонте наблюдается постепенное уменьшение содержания металла от крупных фракций к мелким (табл. 35). В частности, на сульфидно-касситеритовом месторождении максимальная концентрация Sn — до 0,6% — отмечается в крупных фракциях мелкозема — 1,0—0,25 и 0,25—0,05 мм, а минимальная — в илистых и глинистых частицах, т. е. во фракциях 0,01—0,005 и 0,005—0,001 мм и меньше (рис. 38). При этом наибольшее количество Sn во всех фракциях характерно для горизонта ВС и частично В по сравнению

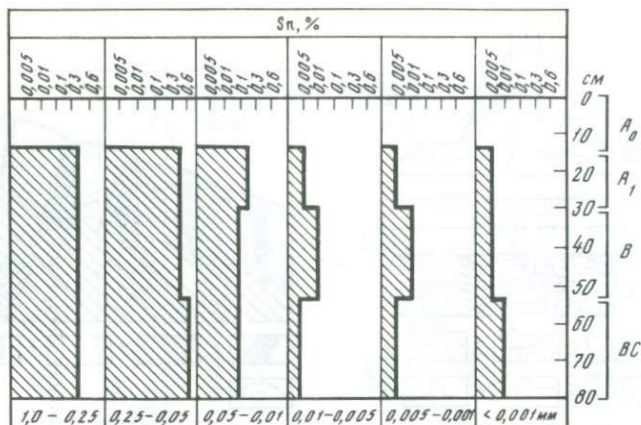


Рис. 38. Распределение содержания олова по фракциям мелкозема генетических горизонтов буро-таежных иллювиально-гумусовых почв (разрез Т I № 1, сульфидно-касситеритовый тип минерализации)

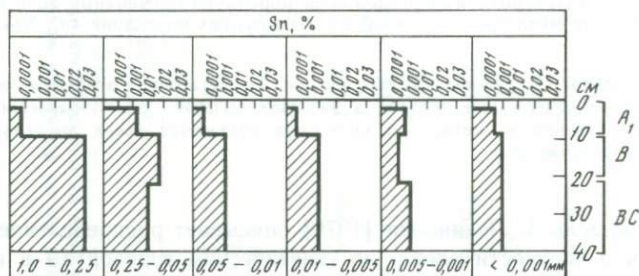


Рис. 39. Распределение содержания олова по фракциям мелкозема генетических горизонтов бурых горно-лесных почв (разрез А I № 8, сульфидно-станнино-касситеритовый тип минерализации)

с горизонтом A_1 . Аналогичная картина распределения Sn по фракциям мелкозема почв имеет место на сульфидно-станнино-касситеритовом (рис. 39) и кварц-касситеритовом (рис. 40) месторождениях.

Исключение составляют лишь рудопроявления с тонкодисперсным касситеритом, на которых максимальные содержания Sn отмечаются в мелких фракциях мелкозема почв — 0,01—0,005 мм и меньше, например на рудопоявлении касситерит-полиметаллического типа. При этом весьма характерно, что за пределами рудных зон распределение Sn во фракциях мелкозема генетических горизонтов почвы практически равномерное, с содержанием не более 0,002% (рис. 41).

Надо отметить, что в любом случае независимо от генетического типа оруденения содержание Sn в почвах, в том числе и в биогенном гумусовом горизонте, зависит от интенсивности оловянной минерализации. Поэтому не случайно количество Sn в мелкоземе почв варьирует в широких пределах: от 0,0001% (чувствительность анализа) до 0,6% [Ивашов, 1981в].

Обобщая материалы по геохимии Sn в почвах, полученные при биогео-

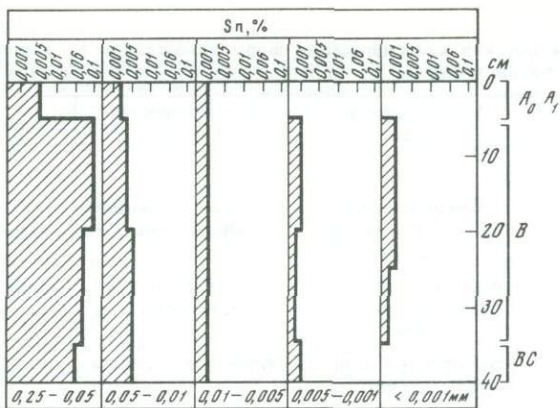


Рис. 40. Распределение содержания олова по фракциям мелкозема генетических горизонтов бурых горно-лесных почв (разрез К I № 6, кварц-касситеритовый тип минерализации)

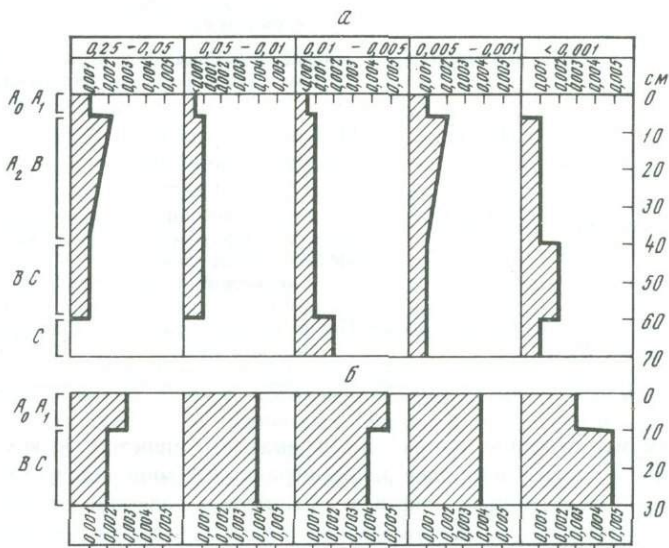


Рис. 41. Распределение содержания олова по фракциям мелкозема генетических горизонтов бурых лесных почв на участке касситерит-полиметаллического типа минерализации (а — разрез № 21 — за пределами рудной зоны, б — разрез № 0 — над рудной зоной)

химических исследованиях на разнообразных в генетическом отношении оловорудных месторождениях и рудопроявлениях, можно отметить, что наличие этого металла в почвах обусловлено в основном различными геохимическими процессами, протекающими в зоне гипергенеза, а именно: биогенными, гидрогенными, сорбционными и т. д. В результате проявления этих процессов образуются соответствующие минеральные гипергенные про-

**Генетическая классификация форм нахождения Sn в почвах
на оловорудных месторождениях и рудопроявлениях**

Форма	Разновидности форм	Объекты аккумуляции Sn	Процесс
Минеральная	Микрообломки первичного касситерита	Крупные фракции мелкозема	Механическая дезинтеграция
	Агрегаты вторичных минералов олова	Мелкие фракции мелкозема	Синтез гипергенных минералов
	Выветрелые агрегаты станнина	Глинистые частицы	Окисление
Безминеральная	Биогенная	Лесная подстилка и гумусовый горизонт	Биогеохимический круговорот
	Сорбционная	Глинистые частицы, гидроокислы железа, марганца, алюминия, кремнезема	Адсорбция Абсорбция
	Коллоидная	Органо-минеральные коллоиды	Коллоидообразование, гидролиз, гидратация
	Ионная	Простые и комплексные ионы в почвенно-грунтовых водах	Растворение
	Изоморфная	Обломки гипогенных рудных и породообразующих минералов в мелкоземе	Механическое и химическое выветривание
Самородная	Самородное олово	Почвенно-поглощающий комплекс	Выветривание базальтов

дукты, аккумулирующие олово как в виде его простых и комплексных ионов, так и в составе наиболее распространенных минералов — касситерита, продуктов окисления станнина, в том числе и новообразованных гипергенных — варламовита, гидрокасситерита, кёсетерита и др. Поэтому не случайно на объектах биогеохимических исследований олово присутствует в растениях, в гумусовом горизонте почв, в грунтовых водах, в гидрооксидах железа и марганца, в глинистых частицах, в органо-минеральных коллоидах, в составе микрообломков касситерита, в качестве изоморфной примеси в рудных и породообразующих минералах и т. д. [Ивашов, 1982б]. Эти факты указывают на то, что в зоне гипергенеза, и в частности в почвах, олово находится в самых разнообразных формах (табл. 36). Например, наличие сорбционной формы нахождения олова, связанной с окислами железа, подтверждается положительной корреляционной связью этих компонентов с коэффициентом корреляции до 0,70, установленной, как было показано выше, в почвах на сульфидно-касситеритовом месторождении.

Следует особо подчеркнуть сорбцию олова органическим веществом почв

**Размер микрообломков касситерита в почвах по данным шлихового анализа
на участках оловянной минерализации разного генетического типа**

Генетический тип минерализации	Размер зерен касситерита, мм
Кварц-касситеритовый	0,01—0,5
Сульфидно-касситеритовый	0,1—0,8
Сульфидно-станнино-касситеритовый	0,15—0,60
Касситерит-полиметаллический	0,2—0,4
Касситерит-скарновый	0,1—0,8
Касситерит-пегматитовый	0,10—0,55
Касситерит-редкометалльный	0,1—0,5
Касситерит-хлоритовый*	0,1—0,5(I) 0,01—1,0(II) 0,007—0,01(III)
Касситерит-турмалиновый	0,01—0,10
Касситерит-вольфрамит-турмалиновый	До 0,5—1,0
Касситерит-грейзеновый	До 1,0
Касситерит-вольфрамитовая россыпь	0,1—0,8

* Различная зернистость касситерита в зависимости от стадий минерализации по определению размера зерен в первичных рудах.

и современных пресноводных осадков в целом, что показано на ряде примеров [Манская, Дроздова, 1964; Дегенс, 1967; Degens et al., 1957; Green, 1959]. Кроме того, в литературе описана геохимическая миграция олова непосредственно в процессе сорбции его в обстановке образования углей, с органическим веществом которых этот элемент образует металло-органические комплексные (хелатные) соединения [Zubovic et al., 1961].

Практически все указанные формы нахождения олова распространены в почвах на оловорудных месторождениях Дальнего Востока. Могут отсутствовать лишь те формы, которые связаны с гипергенным изменением станнина, если его нет в первичных рудах. Каждая форма вносит свой вклад в общее валовое содержание олова в целом в мелкоземе почв и в его отдельных фракциях. Несомненно, преобладающей является минеральная форма, в частности разновидность, связанная с микрообломками касситерита, что обусловлено присутствием зерен этого минерала в первичных коренных рудах (табл. 37).

Существенное значение в балансовой модели валового содержания олова в почвах, особенно на месторождениях со станнином, имеет и безминеральная форма, в частности сорбционная, связанная с фиксацией этого металла оксидными соединениями железа, марганца и других элементов, а также глинистыми частицами, например монтмориллонитом [Mulligan, 1978].

Составленная генетическая классификация форм нахождения олова в почвах имеет важное значение для понимания геохимических процессов миграции и накопления этого элемента в зоне гипергенеза.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ОЛОВА В РАСТЕНИЯХ

Биогеохимические исследования, проведенные на разнообразных в генетическом отношении оловорудных месторождениях и охватывающие практически все известные в настоящее время минеральные типы, впервые показали, что олово накапливается в растениях — представителях всех ландшафтных (лесорастительных) зон Дальнего Востока, начиная от тундры на Крайнем Северо-Востоке и кончая лесостепью Южного Приморья. Это было доказано несмотря на исключительно слабую геохимическую подвижность касситеритовой формы нахождения олова в зоне гипергенеза, что в свое время особо подчеркивал А. Е. Ферсман [1959], который по поводу химического выветривания касситерита писал: «Многочисленные споры в литературе о возможности химической миграции SnO_2 в гипергенной обстановке кончились полным отказом от этих предположений... Мы склонны думать, что в гипергенных процессах эти явления не имеют места» [Ферсман, 1959, с. 242].

Следовательно, можно утверждать, что накопление олова растениями возможно во всех природных зонах региона, отраженных на схеме ботанико-географической зональности советского Дальнего Востока, составленной Б. П. Колесниковым [1955]. Это положение имеет принципиальное значение для биогеохимии олова вообще и в частности непосредственно для биогеохимических поисков оловорудных месторождений.

Вполне возможно, что уровни содержания олова в растениях и почвах природных и антропогенных ландшафтов Дальнего Востока могут быть своего рода показателями загрязнения окружающей среды под влиянием процессов техногенеза. Поэтому не случайно среди современных биогеохимических проблем Л. В. Таусон [1983б] выделил две главные — охрана окружающей среды и повышение продуктивности биосферы. Отсюда можно сделать заключение, что рассматриваемые вопросы накопления олова в растениях имеют не только важный прикладной поисковый аспект, но и большое научно-теоретическое и методическое значение в целом для биосферы [Ковда, 1974, 1985].

Для каждой ботанико-географической зоны Дальнего Востока установлены растения — локальные концентраторы олова, помимо тех видов, которые содержат этот металл в пределах местного регионального фона 0,001% и кларка — 0,0005%. Однако имеются некоторые свои особенности накопления олова в растениях каждой ландшафтной зоны.

Так, в тундровой зоне (касситеритовые и касситерит-хлоритовые жилы) основными концентраторами олова являются мхи и лишайники: сфагновые мхи и кустистые ягели — олений мох, кладонии альпийская и лесная и др., а также различные виды карликовых берез, в частности березка Миддендорфа, накапливающие элемент до 0,005%.

В лесотундровой зоне (касситеритовые россыпи) концентраторами олова — до 0,002—0,005% — являются лиственница даурская, различные виды карликовых берез, кедровый стланик, мхи, лишайники, а также некоторые виды травянистых растений — вейник Лангсдорфа, осоки.

Широко распространены растения-концентраторы олова в зоне хвойных лесов, установлены они во всех ее четырех подзонах — предтундровых редколесий, северной, средней и южной.

В подзоне предтундровых редколесий (касситерит-сульфидные проявле-

ния) основным растением-концентратором олова до 0,001—0,002% является лиственница даурская, а также кедровый стланик, багульники, ерниковые березы, брусника, сфагновые мхи и ягели.

В северной подзоне зоны хвойных лесов (касситерит-вольфрамитовая россыпь) установлены наиболее характерные концентраторы олова — лиственница даурская, кедровый стланик, осина, рододендрон золотистый, багульник крупнолистный, спирея березолистная, брусника, ягель и др. Они содержат олово до 0,005%, что в 10 раз больше кларка, и по распространенности составляют растительно-ландшафтную основу данной подзоны.

В средней подзоне (золото-касситеритовая россыпь) хвойных лесов наряду с лиственницей даурской и кедровым стлаником в древостое хвойных занимают и накапливают олово до 0,02% (что в 40 раз выше кларка в растениях) ель аянская и пихта белокорая, а также береза Эрмана (каменная), багульник крупнолистный, вейник Лангсдорфа, кукушкин лен (политрихум обыкновенный) и др.

Большое число видов растений-концентраторов олова установлено в южной подзоне (сульфидно-касситеритовое и касситерит-турмалиновое месторождения) зоны хвойных лесов. Эта подзона представлена в основном темнохвойными елово-пихтовыми лесами. Основные концентраторы олова в подзоне среди деревьев и кустарников — ель аянская, пихта белокорая, кедровый стланик, березы ребристая и маньчжурская, клен желтый, осина, ивы сухолюбивая и Бредина, спиреи средняя и березолистная, рябинолистник рябинолистный, бузина сибирская, малина сахалинская, а среди трав и мхов — кипрей узколистный, валерьяна заенсейская, брусника, осоки ланцетная и мечевидная, щитовник буковый, плаун можжевельниковый, политрихум обыкновенный, кладония альпийская, хелодиум Бландова. Перечисленные растения накапливают олово от 0,002 до 0,1%, что в 4—200 раз больше кларка в растениях по А. П. Виноградову [1954].

Пожалуй, наибольшее число видов, концентрирующих олово, встречено в зоне хвойно-широколиственных (смешанных) лесов с ее подзонами: северной, средней и южной.

Так, в северной подзоне (кварц-касситеритовое и касситерит-хлоритовое месторождения) олово в количестве 0,002—0,06% концентрируют: кедр корейский, ель аянская, пихта белокорая, лиственница даурская, березы маньчжурская и ребристая, липа амурская, тополь душистый, ивы сухолюбивая и Бредина, жимолость Максимовича, чубушник тонколистный, аралия маньчжурская, рябинолистник рябинолистный, малина сахалинская, спирея средняя, кипрей узколистный, дудник гладкий, вейник Лангсдорфа, щитовник Линнея, вальдштейния тройчатая, хилокомиум. Однако наилучшими концентраторами олова являются полынь побегоносная, осоки (маньчжурская, ланцетная, уссурийская и мечевидная) и зеленые мхи (политрихум обыкновенный и мниум остроконечный), в золе которых содержится олова от 0,1 до 0,3%, что в 200—600 раз больше кларка в растениях. Особенностью накопления олова в растениях данной подзоны является преобладание акропетального поглощения [Сабинин, 1955], т. е. концентрирование металла в старых органах растений — в коре, в древесине и в корнях деревьев и кустарников, например в коре кедра корейского, берез ребристой и маньчжурской, липы амурской; в древесине ели аянской, пихты белокорой, тополя душистого, ивы Бредина, бархата амурского; в корнях шиповника иглистого, жимолости Максимовича, чубушника тонколистного, элеутерокок-

ка колючего, аралии маньчжурской, рябинолистника рябинолистного, малины сахалинской.

В средней подзоне зоны смешанных хвойно-широколиственных лесов (сульфидно-станныно-касситеритовое месторождение) олово в количестве 0,001—0,005% содержится в липе амурской, в лещине разнолистной, в жимолости Максимовича, в спирее средней, в рододендроне мелколистном, в актинидии коломыкты, в страусопере германском. Однако в наибольшей концентрации — 0,01—0,04% металл отмечен в кедре корейском, в ели аянской, березе ребристой, клене желтом, чубушнике тонколистым, в зеленых мхах, что в 20—80 раз больше кларка в растениях. В этой подзоне для деревьев и кустарников доминирует базипетальное поглощение олова, т. е. накопление его в молодых органах, в частности в хвое кедр корейского, пихты белокорой, ели аянской, в листьях клена желтого, лещины разнолистной, актинидии коломыкты, березы ребристой.

Южная подзона хвойно-широколиственных лесов занимает на Дальнем Востоке Южное Приморье. В этой подзоне (оловосодержащие массивы базальтов) также выявлены растения-концентраторы, содержащие олово от 0,001 до 0,08% (что в 2—160 раз больше кларка): кедр корейский, ель аянская, пихта белокорая, липа амурская, клен желтый, березы ребристая и каменная, осина, граб сердцелистный, жимолость Максимовича, ива Бредина, актинидия коломыкта, виноград амурский, джефферсония сомнительная, майник двулистный, вейник Лангсдорфа, дудник гладкий, папоротники, осоки, зеленые мхи. Для этой подзоны проявляется преимущественно акропетальное поглощение олова, например в древесине кедр, пихты, ели, осине, березах, а также в коре липы амурской.

Важно то, что для всех трех подзон зоны смешанных хвойно-широколиственных лесов характерны одни и те же растения, накапливающие олово. Среди древесных растений к ним относятся: кедр корейский, ель аянская, пихта белокорая, липа амурская, береза ребристая, клен желтый, а для северной и средней подзон — еще и лиственница даурская; среди кустарников — чубушник тонколистый, жимолость Максимовича, лещина разнолистная, ива Бредина, спирея средняя, актинидия коломыкта; из травянистых растений — осоки, папоротники (страусопер германский), зеленые мхи (политрихум обыкновенный и др.). В некоторых растениях этих подзон олово накапливается даже в одних и тех же органах, например в корнях чубушника тонколистого и спиреи средней, в листьях лещины маньчжурской и актинидии коломыкты и т. д. Особенно характерно для всех подзон накопление олова в надземных частях зеленых мхов, в частности политрихума обыкновенного, который значительно больше других растений накапливает этот металл и относится к наиболее четко выраженным растениям-концентраторам.

Необходимо подчеркнуть физиологические особенности накопления олова в разных ландшафтных подзонах зоны хвойно-широколиственных лесов, в частности акропетальное (т. е. в старых органах растений) поглощение деревьями и кустарниками в северной и южной подзонах и базипетальное (накопление в молодых и репродуктивных органах) — в средней подзоне. Какими причинами обусловлена такая особенность накопления олова в органах растений названных подзон, пока не совсем ясно, и объяснить это установленное природное явление сейчас не представляется возможным. По-видимому, оно связано со спецификой природных условий указанных

подзон и, в частности, является следствием климатического фактора, т. е. отражением муссонных черт дальневосточного климата.

Выявлены общие растения-концентраторы олова как для зоны хвойно-широколиственных лесов, так и для южной подзоны зоны темнохвойных лесов. 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.

В зоне широколиственных лесов (касситерит-полиметаллическое и касситерит-пегматитовое рудопроявления) в древесных видах олово обнаружено в березе даурской, ильме сродном, дубе монгольском 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, щитовнике, шпороцветнике, кочедыжнике, в землянике восточной и осоке узколистной. Во всех этих видах металл содержится в количестве от 0,001 до 0,003%, что в 3 раза выше местного геохимического фона и в 6 раз больше кларка в растениях. По сравнению с растениями зон темнохвойных и хвойно-широколиственных лесов содержание олова здесь меньше, что объясняется слабой оловянной минерализацией рудопроявления вообще и как следствие — незначительным содержанием элемента в рудах. Но тем не менее можно отметить, что и в зоне широколиственных лесов олово содержат в основном те же растения, что и в зоне хвойно-широколиственных: береза даурская, ива Бредина, бархат амурский, спирея средняя, малина сахалинская, папоротники и осоки. Однако и здесь есть свои, характерные для данной ландшафтной зоны растения, накапливающие олово: леспедеца двуцветная, ильм сродный, дуб монгольский, земляника восточная и др.

Для кустарников зоны широколиственных лесов характерно накопление олова в корнях, например, леспедецы двуцветной, лещины разнолистной, спиреи средней, чубушника тонколистного, малины сахалинской.

Большое число растений-концентраторов олова выявлено в зоне лесостепи (касситерит-скарновое, касситерит-грейзеновое, касситерит-редкометалльное и сульфидно-касситеритовое рудопроявления и месторождения). В количестве 0,003—0,05% олово обнаружено: в дубе монгольском, березе даурской, леспедеце двуцветной, лещине разнолистной, спирее средней, а также в травах — в вике приятной, клевере люпиновидном, землянике восточной, атрактилодосе овальном, кровохлебке аптечной, гравиланте аллепском, герани Максимовича, подмареннике настоящем, осоке пузыреватой, в полынях (Аржи и жертвенной), папоротниках (луговой и орляк обыкновенный), в спорыше (горец птичий), майнике двулистном и др. Эти количества олова в 6—100 раз больше его кларка в растениях. Кроме названных растений, олово в пределах 0,001% (что в 2 раза выше кларка) содержат травянистые виды, характерные для зоны лесостепи Дальнего Востока: софора желтеющая, купена душистая, мята даурская, ирис одноцветковый, кохия вечная, одуванчик монгольский, мискантус сахароцветный, патрэнния скабиозолистная и др.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что для зон широколиственных лесов и лесостепи характерна большая встречаемость и накопление олова в травянистых растениях, что, собственно, обусловлено спецификой растительных ассоциаций указанных ландшафтных зон. Однако и для

этих зон установлены одни и те же растения, накапливающие олово. Из древесных видов — это дуб монгольский и береза ребристая. Из кустарников — спирея средняя, леспедеца двуцветная, лещина разнолистная. Из трав — земляника восточная, орляк обыкновенный, полыни и осоки. Таким образом, 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 олова. Из кустарников — это 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, мнium, хелодиум и т. д.), в частности политрихума обыкновенного. По нашим данным, практически во всех ландшафтных зонах Дальнего Востока это растение накапливает повышенное количество олова по сравнению с другими растениями-концентраторами. Более того, оно концентрирует олово и за пределами Дальнего Востока, даже там, где нет оловянной минерализации, т. е. накапливает его из пород и почв с кларковым содержанием этого металла. Так, по данным Т. А. Парибок и др. [1966, 1967], в количестве 0,003% олово обнаружено только во мхах, и в частности в политрихуме обыкновенном, произрастающем на породах с кларковым содержанием олова в зоне европейской лесотундры. По данным А. М. Кропачева и Л. А. Брагиной [1966], Р. Г. Ибламинова и А. М. Кропачева [1966] и А. М. Кропачева [1973], зеленые мхи, включая политрихум обыкновенный, накапливают олово на Северном Урале, где оловянной минерализации пока не отмечено. Ю. А. Нечаев и Б. С. Финкель [1963] до 0,05% обнаружили олово в золе торфяников Пермской области, в составе которых есть и зеленые мхи. Е. И. Тараканова [1968] установила наличие олова в зеленых мхах Среднего Урала и Среднего Зауралья.

Следовательно, политрихум обыкновенный, а также и остальные зеленые мхи являются региональными растениями-концентраторами олова или, по терминологии В. В. Ковальского и Н. С. Петруниной [1964], привычными растениями-концентраторами олова по крайней мере во всех ландшафтных зонах умеренного климата северного полушария. Поэтому 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 где имеются многочисленные перспективные участки.

Таким образом, впервые установлено не только широкое распространение олова в растениях на участках с оловянной минерализацией во всех ландшафтных зонах Дальнего Востока, но и выявлены растения-концентраторы этого элемента (табл. 38). В общей сложности олово определено в 131 виде растений, в числе которых 24 вида деревьев, 27 — кустарников, 70 — трав, 10 — зеленых мхов, лишайников и плаунов. Наличие растений-концентраторов олова в пределах всего региона Дальнего Востока является залогом успешных биогеохимических поисков коренных и россыпных оловянных руд различного генетического типа.

При анализе ботанико-географической распространенности растений-концентраторов олова в пределах Дальнего Востока намечается закономерное увеличение их числа в составе деревьев, кустарников, трав и мхов с севера

Т а б л и ц а 38

**Растения, содержащие Sn на оловорудных месторождениях
и рудопроявлениях Дальнего Востока**

№ п/п	Растения и их органы	Содержание Sn (верхний предел), %	
1	Ель аянская (<i>Picea ajanensis</i> Fisch.)	Хвоя	0,03
		Ветви	0,01
		Кора	0,003
2	Пихта белокорая (<i>Abies nephrolepis</i> Max.)	Древесина	0,03
		Хвоя	0,1
		Ветви	0,003
		Кора	0,003
3	Кедр корейский (<i>Pinus koraiensis</i> Sieb.)	Древесина	0,01
		Хвоя	0,03
		Ветви	0,003
		Кора	0,005
4	Лиственница даурская (<i>Larix dahurica</i> Turcz.)	Древесина	0,08
		Хвоя	0,03
		Ветви	0,0005
		Кора	0,003
5	Кедровый стланик (<i>Pinus pumila</i> Rgl.)	Древесина	0,0005
		Хвоя	0,003
		Ветви	0,001
		Кора	0,003
6	Береза маньчжурская (<i>Betula mandshurica</i> Nakai.)	Древесина	0,001
		Листья	0,005
		Ветви	0,001
		Кора	0,03
7	Береза даурская (<i>Betula dahurica</i> Pall.)	Древесина	0,002
		Листья	0,003
		Ветви	0,01
		Кора	0,003
8	Береза ребристая (<i>Betula costata</i> Trantv.)	Древесина	0,003
		Листья	0,003
		Ветви	0,002
		Кора	0,006
9	Береза каменная (<i>Betula ermanii</i> Cham.)	Древесина	0,003
		Листья	0,0005
		Ветви	0,001
		Кора	0,001
10	Липа амурская (<i>Tilia amurensis</i> Rupr.)	Древесина	0,01
		Листья	0,003
		Ветви	0,001
		Кора	0,03
11	Дуб монгольский (<i>Quercus mongolica</i> Fisch.)	Древесина	0,001
		Листья	0,003
		Ветви	0,0005
		Кора	0,0005
12	Осина (<i>Populus tremula</i> L.)	Древесина	0,001
		Листья	0,001
		Ветви	0,001
		Кора	0,003
13	Тополь душистый (<i>Populus suaveolens</i> Fisch.)	Древесина	0,01
		Древесина	0,003
14	Клен желтый (<i>Acer ukundense</i> Trantv.)	Листья	0,03
		Ветви	0,002
		Кора	0,0005
		Древесина	0,001

Т а б л и ц а 38 (продолжение)

№ п/п	Растения и их органы	Содержание Sn (верхний предел), %	
15	Клен мелколистный (<i>Acer mono Maxim.</i>)	Листья	0,002
		Ветви	0,001
		Кора	0,0005
16	Клен бородатожилковый (<i>Acer barbinerve Maxim.</i>)	Древесина	0,001
		Листья	0,0005
		Ветви	0,001
17	Клен зеленокорый (<i>Acer teumentosum Maxim.</i>)	Кора	0,0005
		Древесина	0,0005
		Листья	0,001
18	Ильм сродный (<i>Ulmus propinqua Koidz.</i>)	Ветви	0,0005
		Кора	0,0005
		Древесина	0,0005
19	Бархат амурский (<i>Phellodendron amurense Rupr.</i>)	Листья	0,0005
		Ветви	0,0005
		Кора	0,0005
20	Граб сердцелистный (<i>Carpinus cordata Blum.</i>)	Древесина	0,001
		Ветви	0,001
21	Ясень маньчжурский (<i>Fraxinus mandshurica Rupr.</i>)	Древесина	0,001
22	Ива Бредина (<i>Salix caprea L.</i>)	Листья	0,001
		Ветви	0,005
		Кора	0,0005
23	Ива сухолюбивая (<i>Salix hexophila Flod.</i>)	Древесина	0,03
		Листья	0,02
24	Ива Радде (<i>Solix raddeana Laksch.</i>)	Ветви	0,003
		Ветви	0,0005
25	Мааккия амурская (<i>Maackia amurensis Rupr.</i>)	Листья	0,0005
		Ветви	0,0005
		Кора	0,003
26	Шиповник даурский (<i>Rosa dahurica Pall.</i>)	Древесина	0,001
		Листья	0,001
27	Шиповник иглистый (<i>Rosa acicularis Lindl.</i>)	Корни	0,001
		Листья	0,001
		Ветви	0,003
28	Жимолость Максимовича (<i>Lonicera maximowiczii Rgl.</i>)	Корни	0,003
		Листья	0,001
29	Жимолость горбатая (<i>Lonicera gibbiflora Dippel.</i>)	Ветви	0,002
		Листья	0,001
30	Лимонник китайский (<i>Schizandra chinensis Baill.</i>)	Ветви	0,002
		Побеги	0,001
31	Чубушник тонколистный (<i>Phylodelphus tenuifolius Rupr.</i>)	Листья	0,001
		Ветви	0,004
		Корни	0,01
32	Элеутерококк колючий (<i>Eleutherococcus senticosus Max.</i>)	«	0,001
		«	0,001
33	Актинидия коломикта (<i>Actinidia kolomikta Max.</i>)	Листья	0,001
		Побеги	0,001

Т а б л и ц а 38 (продолжение)

№ п/п	Растения и их органы	Содержание Sp (верхний предел), %
34	Аралия маньчжурская (<i>Aralia mandshurica</i> Rupr.)	Корни 0,006
35	Рябинолистник рябинолистный (<i>Sorbaria sorbifolia</i> A. Br.)	Листья 0,001 Ветви 0,002 Корни 0,06
36	Рябина ольхолистная (<i>Sorbus aenifolia</i> Sieb.)	Листья 0,001
37	Малина сахалинская (<i>Rubus sachalinensis</i> Levl.)	« 0,03 Ветви 0,001 Корни 0,06
38	Спирея средняя (<i>Spiraea media</i> Schmidt.)	Листья 0,01 Ветви 0,001 Корни 0,003
39	Спирея березолистная (<i>Spiraea betulifolia</i> Pall.)	Листья 0,01 Ветви 0,02
40	Лещина разнолистная (<i>Corylus heterophylla</i> Fisch.)	Листья 0,005 Ветви 0,003 Корни 0,003
41	Лещина маньчжурская (<i>Corylus mandshurica</i> Max.)	Листья 0,003 Ветви 0,001
42	Рододендрон мелколистный (<i>Rhododendron parvifolium</i> Adams.)	« 0,003
43	Рододендрон золотистый (<i>Rhododendron aureum</i> Georgi.)	Листья 0,003
44	Багульник крупнолистный (<i>Ledum macrophyllum</i> Tolm.)	« 0,002
45	Леспедеца двуцветная (<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.)	« 0,001 Ветви 0,001 Корни 0,003
46	Бузина сибирская (<i>Sambucus sibirica</i> Nakai.)	Листья 0,002
47	Брусника (<i>Vaccinium vitis-idea</i> L.)	« 0,05
48	Черемуха Максимовича (<i>Padus maximowiczii</i> Rgl.)	« 0,001 Ветви 0,003
49	Смородина бледноцветковая (<i>Ribes pollidiflorum</i> Rojark.)	Листья 0,001
50	Виноград амурский (<i>Vites amurensis</i> Rupr.)	« 0,0005
51	Кипрей узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> L.)	0,02
52	Дудник гладкий (<i>Angelica laevigata</i> Franch.)	0,002
53	Вейник Лангсдорфа (<i>Calamagrostis langsdorffii</i> Trin.)	0,002
54	Линнея северная (<i>Linnea borealis</i> L.)	0,001
55	Земляника восточная (<i>Fragaria orientalis</i> L.)	0,003
56	Герань Максимовича (<i>Geranium maximowiczii</i> Rgl.)	0,003
57	Вика мышиная (<i>Vicia cracca</i> L.)	0,001
58	Вика приятная (<i>Vicia amoena</i> Fisch.)	0,01
59	Гравилат алеппский (<i>Geum aleppicum</i> Jacq.)	0,004
60	Клевер люпиновидный (<i>Trifolium lupinaster</i> L.)	0,005
61	Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i> L.)	0,003
62	Подмаренник настоящий (<i>Galium verum</i> L.)	0,003
63	Кровохлебка аптечная (<i>Sanguisorba officinalis</i> L.)	0,005
64	Софора желтеющая (<i>Sophora flavescens</i> Ait.)	0,001
65	Вероника сибирская (<i>Veronica sibirica</i> L.)	0,001
66	Купена душистая (<i>Polygonatum odoratum</i> Druce.)	0,001

Т а б л и ц а 38 (продолжение)

№ п/п	Растения и их органы	Содержание Sn (верхний предел), %
67	Хвощ лесной (<i>Equisetum nemale</i> L.)	0,002
68	Порезник жабрицевидный (<i>Libanotis seseloides</i> Turcz.)	0,001
69	Шпорочветник вырезной (<i>Plectranthus excisus</i> Maxim.)	0,001
70	Атрактилодес овальный (<i>Atractylodes obata</i> Thunb.)	0,001
71	Вальдштейния тройчатая (<i>Waldsteinia ternata</i> Fritsch.)	0,003
72	Мерингия бокоцветковая (<i>Moehringia lateriflora</i> L.)	0,001
73	Валерьяна заиенсейская (<i>Valeriana transjensisensis</i> Kr.)	0,01
74	Клинтония удская (<i>Clintonia udensis</i> Trantv.)	0,0005
75	Клопогон даурский (<i>Cimicifuga dahurica</i> Maxim.)	0,0005
76	Джефферсония сомнительная (<i>Jeffersonia dubia</i> Max.)	0,05
77	Майник двулистный (<i>Majanthemum bifolium</i> L.)	0,003
78	Адокса мускусная (<i>Adoxa muscatellina</i> L.)	0,001
79	Вороний глаз (<i>Paris hexaphylla</i> Cham.)	0,001
80	Кислица обыкновенная (<i>Oxalis acetosella</i> L.)	0,001
81	Чемерица черная (<i>Veratrum dahuricum</i> Turcz.)	0,001
82	Соссюрея крупнолистная (<i>Saussurea grandifolia</i> Maxim.)	0,001
83	Ирис одноцветковый (<i>Iris unifolia</i> Pall.)	0,001
84	Горец птичий (<i>Polygonum aviculare</i> L.)	0,003
85	Мята даурская (<i>Mentha dahurica</i> Fisch.)	0,001
86	Патрэнция скабиозолистная (<i>Patrinia scabiosifolia</i> Fisch.)	0,001
87	Мискантус сахароцветный (<i>Miscanthus sacchariflorus</i> Max.)	0,001
88	Кохия веничная (<i>Kochia scoparia</i> L.)	0,001
89	Одуванчик монгольский (<i>Taraxacum mongolicum</i> Hand.)	0,001
90	Ландыш маньчжурский (<i>Convallaria mandshuricum</i> Kom.)	0,0005
91	Чина низкая (<i>Lathyrus humilis</i> Fisch.)	0,0005
92	Лапчатка земляничная (<i>Potentilla fragarioides</i> L.)	0,0005
93	Шалфей сорный (<i>Salvia plebeia</i> R. Br.)	0,0005
94	Многоножка обыкновенная (<i>Polypodium vulgare</i> L.)	0,0005
95	Дурнишник зобатый (<i>Xanthium strumarium</i> L.)	0,0005
96	Лабазник дланевидный (<i>Filipendula palmata</i> Max.)	0,0005
97	Василистник китайский (<i>Thalictrum chinense</i> Rgl.)	0,0005
98	Хлорант японский (<i>Chloranthus japonicus</i> Sieb.)	0,0005
99	Камыш трехгранный (<i>Scirpus triquetar</i> L.)	0,0005
100	Красоднев желтый (<i>Hemerocallis lilio-asphodelus</i> L.)	0,002
101	Полынь побегоносная (<i>Artemisia stolonifera</i> Max.)	0,1
102	Полынь Аржи (<i>Artemisia argyi</i> Levil.)	0,004
103	Полынь узколистная (<i>Artemisia stenophylla</i> L.)	0,001
104	Полынь жертвенная (<i>Artemisia sacrorum</i> Ldb.)	0,03
105	Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i> L.)	0,0005
106	Страусопер германский (<i>Matteuceia struthiopteris</i> L.)	0,002
107	Кочедыжник мягкий (<i>Athyrium mite</i> Christ.)	0,001
108	Кочедыжник женский (<i>Athyrium filix-femina</i> Roth.)	0,001
109	Кочедыжник красночерешковый (<i>Athyrium rubripes</i> Kom.)	0,001
110	Кочедыжник письменный (<i>Athyrium acrostichoides</i> Sw.)	0,001
111	Шитовник Линнея (<i>Dryopteris linnaeana</i> C. Chr.)	0,002
112	Шитовник буковый (<i>Dryopteris phegopteris</i> C. Chr.)	0,002
113	Орляк обыкновенный (<i>Pteridium aquilinum</i> Kuhn.)	0,01
114	Папоротник луговой (<i>Dryopteris thelypteris</i> L.)	0,006
115	Осока маньчжурская (<i>Carex mandschurica</i> Meensch.)	0,3
116	Осока ланцетная (<i>Carex lanceolata</i> Boott.)	0,3
117	Осока уссурийская (<i>Carex ussuriensis</i> Kom.)	0,3
118	Осока мечевидная (<i>Carex xiphium</i> Kom.)	0,3
119	Осока пузыреватая (<i>Carex vesicata</i> Meensch.)	0,05
120	Осока гладконосая (<i>Carex leiorhyncha</i> C. A. Mey.)	0,001
121	Политрихум обыкновенный (<i>Polytrichum commune</i> Hedw.)	0,1

Т а б л и ц а 38 (окончание)

№ п/п	Растения и их органы	Содержание Sn (верхний предел), %
122	Мниум остроконечный (<i>Mnium cuspidatum</i> Hedw.)	0,1
123	Кладония альпийская (<i>Cladonia alpestris</i> L.)	0,003
124	Сфагнум Руссова (<i>Sphagnum russowii</i> Warnst.)	0,001
125	Хелодиум Бландова (<i>Helodium blandowii</i> Warnst.)	0,03
126	Хилокомнум блестящий (<i>Hylocomium proliferum</i> Lidb.)	0,002
127	Ягель (<i>Cladonia</i> sp.)	0,005
128	Плаун пальчатый (<i>Lycopodium seratum</i> Thunb.)	0,002
129	Плаун можжевельниковый (<i>Lycopodium juniperodeum</i> Sw.)	0,002
130	Плаун сплюснутый (<i>Lycopodium complanatum</i> L.)	0,02
131	Береза Миддендорфа, листья (<i>Betula middendorffii</i> T.)	0,002

на юг, т. е. по мере увеличения разнообразия флористического состава ландшафтных зон, начиная от лесотундры и кончая зоной хвойно-широколиственных лесов — типичной уссурийской тайгой на юге региона с маньчжурской флорой, характерной для ландшафтов Северо-Восточного Китая и Северной Кореи. Подмеченная закономерность позволяет высказать предположения: 1) олово как химический элемент способно поглощаться не единичными растениями, а многими видами на участках с рудной минерализацией, что расширяет диапазон применения биогеохимического метода; 2) увеличение числа растений-концентраторов олова находится в прямой зависимости от флористического многообразия ландшафтных зон, что, возможно, свидетельствует о неизвестных до сих пор биогенных свойствах этого химического элемента.

Для статистической оценки накопления олова в растениях и их органах была построена обобщенная диаграмма на основе весового процентного содержания металла в золе биогеохимических образцов с достаточно представительной выборкой — 467 проб (рис. 42). Диаграмма отражает диапазон содержаний олова в органах каждой группы растений — деревьев, кустарников, трав и мхов, в частности в хвое (листьях), в ветвях, коре, древесине деревьев; в листьях, ветвях, стволе, корнях кустарников; в наземной части трав и мхов. Отчетливо видно, что максимальное поглощение олова характерно для мхов, трав, а также хвои (листьев) и древесины деревьев. Однако подавляющее большинство точек на диаграмме находится в ее нижней части. В целом на диаграмме намечаются три поля сосредоточения точек с диапазонами содержания: 0,0005—0,003% — 388 точек (83,09%); 0,004—0,01% — 50 точек (10,70%); 0,02—0,3% — 29 точек (6,21%). Следовательно, независимо от групп растений и их органов свыше 80% биогеохимических проб от общей выборки содержат Sn от 0,0005 до 0,003% и только 16,91% проб содержат Sn от 0,004 до 0,3%. Максимальное количество Sn находится лишь в единичных пробах. Поэтому олово можно отнести к химическим элементам умеренного поглощения подавляющим большинством растений, развитых на оловорудных объектах и содержащих металл до 0,003%, что в 6 раз больше кларка. По-видимому, другие растения, содержащие элемент свыше 0,003%, можно отнести к истинным концентраторам олова, беспрепятственно накапливающим его в процес-

Sn, %

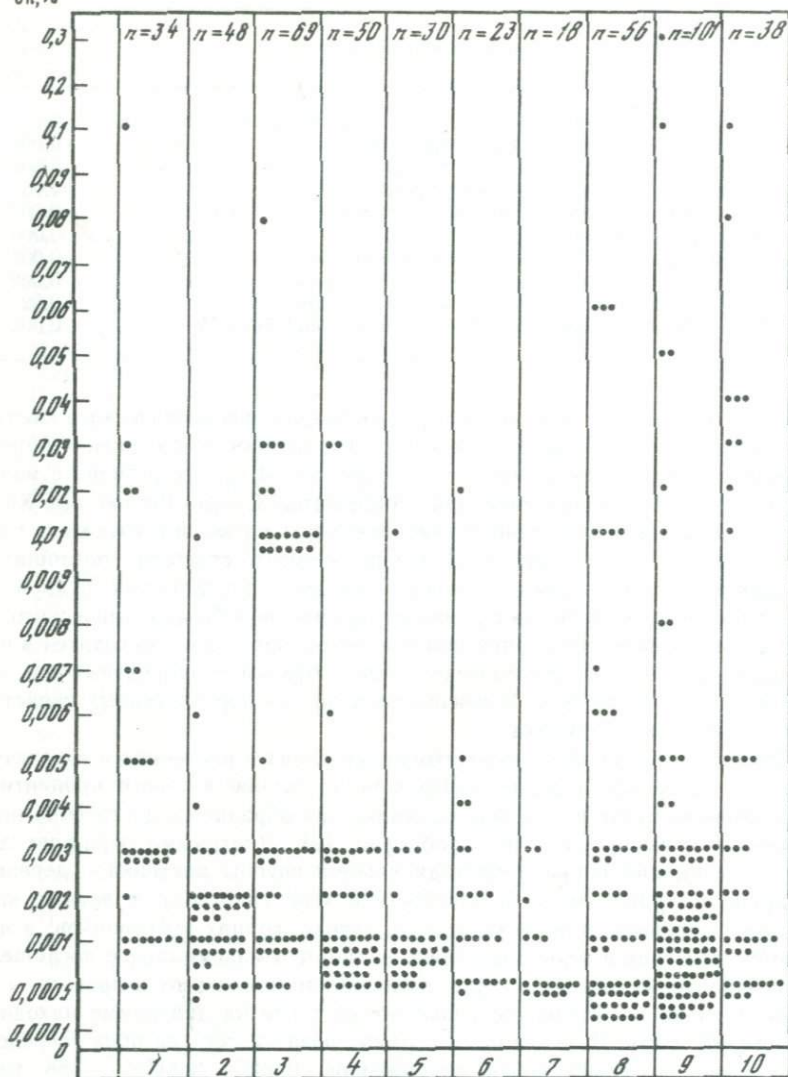


Рис. 42. Диаграмма содержания олова в золе растений на оловорудных полях Дальнего Востока

1—4 — деревья: 1 — хвоя (листья), 2 — ветви, 3 — древесина, 4 — кора; 5—8 — кустарники: 5 — листья, 6 — ветви, 7 — ствол, 8 — корни; 9 — травы; 10 — мхи. Выборка 467 анализов; n — количество анализов

Средние содержания Sn в растениях и их органах
в оловорудных районах Дальнего Востока (вес.%, в золе)

Растения	Органы	Содержание Sn, %	Количество проб
Деревья	Хвоя (листья)	0,0074	34
	Ветви	0,0017	48
	Кора	0,0028	50
	Древесина	0,0062	69
Кустарники	Листья	0,0014	30
	Ветви	0,0024	23
	Ствол	0,0009	18
	Корни	0,0042	56
Травы	Надземная часть	0,0073	101
Мхи	«	0,0115	38
	О б щ е е	0,0052	467

се жизненного цикла, но не свыше 1% — максимальной для дальневосточного региона величины, зафиксированной в золе папоротника — страусопера германского (Л. И. Грабовская, Е. Д. Астрахан, 1960 г.).

Среднее содержание олова в растениях и их органах в оловорудных районах Дальнего Востока приведено в табл. 39. По степени уменьшения накопления этого металла группы растений составляют ряд: мхи—травы—деревья—кустарники. Аналогичные ряды характерны и для органов растений-деревьев: хвоя (листья)—древесина—кора—ветви, кустарников: корни—ветви—листья—ствол. Таким образом, хвоя и листья у деревьев и корни у кустарников — органы наибольшего концентрирования олова. Надо особо подчеркнуть тенденцию накопления олова в корнях растений, являющуюся, по-видимому, биогеохимической особенностью данного элемента и установленную нами еще в 1964 г. За пределами дальневосточного региона накопление олова в корнях растений в свое время отмечали В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина [1964], Т. А. Парибок и Н. В. Алексеева-Попова [1967], С. М. Ткалич [1970], Е. Е. Белякова и др. [1972], Н. П. Новиков [1973], А. А. Беус, Л. И. Грабовская и др. [1976] и др.

На основании 467 анализов биогеохимических проб рассчитан кларк (среднее содержание) олова в растениях в оловорудных районах Дальнего Востока, который равен 0,0052%. Эта величина в 10 раз больше кларка олова в растениях вообще, по А. В. Виноградову [1954], и отражает специфику растительных ассоциаций, распространенных на площадях оловорудных минерализаций в рудных узлах дальневосточного региона. Несомненно, что содержания олова в растениях в количествах, превышающих эту величину, фиксируют наличие оловянного оруденения, а также растения можно рассматривать как надежные концентраторы олова и использовать их для биогеохимического опробования.

Обобщенные характеристические параметры биогеохимической индикации оловянной минерализации, полученные на основе биогеохимических исследований на оруденениях различного генетического типа, применительно к дальневосточному региону приведены в табл. 40.

Оказалось, что наибольшие содержания олова — до 0,3% — в растениях-

Таблица 40

Характеристические параметры биогеохимической индикации оловянной минерализации в условиях Дальнего Востока

Генетический тип оруденения	Наибольшие содержания Sn в растениях — локальных концентраторах, %	Коэффициенты контрастности биогеохимических аномалий Sn	Химические элементы-спутники Sn по биоиндикации	Коэффициенты биологического поглощения Sn по аномальным значениям в почвах и растениях (КБП _{ан})
Кварц-касситеритовый	0,006—0,3	6—300	Pb, Cu, Zn, Ag, Mo	0,3:0,06 = 5,0
Сульфидно-касситеритовый	0,005—0,04	5—40	Pb, Cu, Zn, Ag, Mo, Zr, Y, Be, Sr, Ga	0,04:0,4 = 0,1
Сульфидно-станнино-касситеритовый	0,003—0,04	3—40	Pb, Cu, Zn, Ag, Mo, As, Ni, Co	0,04:0,03 = 1,1
Касситерит-полиметаллический	0,001—0,003	1—3	Pb, Cu, Zn, Ag, Mo, Ga, Ni, Co, Mn	0,003:0,01 = 0,3
Касситерит-скарновый	0,003—0,05	3—50	Pb, Mo, Cu, Ti, Ni, V, Zn	0,05:0,003 = 16,5
Касситерит-пегматитовый	0,001—0,002	1—2	Li, W, Be, Zr, Ga	0,002:0,01 = 0,2
Касситерит-грейзеновый	0,003—0,01	3—10	Be, Zr, Mo, Pb, Ag	0,01:0,002 = 5,0
Касситерит-редкометалловый	0,001—0,003	1—3	Be, Ag, W, Li, V, Ga, Zr, Mo	0,003:0,005 = 0,6
Касситерит-хлоритовый	0,005—0,03	5—30	Pb, Ag, Zn, Cu, Ni, Ba, Sr, Ti	0,3:0,001 = 30,0*
Касситерит-турмалиновый	0,007—0,1	7—100	Pb, Ag, Cu, Ga, Zr, Ni, Ba	0,1:0,001 = 100,0*
Касситерит-вольфрамит-турмалиновый	0,0005—0,001	0,5—1,0	Pb, Be, Co, Sc, Ag, Zn, Cu, Bi, W	0,001:0,001 = 1,0*
Касситерит-вольфрамитовая россыпь	0,001—0,005	1,0—5,0	Cu, Pb, Mo, Ni, Ba, Sr, Mn, La, Ti, Ag, Be, Zr, Cr, W	0,005:0,001 = 5,0
Базальты	0,005—0,08	5,0—80,0	Mn, Ti, Ni, Cu, Zn, Ba, Sr	0,08:0,001 = 80,0

* При отсутствии на участках этих месторождений почв для расчета КБП_{ан} были использованы содержания Sn в мелкоземе (фракция < 1 мм) современных продуктов гипергенеза.

концентраторах отмечаются на оловянной минерализации кварц-касситеритового типа, в которой касситерит — единственный и главный минерал оруденения — представлен мелкозернистыми агрегатами кристаллического строения. Достаточно высокое содержание олова в растениях — до 0,1% — отмечено на месторождении касситерит-турмалинового типа, где касситерит представлен метаколлоидными агрегатами радиально-лучистого и сноповидного, участками почковидного строения с отсутствием электромагнитных свойств в отличие от крупнозернистых кристаллических разновидностей минерала.

Наименьшие содержания олова в растениях — до 0,002% — установлены на касситерит-пегматитовом и касситерит-вольфрамит-турмалиновом оруденениях, что в какой-то степени объясняется слабой оловянной минерализацией, в которой крупнозернистый касситерит имеет подчиненное значение и рассматривается как примесь в рудах профилирующих металлов.

Высокие содержания олова в растениях (до 0,04—0,05%) отмечаются на месторождениях сульфидно-касситеритового, сульфидно-станнино-касситеритового и касситерит-скарнового типов, в которых, кроме касситерита, имеется примесь другого минерала олова — сульфида станнина, а также за счет изоморфной и сорбционной примеси этого металла в окисных и сульфидных минералах — лимоните, магнетите, гематите, пирите, халькопирите и в продуктах их гипергенного преобразования.

Повышенное количество олова в растениях (до 0,08%) на базальтовых массивах обусловлено не столько аксессуарной примесью микрокристаллического касситерита, сколько наличием в составе базальтоидов тонкораспыленного самородного олова.

Коэффициенты контрастности биогеохимических аномалий олова в растениях на ряде генетических типов оруденения резко повышены — до 40—300 единиц, исходя из расчета местного геохимического фона металла в растениях, равного 0,001% [Ивашов, 1982д]. На тех же объектах, где отмечается слабая оловянная минерализация или наличие ее имеет аксессуарный характер, коэффициенты контрастности достигают лишь 2—5 единиц, например на касситерит-полиметаллическом рудопроявлении и комплексной касситерит-вольфрамитовой россыпи (табл. 40).

Важным характеристическим параметром биогеохимической индикации оловянной минерализации является коэффициент биологического поглощения олова (КБП по А. И. Перельману [1966]) как отношение величины содержания металла в золе растений к содержанию в почвах. Этот параметр рассчитан по наибольшим (аномальным) содержаниям олова в растениях и почвах применительно к конкретным объектам оловянной минерализации (см. табл. 40) и колеблется в широком интервале — от 0,1 до 100 единиц, достигая значительных величин. Наибольшие величины КБП_{ан} отмечаются на тех объектах, где для растений создаются более благоприятные условия доступа подвижных ионов олова к их корневым системам, в частности на участках с оловянной минерализацией следующих типов: 1) касситерит-скарнового, когда возникают оптимальные условия химического выветривания касситерита в нейтральной и даже в слабощелочной почвенной среде за счет гипергенного преобразования вмещающих известковистых пород; 2) касситерит-хлоритового — за счет тонкодисперсного касситерита с размером зерен 0,007—0,01 мм; 3) касситерит-турмалинового — благодаря метаколлоидному строению агрегатов рудного касситерита; 4) оловосодержа-

щих базальтов — за счет наличия в них тонкораспыленного самородного олова.

Значения КБП_{ан} убедительно подтверждают, что биогеохимические аномалии олова по растениям более контрастны, чем почвенно-геохимические (литохимические) аномалии. Это указывает на существенно бóльшую эффективность биогеохимического метода поисков олова по сравнению с литогеохимическим даже по открытым ореолам рассеяния, не говоря уже о закрытых ореолах, погребенных под аллохтонными отложениями.

Исследование величин КБП_{ан} олова в растениях в зависимости от интенсивности оруденения, от зернистости и агрегатного состояния (кристаллическое или метаколлоидное) касситерита и в целом от генетического типа минерализации дает возможность сделать важный практический вывод: на перспективных участках оловорудных районов Дальнего Востока автономные биогеохимические поиски месторождений оловянных руд будут наиболее эффективны при КБП больше 1. При КБП меньше 1 биогеохимические поиски следует дополнять и проверять литогеохимическими применительно к конкретным местным условиям.

Как отмечалось выше, на подавляющем большинстве объектов, где проведены биогеохимические исследования, КБП олова в растениях больше 1. Это свидетельствует о более высокой чувствительности биогеохимического метода по сравнению с литогеохимическим за счет озоления и, следовательно, обогащения растительных проб, чему, как правило, не подвергаются литогеохимические пробы. На этом основании можно сделать другой важный практический вывод: с помощью биогеохимических методов необходимо провести ревизию известных, но старых заброшенных оловорудных площадей в пределах Дальнего Востока, которые раньше опосковывались только литогеохимией и считались, да и сейчас считаются бесперспективными.

Большое внимание при биогеохимических исследованиях было обращено на выявление химических элементов-спутников олова как дополнительных индикаторов оловянного оруденения применительно к тому или иному генетическому типу. Как подчеркивали В. В. Поликарпочкин и др. [1965, с. 270] при биогеохимических поисках целесообразно определение возможно большего числа элементов-индикаторов в растениях с целью идентификации ореолов рассеяния по их совокупности. Поэтому данный аспект при разработке научных основ биогеохимической индикации оловянной минерализации имеет весьма важное значение.

Для каждого генетического типа оловорудной минерализации выявлены элементы-индикаторы — спутники олова по содержанию их в золе растений (табл. 40). Например, для месторождений кварц-касситеритового и сульфидно-касситеритового типов четкими биогеохимическими индикаторами оруденения являются Pb, Cu, Zn, Ag, Mo, As, Ni, Co и др., а для касситерит-пегматитового — Li, W, Be, Zr, Ga. По существу, биогеохимические аномалии по каждому элементу-индикатору совпадают с биогеохимическими аномалиями олова, и это подтверждает их индикаторные свойства и поисковое значение. В общей сложности по всем оловорудным объектам установлены 23 элемента-индикатора: Pb, Cu, Zn, Ag, Mo, Zr, Y, Be, Sr, Ba, Ga, As, Ni, Co, Mn, Ti, V, Li, W, Sc, Bi, La, Cr. Наиболее высоко индикаторные свойства (на основе образования надрудных биогеохимических аномалий) выражены у халькофильных элементов — Pb, Cu, Zn, Ag, As, хотя литофильные и

сидерофильные элементы, такие, как Mo, Ni, Mn, Ti, Bi, Sc, Sr и др., также играют важную индикаторную роль. Такое геохимическое разнообразие спутников олова по их совместному содержанию в растениях не случайно, и оно отражает присущие олову как химическому элементу литофильные, халькофильные и частично сидерофильные свойства, которые проявились в биогеохимии этого металла. Таким образом, геохимические ассоциации олова с его спутниками, известные по магматическому циклу миграции [Ферсман, 1959], имеют место и в растениях, в золе которых в зависимости от генетического типа оловянного оруденения и рудовмещающих пород формируются аналогичные биогеохимические ассоциации металлов — спутников олова. Эти спутники олова в растениях можно с успехом использовать как дополнительные индикаторы при биогеохимических поисках.

Установлено, что биогеохимические аномалии олова и его спутников контролируются, с одной стороны, геолого-минералогическими и ландшафтно-геохимическими условиями участков оруденения в пределах региона, а с другой — физиологическими функциями видов растений, распространенных над зонами минерализаций. Кроме того, на формировании биогеохимических аномалий олова и его спутников сказывается генетический тип оловянного оруденения, минералогический и геохимический состав руд, агрегатный состав и зернистость касситерита, наличие, кроме касситерита, других минералов олова, например станнина, уровень эрозионного среза рудной зоны, форма оловорудных тел или первичных ореолов рассеяния. Эти особенности как индивидуально, так и аддитивно влияют на контрастность биогеохимических аномалий.

На всех изученных оловорудных месторождениях и рудопроявлениях каждой ландшафтной зоны биогеохимические аномалии олова и его спутников — элементов-индикаторов соответствуют эпицентрам залегания рудных тел. Однако при этом в пределах биогенного ореола рассеяния отмечается некоторое смещение биогеохимических аномалий относительно рудных тел вниз по склону сопки вследствие смещения солевых и механических ореолов. Так, в зоне хвойно-широколиственных лесов смещение биогеохимических аномалий 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 (кварц-касситеритовое месторождение). В данном случае незначительное смещение биогеохимических аномалий относительно рудных тел объясняется тем обстоятельством, что растения накапливают олово непосредственно из рудных тел и окolorудных пород благодаря хорошо развитой корневой системе у древесных растений и кустарников. Делювиальный же снос образующегося обломочного материала современной коры выветривания значительно смещает литогеохимические аномалии вниз по склону сопки относительно рудных тел, и при масштабе 1:2000 поисков это смещение составляет 80—100 м и более.

Получены интересные материалы о том, что в нижней части склона сопки большинство растений содержит олово, особенно травы, благодаря тому, что они поселились в местах разгрузки грунтовых вод, дренирующих оруденение, выходящих на поверхность и содержащих в повышенном количестве ионы олова. На водоразделах же, особенно на участках автономных элементарных геохимических ландшафтов, в питании растений в основном преобладают воды атмосферных осадков. Эти воды, как правило, содержат

меньшее количество ионов олова вследствие ограниченной площади, которую они дренируют. Поэтому на таких участках растения слабее накапливают олово, но зато возникающие здесь биогеохимические аномалии надрудные и непосредственно фиксируют оловорудные тела.

Этим обстоятельством объясняется то, что при прочих равных условиях биогеохимические аномалии олова по травянистым растениям-концентраторам иногда больше смещены. Так, в зоне лесостепи смещение биогеохимической аномалии по травам достигает 150 м из-за того, что оловосодержащие грунтовые воды, непосредственно связанные с зоной оруденения, выходят на поверхность лишь в нижней части склона сопки.

Однако в любом случае биогенные ореолы рассеяния олова в растениях четко оконтуривают участки с касситеритовым оруденением на всех изученных оловорудных объектах в указанных выше ландшафтных зонах дальневосточного региона.

Необходимо особо подчеркнуть, что на оригинальном дальневосточном материале было показано полное отсутствие ложных биогеохимических аномалий олова, не связанных с оруденением. Таким образом, была подтверждена ранее высказанная по этому поводу точка зрения сибирских биогеохимиков о том, что возникновение ложных биогеохимических аномалий для олова не характерно [Поликарпочкин и др., 1965].

Статистическая обработка аналитических данных с помощью ЭВМ ЕС-1020 показала, что между валовыми содержаниями олова в почвах и растениях на оловорудных объектах имеется положительная корреляционная связь, но с невысокими коэффициентами корреляции, в пределах 0,10—0,20. Лишь на кварц-касситеритовом месторождении величина коэффициента корреляции между содержанием олова в почвах и растениях достигла 0,45. Такая относительно слабая корреляционная связь между оловом в системе почва—растение на большинстве изученных оловорудных объектов обусловлена тем, что растения поглощают этот металл не столько непосредственно из почв, где он находится в основном в составе микроблошков трудно растворимого касситерита, сколько из почвенных, грунтовых и трещинных вод, циркулирующих в зонах оруденения и содержащих простые и комплексные ионы олова.

Однако коэффициенты корреляции оказываются значительно выше при исследовании зависимости между содержаниями олова в почвах и отдельными видами растений. Например, на кварц-касситеритовом месторождении коэффициенты корреляции между содержаниями олова в растениях-концентраторах, в частности в зеленых мхах, в корнях рябинолистника рябинолистного и в почвах 0,93 и 0,91 соответственно, т. е. связь весьма тесная. Достаточно высокая корреляционная связь и между содержаниями олова в почвах и в зеленых мхах на сульфидно-касситеритовом месторождении с коэффициентами корреляции 0,37—0,55. Наиболее тесная связь выявляется между содержанием олова в зеленых мхах и в верхнем гумусовом горизонте почв A_1 .

Корреляционная значимая связь, как положительная, так и отрицательная, существует между содержанием олова и его спутников в золе растений применительно к каждому генетическому типу минерализации (табл. 41). Так, положительный коэффициент корреляции между Sn и Pb достигает 0,22—0,90, наиболее тесная связь отмечена в растениях на участке оруденения кварц-касситеритового типа. Аналогичная корреляционная связь

Таблица 41

**Оценка корреляционной связи содержания Sn с его спутниками
в золе растений в зависимости от генетического типа
оловорудной минерализации Дальнего Востока**

Генетический тип оруденения	Коррелируемый металл	Коэффициент корреляции	Генетический тип оруденения	Коррелируемый металл	Коэффициент корреляции
Кварц-касситеритовый	Pb	+0,90	Касситерит-редко-металльный	Mo	+0,15
	Cu	+0,14		Ni	+0,11
	Zn	+0,19		Mn	-0,30
	Mn	-0,14		Ba	+0,14
	Ag	+0,03		Sr	+0,63
Сульфидно-касситеритовый	Pb	+0,66	Касситерит-турмалиновый	Pb	+0,22
	Cu	+0,26		Cu	+0,15
	Zn	+0,22		Mo	+0,06
	Ag	-0,09		Ag	-0,07
Сульфидно-станнино-касситеритовый	Pb	+0,62	Касситерит-хлоритовый	Ti	-0,07
	Cu	+0,26		Ba	-0,04
	Zn	+0,21		Pb	+0,22
	Ag	+0,03		Cu	+0,26
				Zn	+0,08
Касситерит-полиметаллический	Pb	+0,31	Касситерит-вольфрамитовая россыпь	Ba	+0,07
	Cu	+0,15		Ni	-0,09
	Zn	-0,07		Pb	+0,61
	Ag	-0,05		Cu	+0,82
Касситерит-скарновый	Pb	-0,04	Кварц-касситеритовый, касситерит-полиметаллический и касситерит-грейзенный*	Zn	+0,78
	Cu	-0,18		Ni	+0,55
	Zn	-0,12		Sr	+0,69
	Ti	+0,12		Ba	-0,07
	Ni	+0,37		Mn	-0,49
	Mn	-0,05		Mo	-0,33
	Mo	-0,04		Pb	+0,23
Касситерит-редко-металльный	Cu	+0,22	Cu	+0,15	
	Zn	+0,45	Zn	-0,11	
	Ti	-0,24	Mn	-0,11	

* Определение металлов сделано в опале, собранном на участках месторождений.

имеется между Sn и Cu со значением парных коэффициентов корреляции до 0,15—0,82, Sn и Zn — до 0,21—0,78, Sn и Ni — до 0,11—0,55, Sn и Sr — до 0,63—0,69. Отрицательные коэффициенты корреляции отмечены между Sn и Mg — до 0,49, Sn и Ti — до 0,24. Связь олова с другими микроэлементами также имеется, но она менее тесная, с коэффициентами корреляции ниже $\pm 0,20$.

Корреляционная связь олова с другими металлами наиболее четко выражена в отдельных видах растений-концентраторов. Например, коэффициент корреляции между оловом и свинцом в зеленых мхах на сульфидно-касситеритовом месторождении — 0,72. Таким образом, описанная выше возможность биоиндикации оловянной минерализации по химическим элементам-индикаторам — спутникам олова — подтверждается статистически на основе парных коэффициентов корреляции.

Надо отметить, что хотя коэффициенты корреляции между оловом и серебром в растениях низкие, индикаторная информативность серебра исключительно велика по индивидуальным растениям, например по хвойным деревьям [Ивашов, 1977]. Этот металл появляется в растениях в единичных пробах только над рудной зоной, и его биогеохимические аномалии непосредственно отбивают рудные тела. Особенно это четко проявляется на сульфидно-станнино-касситеритовых зонах минерализации вследствие того, что в данном типе оруденения серебро изоморфно входит в состав станнина [Чистякова, Маршукова, 1978].

Высокие индикационные возможности серебра по его повышенному содержанию в хвойных деревьях, в частности в шишках, были использованы при биогеохимических поисках глубоко погребенной залежи урановой минерализации в Канаде [Dunn, 1981].

В нашем случае отсутствие корреляционной связи серебра с оловом в золе растений, по-видимому, свидетельствует об их разных физиологических функциях в одних и тех же растениях, за исключением, может быть, лишь хвойных, которые являются концентраторами и серебра, и олова.

Возможно, это еще объясняется и тем, что парная корреляция не отражает всего многообразия процесса связи указанных элементов в растениях. По-видимому, эта зависимость более сложная, и необходимо привлечение математического аппарата множественной корреляции с целью учета других факторов, в частности минералогического состава зон минерализаций, содержание олова в рудоносных породах и грунтовых водах, уровень залегания грунтовых вод, крутизну склонов, степень дренированности почвенных разрезов, скорость растворения касситерита и т. д.

По-видимому, исследование системы почвы—растения на оловорудных месторождениях с целью установления корреляционных зависимостей может дать ключ к количественной оценке миграции и накопления олова и его спутников в зоне гипергенеза, исходя из геохимических свойств, в частности подвижности. В этом случае мерой миграции могут оказаться значения коэффициентов корреляции, поэтому можно высказать следующую гипотезу. Для металлов, находящихся в почвах преимущественно в составе механических ореолов рассеяния, величины коэффициентов корреляции в системе почва—растение должны быть низкими, а для химических элементов, образующих в почвах солевые ореолы рассеяния, — наиболее высокими. Предварительная проверка этой гипотезы на основе парных коэффициентов корреляции как будто бы ее подтверждает, судя по описанным выше корреляционным связям металлов.

Таким образом, полученный опыт в процессе разработки научных основ биометода поисков оловорудных месторождений свидетельствует о том, что биогеохимические поиски могут с успехом применяться на всей территории лесотундровой и лесной области Дальнего Востока, т. е. во всех ландшафтных зонах. При этом результаты биогеохимических поисков по эффективности будут несколько не хуже результатов других геохимических методов, в частности наиболее распространенного литогеохимического метода. Особенно это будет целесообразно в тех случаях (применительно к условиям Дальнего Востока), когда биогеохимический метод является по существу единственным для проведения поисковых работ, например на заболоченных пространствах и на участках с крупноглыбовым элювио-делювием.

БИОГЕОХИМИЯ ОЛОВА НА ТЕРРИТОРИИ СССР И ЗА РУБЕЖОМ

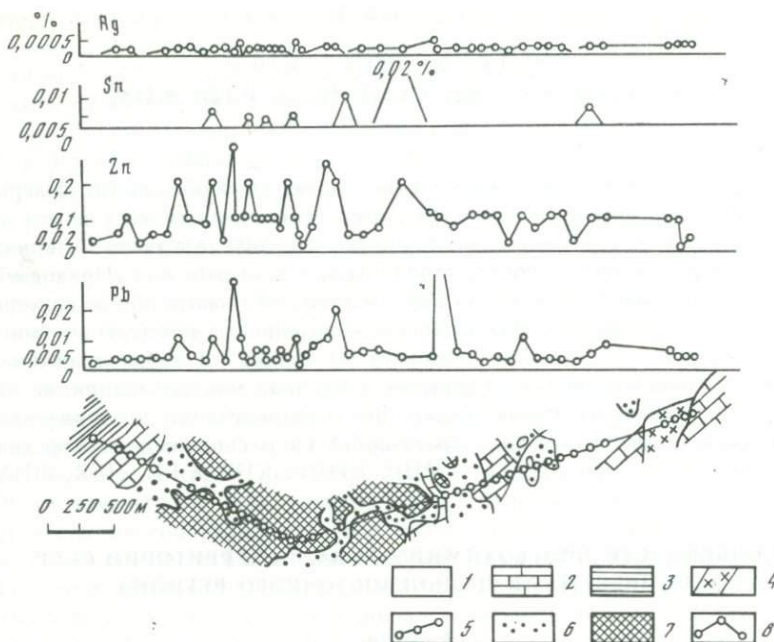
С целью сопоставления изложенных данных об особенностях содержания олова в растениях на оловорудных и неоловорудных месторождениях по Дальневосточному региону были изучены литературные материалы, полученные по другим регионам нашей страны и за рубежом. Привлечение таких сравнительных данных дает возможность установить общие растительно-концентраторы олова и сделать оценку возможности применения биогеохимических поисков руд этого металла не только на территории нашей страны, где есть перспективы открытия оловянной минерализации, но и на территории зарубежных стран, прежде всего социалистических и развивающихся, например в странах Юго-Восточной Азии, расположенных в пределах Тихоокеанского рудного пояса — МНР, КНДР, КНР, СРВ, НРК, ЛНДР.

ОСОБЕННОСТИ БИОГЕОХИМИИ ОЛОВА НА ТЕРРИТОРИИ СССР ЗА ПРЕДЕЛАМИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

Сибирь

Сибирь — наиболее обширная территория нашей страны, находящаяся по соседству с Дальневосточным регионом, но отличающаяся от него как по особенностям металлогении олова, так и по природным условиям. В Сибири пока не установлено крупных месторождений олова, за исключением Восточного Забайкалья и частично Якутии, расположенных на окраине Тихоокеанского рудного пояса. Кроме того, тайга Сибири сильно отличается от тайги, типичной для Дальнего Востока, происхождение которой обусловлено близостью Тихого океана и, как следствие, муссонным климатом. Поэтому определение олова в растениях Сибири, как основного биоиндикатора оловянной минерализации (на оловорудных месторождениях), так и дополнительного индикатора неоловянных руд (на редкометалльных, полиметаллических и других месторождениях), представляет большой научный и практический интерес. Во-первых, это важно для изучения общей биогеохимии олова в зависимости от лесо-растительных (ландшафтных) зон и металлогении Сибирского и Дальневосточного регионов, а во-вторых, для расширения географического диапазона применения биогеохимических поисков оловянных руд.

В Восточном Забайкалье биогеохимические ореолы рассеяния олова установили в 1956—1958 гг. В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина [1964], В. В. Поликарпочкин и др. [1965] на оловорудных проявлениях в районе Нерчинского завода и на ряде полиметаллических (свинцово-цинковых) месторождений. Оказалось, что, кроме собственно оловорудных, наличие этого металла в растениях весьма характерно и для полиметаллических месторождений, отличающихся повышенной оловоносностью. Причем концентрации олова в золе растений на оловорудных проявлениях равны почвенным или даже превышают их, достигая 0,01—0,05%, в то время



Р и с. 43. Биогеохимический профиль через Резановское месторождение (по В. В. Поликарпочкину и др. [1965])

1 — аллювиальные и мощные делювиальные отложения; 2 — известняки; 3 — песчано-сланцевые отложения; 4 — дайки сиенит-порфира; 5 — пункты отбора проб (ветви с листьями березы); 6, 7 — содержание Pb* в литохимических ореолах, %: 6 — 0,003—0,01, 7 — > 0,01 (до 0,1 и выше); 8 — графики содержания элементов в золе растений

как на участках полиметаллических месторождений они значительно ниже, чем в почвах и в породах. Встречаемость олова в растениях на оловорудных проявлениях также выше — почти в половине проб — в отличие от полиметаллических месторождений, где металл встречается в единичных пробах. В качестве примера на рис. 43 изображен биогеохимический профиль через Резановское полиметаллическое месторождение, где содержание олова в золе растений достигает тысячных и иногда сотых долей процента. При этом зона минерализации отбивается биогеохимическими аномалиями не только Sn, но и Pb, Zn, Ag. Следовательно, в данном случае Sn является хорошим биогеохимическим индикатором полиметаллического оруденения, что мы отмечали и на аналогичном дальневосточном объекте. На безрудных участках олово в растениях и в почвах, как подчеркивается этими исследователями, обычно не обнаруживается, т. е. содержание его меньше 0,001%. Наличие олова в золе растений до 0,01—0,03% отмечено также в районах Балея и Агинского, где известны вольфрамовые месторождения — Белухинское и Барун-Шивея. Вольфрамовая минерализация, так же как и полиметаллическая, хорошо фиксируется биоореолами олова — индикатора указанных оруденений.

В целом фоновые содержания олова в растениях — менее 0,001%, а аномальные — 0,03—0,05% (преимущественно в корнях растений), при этом повышенные концентрации металла в коренных породах надежно отмечают-

ся аномалиями в растениях. Особо следует подчеркнуть, что возникновение «ложных» аномалий для олова не характерно.

В последующие годы В. В. Поликарпочкин [1975, 1978], В. В. Поликарпочкин и др. [1982] изучили особенности формирования биоореолов олова на рудопроявлениях в Восточном Забайкалье и в целом в Сибири, в частности в лесной подстилке и в березе, и с помощью метода многомерных полей и ЭВМ установили перспективные участки для поисков оруденения.

М. П. Безверхний и др. [1965] показали, что олово является одним из основных элементов-биоиндикаторов на редкометалльных месторождениях Забайкалья. На этом основании было сделано заключение, что биогеохимический метод может дать хорошие результаты при поисках Sn, Y, W, Pb, Mo.

Е. Е. Белякова и др. [1972, описали биогеохимические ореолы рассеяния олова на касситеритово-сульфидном месторождении Хапчерага Восточного Забайкалья, в пределах Пришилкинского золото-медно-свинцового рудного пояса. Олово обнаружено в полыни обыкновенной и в таволге извилистой, в первом растении встречаемость Sn — 45,7% (62 пробы), во втором — 14,2% (35 проб). Спутниками Sn по содержанию его в растениях являются Ag, Zn, Y, Be, Cr, Ga, V, Zr, Ni. Статистические параметры распределения олова в полыни обыкновенной на месторождении следующие: закон распределения — логнормальный, среднее содержание — 0,004%, дисперсия 0,01.

Опыт биогеохимического опробования, проведенного в производственных условиях Р. Н. Волосиковым и В. А. Напартэ [1975] с целью поисков оловянных рудопоявлений на территории мерзлотных ландшафтов Забайкалья, показал, что благодаря высокому КБП олова во мхах, в бруснике и в багульнике обнаруживаются высококонтрастные биоаномалии олова даже над слабоминерализованными касситерит-сульфидными зонами. Причем контуры биогеохимических аномалий соответствуют очертанию рудных зон или расположены в непосредственной близости от них. Оказалось, что наиболее удобны для биогеохимических поисков мхи, повсеместное распространение которых дает возможность проведения поисков с любой детальностью вплоть до выявления аномалий, соответствующих отдельным рудным телам. Весьма важно то, что биогеохимические ореолы являются многокомпонентными, т. е. зола растений, кроме олова, содержит другие металлы-спутники — Pb, Zn, Ag, Cu, Mo, Au и др., которые также можно использовать при биопоисках руд.

Как подчеркнули эти исследователи, в отличие от биогеохимического опробования результаты параллельно проведенных литогеохимических исследований оказались фрагментарными и крайне неопределенными. Следовательно, биогеохимический метод поиска оловянных руд в условиях мерзлотных ландшафтов Забайкалья перспективен, поскольку олово для этого региона, как и для соседнего с ним дальневосточного, традиционно характерно и определяет оловорудный потенциал Востока нашей страны.

На территории Бурятии биогеохимические ореолы рассеяния олова установил Э. Ф. Жбанов и др. [1966, 1978]. Хотя биоореолы олова оказались и ослабленными ввиду акцессорной оловянной минерализации, тем не менее они достаточно отчетливо отбивают зону оруденения в условиях прикрытия его оловыми образованиями. По заключению этих исследователей, биогеохимический метод на территории Бурятии может с успехом применяться

для практики поиска руд не только Sn, но и W, Be, Mo, Au и других металлов.

Содержание олова в золе растений в бассейне р. Витим при изучении геохимии ландшафтов установил Т. Т. Тайсаев [1969, 1974, 1981]. Коэффициенты биологического поглощения олова колеблются: в осоках и в сфагнуме 0,1—0,5, в торфяниках — 0,4—1,0. При этом весьма показательно поглощение олова лиственницей даурской на основе КБП в зависимости от подстилающих пород: от 3 до 5 на известняках, гранитах, кислых и средних эффузивах, а также на глинистой коре выветривания перечисленных пород и до 7 — на участке халькопирит-пирит-пирротинового оруденения.

Олово в растениях на Озерном колчеданно-полиметаллическом месторождении в Бурятии установил А. Л. Ковалевский [1975а]. При фоновых содержаниях 0,0001—0,001% аномальные количества металла достигают 0,3%, в частности в растении-концентраторе — клевере луговом. Содержат олово также карагана карликовая, мышинный горошек, осоки, полыни Гмелина, холодная и обыкновенная, василистник байкальский, кровохлебка аптечная, астрагал перепончатый, береза плосколистная, лиственница даурская, ива, схинопепон переступенелистный, таволга средняя, иван-чай узколистный, лапчатка пижмолистная, осина. Как видно из перечня, многие из указанных растений встречаются и на дальневосточных оловорудных объектах и также концентрируют олово.

На других неоловорудных месторождениях Сибири олово как акцессорную примесь обнаружил А. Л. Ковалевский [1966] в древесных и кустарниковых растениях — в кедре, ели, лиственнице, березе, можжевельнике, жимолости, а также в осоках.

Ореолы рассеяния олова в растениях А. Л. Ковалевский [1978в] выявил на Булуктайском вольфрамо-молибденовом месторождении. Фоновые содержания равны 0,0001—0,001%, а над рудными телами — 0,03—0,3%. Наиболее информативные растения, рекомендуемые для опробования, — древесина березы, осины, лиственницы, сосны, а также наземные части осок, полыней, мхов и лишайников. По мнению А. Л. Ковалевского [1978в], такие растения и их органы, как ветви березы, аралии, малины и чубушника, а также наземные части рябинолистника являются фоноварьерными, не пригодными для опробования при биогеохимических поисках олова. Однако по нашим данным, полученным непосредственно на оловорудных дальневосточных объектах, названные растения относятся к концентратам олова и их можно успешно использовать при биогеохимической индикации оловянных руд.

Весьма показательно, что, как отметил А. Л. Ковалевский [1978в], оконтуривание зон вольфрамовой минерализации и выявление отдельных рудных тел делается более точно не по содержанию W в растениях, который часто недоступен им и биоаномалии малоконтрастны, а по спутникам — Sn, Bi, Zn, Pb, F, Mo. Это еще раз подтверждает высокое индикаторное значение олова при поисках даже неоловянных руд.

С. М. Ткалич [1959] установил биогеохимические ореолы рассеяния олова в Восточной Сибири, на Белореченском месторождении редкометалльных пегматитов (рис. 44). Как видно, зона минерализации четко отбивается по биогеохимическому профилю аномалиями не только Sn, но и Na, Fe, Ti и Zn по их содержанию в кедре сибирском. В данном случае олово оказалось хорошим индикатором редкометалльных пегматитов,

Рис. 44. Распределение содержания Na, Fe, Ti, Sn, Zn в золе сосны сибирской на Белореченском месторождении редкометалльных пегматитов (по С. М. Ткаличу [1959])

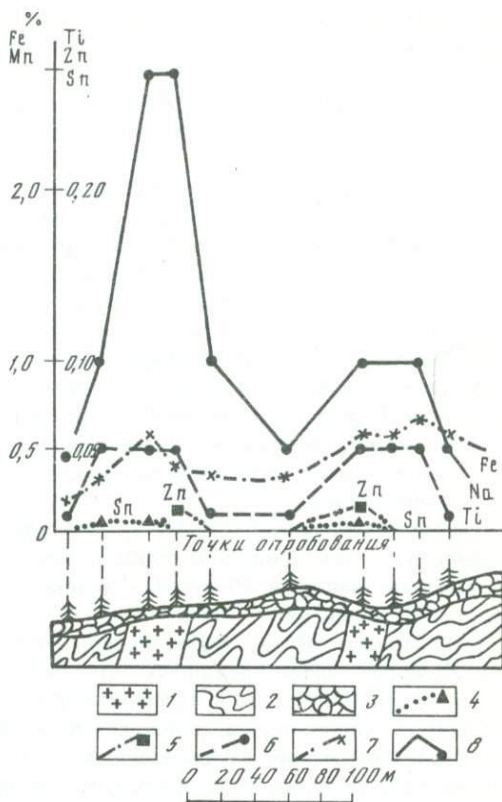
1 — пегматиты; 2 — кристаллические сланцы; 3 — крупноглыбовый делювий; 4—8 — кривые содержания: 4 — Sn, 5 — Zn, 6 — Ti, 7 — Fe, 8 — Na несмотря на его невысокое содержание в кедре сибирском вследствие незначительной (акцессорной) оловянной минерализации в коренных породах.

С. М. Ткалич [1969, 1970] отмечал, что олово до 0,05% содержится в растениях на одном из полиметаллических месторождений Сибири, и особо подчеркнул значение этого металла как биоиндикатора при биогеохимических поисках различных руд, содержащих акцессорную примесь олова, и непосредственно оловянных руд.

В. А. Загоскин и А. А. Шиманский [1971] также установили в Восточной Сибири биогеохимические ореолы рассеяния олова на редкометалльных пегматитовых месторождениях. Хотя в золе растений олово обнаружено в единичных пробах с содержанием до 0,003%, тем не менее только непосредственно над зоной оруденения (так же, как и Be), и индикаторная роль этих металлов в биогеохимических поисках пегматитов не вызывает сомнения.

Аналогичное индикаторное значение олова отмечал Е. П. Захаров [1969а] на мышьяково-висмутосеребряно-медно-никелево-кобальтовом месторождении в Тувинской АССР. Здесь олово обнаружено в растениях с содержанием до 0,003% и также может рассматриваться как индикатор данного типа оруденения.

Л. И. Грабовская [1968] изучила биогеохимические ореолы редких металлов, в том числе и олова, на массиве танталоносных литионит-амазонит-альбитовых апогранитов, расположенных в зоне горных мерзлотно-таежных ландшафтов Сибири. Фоновые содержания олова в растениях, в частности в лиственнице даурской (ветки, хвоя), составляют 2—200 г/т и определены в видах, произрастающих над массивами гранодиоритов и на участках развития осадочно-метаморфических пород юрского возраста. На рудоносном массиве литионит-амазонит-альбитовых апогранитов содержание олова в растениях в 6—9 раз превышает фон. В 2—3 раза выше фона содержание олова в растениях установлено на массиве биоти-



товых апогранитов с оловорудной минерализацией, а также на участках разрывных тектонических нарушений и жильных образований. Важно, что во всех рассмотренных случаях увеличение содержания олова в растениях обусловлено повышением его концентрации в коренных породах или, иными словами, олово в данном районе также не дает ложных биогеохимических аномалий.

Наиболее высокие содержания олова в растениях отмечаются непосредственно над зоной циннвальдит-топазовых грейзенов, что обусловлено повышенной концентрацией металла в коренных породах. Так, средние содержания Sn в растениях (г/т) следующие: лиственница даурская (ветки и хвоя) — 220 ± 135 , береза бородавчатая (ветки и листья) — 130 ± 30 , брусника (стебли и листья) — 480 ± 160 , багульник (стебли и листья) — 190 ± 100 , рододендрон (ветки и листья) — 55 ± 2 . Наиболее низкие содержания олова в растениях отмечаются за пределами танталоносного массива. Наибольшие концентрации олова отмечаются в золе брусники, и по степени уменьшения концентрирующей способности названные растения составляют ряд: брусника—лиственница даурская—багульник—береза—рододендрон.

Как подчеркивает Л. И. Грабовская [1968], травы концентрируют олово хуже, чем древесные породы. Так, при среднем содержании металла в золе лиственницы 70 г/т в травах на том же участке концентрация достигает лишь 30 г/т.

По данным В. В. Беренгиловой [1967, 1968], в почвах мерзлотных ландшафтов, сформированных на танталоносных апогранитах, наибольшее содержание олова в горизонте В — 165 ± 84 г/т, а в горизонте А — 94 ± 70 . Наличие олова в почвах обусловлено присутствием в коренных породах (в апогранитах, грейзенах и кварцевых жилах) касситерита и частично оловосодержащих минералов — микролита, колумбита, стрюверита.

Частота встречаемости проб с аномальным содержанием олова в ореоле над танталоносными апогранитами по горизонту В составляет 73,2%, а коэффициент контрастности достигает 21. Ореолы рассеяния олова по горизонту А в отличие от горизонта В наблюдаются в виде отдельных пятен. Поэтому не случайно элювиально-аккумулятивные коэффициенты по этим горизонтам почв резко отличаются — для горизонта А — 0,6, а для горизонта В — 1,1.

Л. И. Грабовская [1968] исследовала корреляционную зависимость между содержанием олова в растениях, в коренных породах и почвах на рудоносном участке апогранитового массива. По значению коэффициентов корреляции наиболее тесная положительная связь отмечена в системе растение—порода: лиственница—порода (0,35), брусника—порода (0,45), рододендрон—порода (0,55), береза—порода (0,81); в системе растение—почва: лиственница—горизонт В (0,50), брусника—горизонт В (0,35), брусника—горизонт А (0,17), рододендрон—горизонт А (0,21), береза—горизонт А (0,17). Как видно, между содержанием олова в растениях и в гумусовом горизонте почв связь слабая, более устойчивая связь — с минеральным иллювиальным горизонтом В, и наиболее тесная связь с содержанием в коренных породах.

Весьма характерно, что слабую связь олова в системе растение—почва мы отмечали и на дальневосточных оловорудных объектах и это, видимо, является общей особенностью биогеохимии олова.

В аналогичных мерзлотных ландшафтах Сибири биогеохимические поис-

ки на участках скарнового и железорудного месторождений с боратовой и сульфидной минерализацией, а также кварцево-молибденовой минерализацией проводил В. Л. Кожара [1964]. Олово как биоиндикатор он обнаружил в золе лиственницы даурской и березы кустарниковой. При этом биогеохимический ореол по олову и другим металлам четко фиксирует скрытые под делювием боратовые рудные тела.

Биогеохимические ореолы рассеяния олова по его содержанию в березе, ольхе, кедре, ели и осине (листья, хвоя, ветки) установил В. И. Тестов [1966] в Восточной Сибири при биогеохимических поисках мусковитоносных пегматитов. Здесь биоореолы олова ассоциируют с аналогичными ореолами редких и рассеянных элементов — Li, Rb, Cs, La, Ga, Y, Ce и др.

Четкие биогеохимические ореолы рассеяния олова как элемента-индикатора выявили Л. И. Грабовская и Г. А. Кузьмина [1971] при поисках редкометалльных месторождений в районе массива бериллоносных апогранитов, расположенного в лесной заболоченной зоне с развитием сплошной многолетней мерзлоты Сибири. Бериллиевое оруденение связано с альбитизированными и грейзенизированными лейкократовыми гранитами и сопровождается повышенным содержанием Li, Rb и акцессорной примесью Mo и Sn. Оказалось, что помимо Be и Li, биогеохимический ореол максимальной концентрации Sn в золе растений (0,015—0,30%) отмечается там, где в коренных породах содержится наибольшее количество металла, и ореол четко оконтуривает рудный массив бериллоносных апогранитов (рис. 45). Среднее содержание олова в основных растениях-концентраторах непосредственно над рудной зоной составляет, %: лиственница даурская (ветви, хвоя) — 0,044, сосна сибирская (ветви, хвоя) — 0,043, береза кустарниковая (ветви, листья) — 0,043, рододендрон (стебель, листья) — 0,043, брусника (стебель, листья) — 0,046, багульник (стебель, листья) — 0,045.

Кроме того, олово установлено в ольхе, березе обыкновенной, в ягеле, во мхах. Весьма характерно, что величины отношения его содержаний в различных видах растений остаются практически постоянными на всей площади массива, колеблясь от 0,95 до 1,05. Наименьшие концентрации олова во всех опробованных видах отмечаются в растениях из безрудных участков. По мере приближения к рудному массиву содержание олова в растениях возрастает, и на основной его площади концентрации металла превышают фон в 3,5—4 раза, а непосредственно над рудной зоной выше фона в 19—20 раз. Такое соотношение между содержанием олова в растениях и оруденением не случайно, поскольку между концентрациями олова в растениях и коренных породах установлена прямая положительная корреляционная связь — значение коэффициента корреляции: лиственница—порода — 0,65, брусника—порода — 0,72, багульник—порода — 0,67, береза кустарниковая—порода — 0,52.

Наиболее существенные результаты по изучению содержания олова в растениях на территории Сибири получили А. М. Иванова и др. [1970, 1974] при изучении геохимических ландшафтов Яно-Индибирского региона, в северо-восточной части Якутии. Особенностью этого региона является сплошное развитие в нем многолетнемерзлых ландшафтов, а с точки зрения минерализации — наличие сульфидно-касситеритового оруденения и оловяносных скарнов Полоусного кряжа. Поэтому здесь представилась возможность изучить геохимию как «стерильных» ландшафтов — на гранитах, на карбонатных и терригенных юрских породах, так и «рудноносных» — на

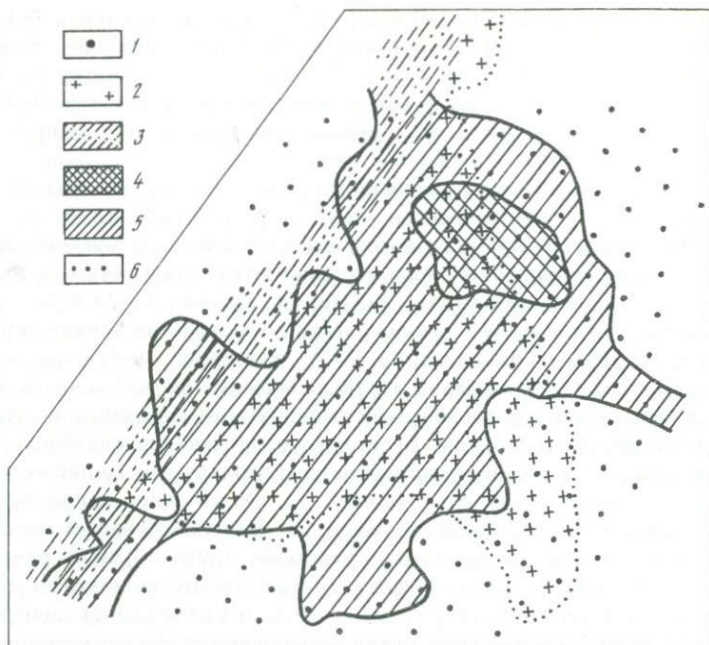


Рис. 45. Схема распределения олова в бруснике над массивом апогранитов (по Л. И. Грабовской и Г. А. Кузьминой, [1971])

1 — пункты биогеохимического опробования; 2 — апограниты; 3 — зоны тектонических нарушений; 4, 5 — содержание олова в золе брусники, %: 4 — 0,015—0,3; 5 — 0,007—0,014; 6 — граница гранитного массива

участках с оловянной минерализацией. Опробованию подвергались деревья, кустарники, кустарнички, мхи, лишайники и торф.

В «стерильных» ландшафтах среднее содержание олова в золе растений 0,001—0,002%. Так, в ландшафтах на гранитах олово с содержанием 0,001% установлено в кедровом стланике, в березе карликовой, багульнике, ягеле, мхах, лишайниках и только в ольхе кустарниковой оно достигает 0,002%, на терригенных породах юры — 0,001% в торфе и в лишайниках, на карбонатных породах — 0,001% в багульнике. Повышенное содержание олова — до 0,0013% и 0,002% установлено в ягеле соответственно в ландшафтах на аллювиальных образованиях.

В «рудноносных» ландшафтах северной части Полоусного кряжа, в бассейнах рек Хромы, Берелеха, Тенкели, Кельгичей среднее содержание олова в растениях, %: листовница даурская — 0,004; береза карликовая — 0,01; ива полярная — 0,01; багульник — 0,03. В этих ландшафтах по значению положительных коэффициентов парной ранговой корреляции олово в растениях коррелирует со следующими металлами-спутниками: Ва — 0,42; Cu — 0,39; Fe — 0,47; Ga — 0,33; Mg — 0,30; Mn — 0,48; Ni — 0,42; Pb — 0,40; Ti — 0,30; V — 0,11; Zn — 0,24; Zr — 0,23; Sr — 0,56; Cr — 0,63.

Наличие олова в растениях на «стерильных» и «рудноносных» ландшафтах отражает геохимическую специализацию коренных пород Яно-Индигирского

региона с точки зрения его оловоносности, т. е. зола растений регионально обогащена оловом и его спутниками — Pb, Ag, Zr, Sr и др. Геохимическая специализация коренных пород — субстрата ландшафтов региона проявляется не только по растениям, но и по почвам, содержащим олово, %: скелетные островные бескарбонатные на гранитах — 0,0008—0,002, скелетные островные на терригенных юрских породах — 0,001, скрытоподзолистые бескарбонатные на терригенных породах — 0,002, скрытоподзолистые бескарбонатные на рыхлых образованиях (аккумулятивные ландшафты) — 0,0001—0,002, слабо развитые оглеенные аллювиальные (аккумулятивные пойменные ландшафты) — 0,0007—0,001, торфяно-болотные — 0,0009, торфянистые оглеенные супесчаные и суглинистые — 0,0001—0,0039. При этом гумусовый горизонт почв обогащен оловом и его спутниками как отражение биогенной аккумуляции в ландшафтах. КБП олова в растениях, близких к 1 и больше, также свидетельствуют о достаточно высоком накоплении этого металла, несмотря на многолетне-мерзлотные ландшафты региона, и концентраторами олова и его спутников являются мхи, лишайники, багульник, береза карликовая, лиственница даурская. Мхи и лишайники в регионе отличаются повышенным фоном олова — 0,002%, а в обычных растениях геохимический фон равен 0,001%.

Ореолы рассеяния олова в разных видах растений и торфа на участках оловянной минерализации совпадают и характеризуются многокомпонентностью, т. е. помимо Sn, содержат Pb, Mo, As, V, La, Sb, Ag и расположены в непосредственной близости к коренным источникам. Контрастность биогеохимических аномалий олова в пределах ореолов колеблется от 2,5 до 20 единиц и она выше литогеохимических в 1,5—2 раза. Ягель и багульник — наиболее четкие концентраторы олова, по которым на ряде участков были установлены биоаномалии.

По ландшафтным условиям, по особенностям металлогении олова и непосредственно по оловянной минерализации Яно-Индибирский район во многом похож на северную часть Дальнего Востока. Поэтому не случайно основные растения-концентраторы олова этих регионов одни и те же — мхи, лишайники, багульник, лиственница, береза карликовая, а также торф.

Как отмечали А. М. Иванова и др. [1974], в рассматриваемом регионе не обнаружено ложных биогеохимических аномалий олова, не связанных с оловянным оруденением, т. е. нет растений, которые избирательно накапливают олово до аномальных концентраций из коренных пород с кларковым содержанием металла.

В Яно-Индибирском районе, в частности на Восточно-Полосуенском массиве, содержание олова в растениях на сульфидно-касситеритовых проявлениях установлено И. С. Егоровой [1970]. Особенно показателен в этом отношении ягель и торфяники в целом, по которым контрастность биоаномалий достигает 4—7 единиц. Спутниками Sn в растениях являются Ag, Mo, Pb, Y, La, Ce, Ba, Cu, Zr, Be.

В южной части Яно-Индибирской низменности, на площадях с сульфидно-касситеритовым оруденением (участок Тенкели) биогенные ореолы рассеяния олова изучены И. С. Постновым [1970]. Содержание Sn (от 0,004 до 0,03%) определено в ветвях багульника, лиственницы, березы, ивы, ольхи и его спутников, %: Ag — 0,001—0,005; Cu — 0,02—0,05, Pb — 0,002—0,004; Zr — 0,02—0,1. Оказалось, что состав микроэлементов в золе опробованных растений отражает геохимическую специализацию почв и рых-

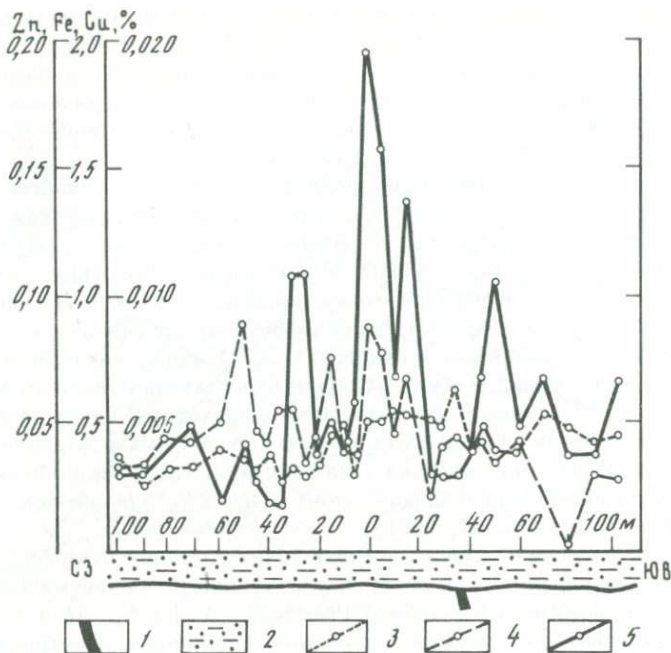


Рис. 46. Биогеохимический профиль через касситерит-сульфидную жилу (по О. П. Иванову [1967])

1 — рудная жила; 2 — покровные отложения; 3—5 — содержание химических элементов в золе ветвей лиственницы: 3 — Fe, 4 — Zn, 5 — Cu

лых пород. На «стерильных» участках фоновые значения большинства элементов в растениях, в том числе и олова, в 2—8 раз ниже, чем на зонах оловянного оруденения.

Возможность биогеохимических поисков оловянных руд в условиях многолетне-мерзлотных ландшафтов Якутии показал О. П. Иванов [1967] при опытных исследованиях по выявлению рудных жил в районе Улахан-Эгеляхского касситерит-сульфидного месторождения. Важно то, что рудные жилы были выявлены не по олову, а по его спутникам, т. е. металлам-индикаторам оруденения (рис. 46). Как видно, касситерит-сульфидная жила четко фиксируется аномальными содержаниями Cu, Zn, Fe в золе ветвей лиственницы даурской. По заключению О. П. Иванова [1967], применение биогеохимического метода в многолетне-мерзлотных ландшафтах более перспективно, чем литогеохимического. Это связано с тем, что в деятельном слое мерзлоты, который характеризуется большим водонасыщением, местные различия в содержании микроэлементов в близповерхностном слое почвы сглаживаются или вообще уничтожаются. Корневая же система растений, в частности лиственницы даурской, распространяется на всю глубину деятельного слоя, оттаивающего в летний сезон, непосредственно контактирует с оруденением и по содержанию металлов в растениях более точно отражает локальные повышения рудных компонентов в подпочвенном слое. Возникают контрастные биогеохимические аномалии, а глубинность метода достигает 5—10 м.

На территории Якутии олово как индикатор обнаружено в растениях, распространенных на площади золоторудных месторождений куранахского типа [Разин, Рожков, 1966]. Так, содержание Sn до 0,003—0,005% установлено в багульнике болотном, чернике и голубике, причем наибольшее содержание олова, так же как и Pb, Cu, Ag, Bi, в багульнике отмечается осенью — в сентябре и октябре.

На территории Якутии, на оловянно-редкометалльным и оловянно-полиметаллическом месторождениях, Г. П. Лапаев [1975, 1981, 1982] произвел опытное применение биогеохимического метода путем опробования водных мхов. На первом месторождении в золе водных мхов среднее содержание Sn 0,012% (максимальное — 0,2%) при фоне 0,0009%, на втором — наибольшее содержание Sn 0,003% при фоне 0,0006%. На участках с золотым оруденением по водным мхам также были выявлены аномалии олова как индикатора этой минерализации.

Таким образом, на обширной территории Сибири (Читинская, Иркутская области, Бурятия, Якутия, Тува) в рудных районах имеются растения, накапливающие олово. Поскольку на большей части Сибири развиты мерзлотные ландшафты, то преобладающими видами среди растений-концентраторов являются мхи, лишайники, лиственница даурская, береза карликовая, рододендрон, багульник и др. Однако олово в растениях рудных районов Сибири выполняет роль биоиндикатора в основном неоловянных руд — полиметаллических, редкометалльных, вольфрамовых, золотых и т. д., за исключением Восточного Забайкалья, где по олову в растениях фиксируются оловорудные тела.

Казахстан

Впервые данные о содержании олова и его спутников в растениях Казахстана были получены Л. И. Грабовской и др. [1963, 1965]. В единичных пробах в количестве тысячных долей процента Sn установлен в ковылях, в полынях, в таволге вместе с Be, Mo, Pb, Cu.

В конце 60-х годов опытные исследования по возможности применения биогеохимического метода в условиях Тургайского прогиба провели А. С. Прокофьев и В. С. Черепанов (1972 г.) на различных рудных месторождениях. Так, на золоторудном проявлении Sn обнаружено, ‰: в ковыле — 0,003, типчаке — 0,0006, в полынях — 0,0005 при фоне 0,0002. Спутники Sn в указанных растениях — Ag, Cu, Zn, Pb, As, Sb. На участке со скарновым оруденением эти исследователи обнаружили Sn, ‰: в ковыле — 0,00028, в полынях: понтийской — 0,00022, эстрагон — 0,0002. По их заключению Sn наряду с Mo, Cu, Zn, Pb, As можно использовать при прямых биогеохимических поисках руд этих металлов, привлекая дополнительные индикаторы — V, B, Cr, Ni.

В. П. Иванчиков и др. (1969 г.) провели биогеохимические исследования на различных полиметаллических месторождениях Центрального Казахстана, в которых олово рассматривается как примесь в рудах. Так, на свинцово-цинковом месторождении наличие Sn в полыни австрийской отмечено в единичных пробах в количестве 0,0003—0,004%, а его спутников — Ag — до 0,01%, Pb — до 0,5%. На другом свинцово-цинковом месторождении содержание Sn в полынях, ковыле, типчаке, солодке и карагане достигает 0,0002—0,0006%. Рудные тела здесь закрыты рыхлыми образо-

ваниями (песками) мощностью до 30 м, тем не менее они четко оконтуриваются биогеохимическими ореолами Sn и его спутников — Ba, Pb, Ag. Хотя контрастность биоаномалий олова и незначительна, поскольку олово в рудах содержится в виде аксессуарной примеси в галените и сфалерите, но его индикаторные качества в фиксировании оруденения высоки.

На молибденовом месторождении с попутной вольфрам-медь-висмут-бериллиевой минерализацией олово в рудах содержится до 0,001—0,01%, т. е. в незначительном количестве. Однако в растениях выявлены четкие биогеохимические ореолы олова с содержанием в полынях — до 0,0003—0,001% и в лишайниках — до 0,002%. Следовательно, при минерализации этого типа олово также является прекрасным дополнительным биоиндикатором.

По заключению В. П. Иванчикова [1975], наиболее благоприятные объекты для биогеохимического опробования в условиях Центрального Казахстана — различные виды полыней, концентрирующие олово наряду с другими металлами.

В Восточном Казахстане, в одном из районов Северо-Западной Калбы, биогеохимические поиски комплексных касситеритсодержащих вольфрамовых месторождений провели В. Н. Кайманов и др. [1974]. Для биогеохимического опробования был выбран участок на фланге месторождения, перекрытого элювиально-делювиальными образованиями мощностью до 3 м. Оруденение представлено кварц-вольфрамовыми жилами с касситеритом, вольфрамитом, пиритом, арсенипиритом, галенитом, халькопиритом. Основными объектами опробования были полынь и ковыль-волосатик. Установлено, что указанные растения накапливают Sn, W, Bi, Be, Mo, Ag, Co, Li, которые обнаружены в биогеохимических пробах лишь в местах их повышенного содержания в почвах и в почвообразующих породах. Серии кварцевых жил с вольфрамитом, касситеритом и другими минералами четко фиксируются биогеохимическими аномалиями Sn, W, Bi, Li, реже — Mo, Ag, Co, Be. В золе растений содержание металлов колеблется, %: Sn — 0,0002—0,002, Pb — 0,001—0,005, Cu — 0,005—0,01, Zn — 0,005—0,01, V — 0,002—0,01, Be — 0,0002—0,0003, Zr — 0,005—0,02, Co — 0,0002—0,003, Bi — 0,0002—0,004, W — 0,002—0,03, Mo — 0,0002—0,002, Ag — до 0,001, Li — 0,01—0,04. По заключению указанных исследователей в условиях Восточного Казахстана (Семипалатинская область) на участках, где основным эдификатором растительного покрова является полынь и частично ковыль-волосатик (тырса), биогеохимические поиски могут успешно проводиться на Sn, W, Bi.

Способность полыней концентрировать олово в условиях Казахстана установил В. В. Добровольский [1961] при изучении малых элементов в почвах и растениях Устюрта. Кроме полыней, олово обнаружено в других наиболее распространенных в данном регионе растениях — биюргуне и боялыче — до 0,0005%. При этом встречаемость металла выше в пробах из корней этих растений по сравнению с пробами из надземной массы, хотя содержание в весовых процентах в них одинаково и КБП достигает 1.

С. И. Сотникова [1970] при изучении геохимии ландшафтов в Южных Мугоджарах обнаружила Sn в золе луговой и болотной растительности долины р. Кундузды, в частности в осоках, ракитнике, ситнике, лилии, тростнике, иве в пределах 0,0001—0,012% при фоне 0,0012%. Установлено, что отдельные виды растений интенсивно накапливают Sn и его спутник —

Pb, что, по ее мнению, является систематическим признаком этих растений и лугово-болотной растительности в целом.

Повышенное содержание олова в растениях луговых и болотных ценозов в речных долинах, приуроченных к зонам разломов (в частности р. Шетиргиз в Южных Мугоджарах), установила С. И. Сотникова [1971]. КБП олова в растениях здесь достигает 0,26—0,32, в пробах отмечается повышенная концентрация спутников Sn—Cu, Mo, Ag, реже — Zn при низком (кларковом) содержании их в почве.

Весьма характерно, что в этом регионе, в долине р. Иргиз, С. И. Сотникова [1972] обнаружила резко выраженную концентрацию олова в золе рдестов стеблеобъемлющего, плавающего и блестящего. Концентрация Sn в золе этих видов 0,03—0,05% (до 0,08%), что на два порядка выше по сравнению с другими растениями и почвами. По-видимому, свойство рдестов накапливать олово является систематическим признаком этих растений, которые надо рассматривать как универсальные концентраторы олова. КБП в рдестах 200—500 единиц.

По данным А. И. Перельмана и др. [1982], содержание Sn в золе растений, произрастающих в ландшафтах, сформированных над зонами разлома в Южных Мугоджарах, 0,00008—0,0008% (в среднем 0,0003%). КБП достигает 12—15. Источником олова для таких ландшафтов являются трещинные воды, содержащие ионы олова и циркулирующие в зоне разлома. Основу растительного покрова в долинах рек, приуроченных к разломам, составляют лугово-болотные виды, содержащие олово, — осоки, тростник, лилии, ива, пырей, кровохлебка, лапчатка, тысячелистник.

В Южном Казахстане, в песчаных пустынях Прибалхашья, биогеохимическую съемку проводили А. Е. Ермакбаев и др. [1966, 1969], исходя из перспектив этого региона на обнаружение оруденений меди и других элементов по геофизическим данным. Мощность аллохтонных отложений достигает 50 м, а уровень залегания грунтовых вод — 4—5 м. Опробование ряда растений — терескена, кокпека, белого саксаула, эфедры, тамарикса и других — дало возможность установить в них Sn, а также его спутники — Cu, Pb, Zn, Mo, Cr, Ni, As, Bi, Ag, Ge, V, Ba, Mn, P. Содержание Sn в пробах растений обычно 0,003—0,005% и только на аномальных участках в единичных пробах тамарикса достигает 0,003%. Как спутник Sn Ag концентрируется в пробах терескена до 0,01%, а Ge установлен только в тех пробах, где содержатся аномальные количества Sn. На основании полученных данных А. Е. Ермакбаев и др. [1966, 1969] пришли к выводу, что в условиях песчаных пустынь Южного Прибалхашья биогеохимическая съемка является дешевым и эффективным поисковым методом руд различных металлов, в том числе и олова.

Возможность применения биогеохимических поисков полиметаллических руд А. Е. Ермакбаев [1969] показал на примере Тууюкского рудного узла в условиях лугово-лесной зоны Северного Тянь-Шаня на абсолютных высотах до 2600 м. Оказалось, что все рудные тела фиксируются локальными биогеохимическими аномалиями металлов в ели тянь-шаньской и в табылге (таволожник). Наибольшие содержания в растениях основных металлов руд, %: Pb — 0,1—0,8, Zn — 0,3—0,2, Cu — 0,003—0,004, Ag — 0,00027. Олово на этом объекте является хорошим индикатором полиметаллических руд, содержится в растениях над рудными телами — до 0,001—0,003%. Кроме него, отмечены дополнительные биоиндикаторы, %: Mo (0,0001—

0,001), Co (0,001—0,003), Ni (0,01—0,02), As (до 0,005), Bi (до 0,0002), Be (0,0002—0,001), V (0,01—0,02), Ba (0,1—0,5), Mn (0,6—1,0), Ti (0,5—0,7). Наиболее четкие биоаномалии металлов, соответствующие рудным телам, фиксируются по содержанию их в пробах из древесины ели. По заключению А. Е. Ермакбаева [1969], выявлено несколько комплексных биогеохимических аномалий Pb, Zn, Sn и других металлов за пределами известных рудных тел, аномалий, не обнаруженных ранее литогеохимическими методами.

К. И. Кузина [1971] показала, что в условиях ландшафтов полупустынь и сухих степей, где основными группировками в растительном покрове являются солянково-эфемеровые, тимьяно-разнотравно-злаковые и полынно-разнотравные, олово в растениях оказалось хорошим спутником бора. Отмечено, что в подземных частях растений его содержится больше, чем в надземной части, а КБП достигает 1—3.

Таким образом, имеющиеся в настоящее время материалы по биогеохимии олова на территории Казахстана отражают специфику климатических и соответственно растительных особенностей этого региона. В частности, основными растениями-концентраторами олова являются полыни, ковыли, рдесты, тамарикс, саксаул и др. В то же время в долинах рек встречаются растения-концентраторы, характерные для гумидной зоны — ива, тростник, осоки, лилии, крохоблюбка и другие травы.

Средняя Азия

Присутствие олова в растениях на рудных месторождениях и оловорудных проявлениях Средней Азии установлено в основном на территории Узбекистана. Впервые эти материалы в 1955—1956 гг. получили К. З. Закиров, М. А. Риш и В. И. Ездаков [1959], проводившие биогеохимические исследования на рудных месторождениях шеелита и касситерита. Оказалось, что растения более чувствительны к фиксированию рудных тел, чем верхний горизонт почв. Так, Sn в открытых ореолах рассеяния установлено, ‰: в полынках — 0,004—0,008, васильке — 0,002, в травосмеси — 0,001. На участках, перекрытых мощной (до 20 м) толщей современной коры выветривания, Sn определено, ‰: в зоннике — 0,001, васильке — 0,002, котовнике — 0,003.

Эти исследователи подчеркнули большое значение в накоплении олова и других металлов различных видов полыней, имеющих мощную корневую систему. В Средней Азии эти низкорослые ксерофитные полукустарники широко распространены и имеют значение эдификатора растительных ассоциаций. Хотя отмеченные растения в течение вегетационного периода испаряют большой объем воды, зольность их невелика — 7—8% от сухого вещества. Несмотря на низкую зольность, они накапливают повышенные количества рудных металлов, в частности олова. По мнению К. З. Закирова и др. [1959], эти свойства полыней исключительно ценны для биогеохимических поисков Sn, W и их спутников — Be, Bi, Co, Zn.

Интересные данные по биогеохимии олова как индикатора различных рудных месторождений — полиметаллических, медных, колчеданных, золоторудных, хромитовых и т. д. получили Р. М. Талипов и др. [1966, 1971, 1974]. Так, при биогеохимических исследованиях на полиметаллических рудопроявлениях в Северном Тамдытау (Западный Узбекистан) Sn в растениях обнаружено в количестве 0,0004—0,001%, что в 4—10 раз выше геохими-

ческого фона региона и в 5 раз превышает растительный кларк (0,0005%). Наличие этого металла в растениях (в полыни, солянке, саксауле, ковыле, ежовнике) может служить косвенным поисковым признаком на наличие первичных сульфидных рудных тел на глубине. Спутники Sn в растениях, в частности в полыни, %: Ag — 0,0003, Cu — 0,008, Pb — 0,02, Mo — 0,005, Zn — 0,02, As — 0,008, Ni — 0,03, Cr — 0,04, Au — 0,00022.

В Тамдынских горах в Центральных Кызылкумах, где преобладают фитоценозы, состоящие из полыней, солянок, эфедры, каррака, олово оказалось хорошим индикатором золоторудных и медно-колчеданных проявлений. Его содержание в золе отмеченных растений 0,00006—0,001%, хотя встречаемость в пробах не превышает 5%. Спутниками Sn по индикации этих оруденений являются Cu, Pb, Zn, Ag, Mo, Co, Sb, As, Cr, Ni. Отмечено большое значение при биогеохимических съемках опробования полыни [Чернявский и др., 1982].

Р. М. Талипов и К. К. Карабаев [1978] установили наличие Sn в количестве 0,00004—0,0005% в жимолости, спирее и миндале на золоторудных проявлениях Чаткало-Кураминского региона Узбекистана. Постоянными спутниками Sn в этих растениях являются Mn, Pb, Cu, Zn, Cr, Mo, реже — Sb, Bi, W. Причем содержание Sn в миндале хорошо коррелирует с концентрацией Zn, Cu, W, Cr, Ag. Гумусовый слой почв также обогащен Sn, Cu, W, Mo, Cr, Co. Авторы приводят сравнительные данные о содержании Sn и его спутников по регионам Узбекистана. Оказалось, что в растениях Центральных Кызылкумов (полынно-солянковые фитоценозы) Sn, Cr, Ni, Co накапливается в 10—15 раз больше, чем в Чаткало-Кураминском регионе (жимолость-спирея-миндалевые фитоценозы). Как показал Р. М. Талипов [1980], эти различия в содержании олова и его спутников обусловлены не только разными растительными ассоциациями, но и различными генетическими типами минерализации, что установлено на скарно-щелочном, сурьмяно-ртутном, редкометалльно-полиметаллическом и скарно-железородном рудопроявлениях Средней Азии.

При биогеохимических исследованиях в пределах Кураминского хребта в бассейне р. Ангрен (Западный Тянь-Шань) присутствие Sn в растениях установила Н. Л. Загребина [1971], в частности в следующих видах, %: в розе кокандской — 0,00026, в солодке — 0,00042, в прангосе — 0,0002, в феруле — 0,00012, в мяте азиатской — 0,00001, в жимолости — 0,008. Хотя содержание олова в растениях низкое, но оно резко колеблется в зависимости от вида — от 0,00001 до 0,008%. Поэтому жимолость можно рассматривать как четкий концентратор олова в условиях горных ландшафтов Узбекистана. Установлено, что содержание Sn в растениях зависит от петрографического состава почвообразующих пород. Так, концентрация Sn в золе ферулы на гранодиорит-порфирах 0,00005%, а на андезитов-дацитовых порфирах и их туфах — 0,0002%.

По данным Н. Н. Васильевой и др. [1972], среднее содержание Sn в золе ряда растений Алмалыкского рудного района в Узбекистане, %: ситник — 0,00003, каперс — 0,000028, роза — 0,00026, солодка — 0,00042, прангос — 0,00002, ферула — 0,00012, мята — 0,00003, жимолость — 0,008, во всех растениях в целом (объединенная проба) — 0,00044.

Ю. Г. Юсулов и Р. М. Талипов [1966, 1969] установили присутствие олова в растениях при ландшафтно-геохимических исследованиях в Кураминских горах на олово-сульфидных и грейзеново-кварц-касситеритовых

рудопроявлениях. Фоновые содержания элемента в золе растений 0,5 мг/кг, а наибольшие — 100, и спутниками Sn являются Pb, Zn, Cu, Ag, характерные, как правило, для серебро-свинцовых, полиметаллических и олово-сульфидных месторождений. Среди крестовников этими исследователями выявлен концентратор олова — *Senecio jacobinifolius* N. Pav.

Важно, что установлен предел концентрации олова в растениях — до 0,1% [Юсупов, Талипов, 1969].

По данным Н. Д. Лежневой [1980], четкие биогеохимические ореолы рассеяния олова были получены при опробовании полыни согдийской на одном из касситеритовых рудопоявлений в Зирабулакских горах, в полупустынно-степной зоне. Выбор этого растения для биогеохимического опробования был обусловлен его господствующим распространением в районе в составе эфемерово-полынных сообществ. Оказалось, что олово обнаружено более чем в 50% биогеохимических проб и встречается в полынках непосредственно в пределах рудной зоны с местным геохимическим фоном 3 г/т. Над рудными телами содержание его достигает 10—15 г/т, при этом многолетние старые стебли полыней концентрируют до 10—20, а молодые — 1—5 г/т, т. е. характерно акропитальное поглощение. КБП олова в полынках равен 3 единицам, а коэффициент контрастности аномалий достигает 19 единиц. Установлено, что прекрасным биогеохимическим индикатором оловяного оруденения является *Vi*. Этот металл обнаружен во всех растительных пробах, отобранных в рудной зоне со средним содержанием 5, а максимальным — 20—25 г/т. За пределами оруденения *Vi* встречается в единичных пробах в количестве 0,2—0,3 г/т. По заключению Н. Д. Лежневой [1980], *Vi* как индикатор может быть использован при биогеохимических поисках оловяно-рудных месторождений, что однозначно согласуется с нашими исследованиями, проведенными на Дальнем Востоке.

Таким образом, в условиях Средней Азии олово накапливается в растениях как на оловяно-рудных с существенно касситеритовой минерализацией, так и на неоловяно-рудных — полиметаллических, редкометалльных, золоторудных и прочих месторождениях, имеющих различную степень минерализации, обусловленную содержанием олова в почвах и в коренных почвообразующих породах. В первом случае олово переходит в почвы непосредственно из оловосодержащих минералов путем растворения касситерита, частично станнина и тиллита, а во втором — в процессе выветривания сульфидных минералов, содержащих изоморфную аксессуарную примесь олова. Основными растениями-концентраторами этого металла, как и в Казахстане, являются полыни, солянки, ковыль, саксаул и др., т. е. типичные представители полупустынных и пустынных фитоценозов. Следовательно, в условиях аридной зоны, как и гумидной, олово является прямым биогеохимическим индикатором для оловяно-рудных и косвенным — для полиметаллических, редкометалльных и других рудопоявлений и месторождений, содержащих в рудах аксессуарную примесь этого металла.

В целом для зоны сухих степей и полупустынь Казахстана и Узбекистана Н. Н. Васильева и др. [1972] рекомендуют при биогеохимических поисках опробовать следующие растения, накапливающие Sn (%): полынь — сероземная (0,001), холодная (0,001), эстрагон (0,0005), кокпек (0,0005), тасбиургун (0,0005), прутняк (0,001), биургун (0,0005), ковыль сарептский (больше 0,001), типчак (больше 0,001), карагана полукустарничковая (0,0005), астрагал (0,0005), качим (следы).

На Урале пока не открыты крупные оловянные месторождения, однако олово в растениях обнаружено в пределах всего Урала — Южного, Среднего, Северного и Полярного как на полиметаллических рудопроявлениях, так и в «стерильных» ландшафтах.

На Южном Урале, в пределах Буруктаьльского гипербазитового массива, олово в растениях обнаружила М. Д. Скарлыгина-Уфимцева [1970, 1971]. Встречаемость Sn в флорометрических пробах составляет 73%, среднее содержание — 0,0001, а наибольшие количества — до 0,00025% — отмечены в пырее, ирисе и спирее. КБП Sn в указанных видах близок к 1. Спутники Sn в растениях (%): Co (0,02—0,05), Cr (0,008—0,633), Ni (0,007—0,330), Ti (0,0075—0,730), Mn (0,1—0,4), V (0,001—0,01), Ag (0,0001—0,0003), Bi (0,0003), Sb (0,003—0,2), Sr (0,05—0,06), Zr (0,007—0,01), Mo (0,0003—0,001), Ga (0,0004—0,002), Be (до 0,0001). По значению коэффициента водной миграции отмеченные элементы составляют ряд в сторону уменьшения их активности: Sn, Zn, Pb, Ga, Cu, Ni, Mo, Co, Cr, т. е. Sn в ландшафтах на гипербазитовом массиве обладает большой подвижностью под влиянием подземных и инфильтрующих атмосферных вод.

Эти же исследователи установили наличие олова в растениях на медно-цинковом месторождении Южного Урала [Скарлыгина-Уфимцева и др., 1976]. Встречаемость олова в золе биогеохимических проб достигает 20%. Оказалось, что растения проявляют определенную избирательность в накоплении этого металла. Наибольшей концентрирующей способностью обладают кустарники, полукустарнички и травянистый петрофил-солнечник. Максимальное содержание Sn над рудным телом в карагане, солнечнике и полынях 0,0003—0,002%. Наибольшие концентрации Sn отмечаются в корнях растений, что сказывается на частоте обнаружения повышенных содержаний металла — свыше 40%. Из надземных органов более пригодны к биопробованию одно-двухлетние ветви кустарников. В целом распределение Sn по органам растений является малоконтрастным акропетальным. На площади месторождения содержание металла в черноземных и в лугово-черноземных почвах колеблется от 0,0003 до 0,00064%, т. е. растения более чувствительны к фиксированию олова с КБП больше 3. Таким образом, на данном объекте Sn является хорошим биоиндикатором медно-цинковой минерализации, так же как и его спутники — Bi, Pb, Mo, Ni, Co.

По данным В. Б. Черняхова [1969], содержание Sn в растительном покрове на площади Южногайского медноколчеданного месторождения (Южный Урал), в частности в сорно-полевом разнотравье, достигает 0,009, а на выявленной аномалии в районе Купоросного озера в луговой растительности — 0,3%. При этом оказалось, что концентрация Sn в корнях растений в 3 раза больше, чем в надземной части. В почвах Sn не обнаружено, т. е. имеется в количествах, выходящих за пределы чувствительности анализа.

При изучении геохимии ландшафтов Юго-Восточного Зауралья М. М. Ермолаев [1966] обнаружил в полынях, а И. Г. Побединцева [1967] определила Sn в растениях лесостепных и степных ландшафтов Оренбургской области. Здесь КБП Sn меньше 1, от 0,2 до 0,7, и наибольшие концентрации отмечаются в растениях на элювии и делювии эффузивов основного состава. По величинам КБП Sn входит в биогеохимическую

ассоциацию, представленную Cr, Ni, Ti, Co, Zr. Содержание Sn в почвах региона 0,0003—0,0004% [Побединцева, 1969].

Г. С. Макунина [1980] обнаружила олово в растениях одного из ландшафтов Южного Урала, подвергающегося систематическому техногенному загрязнению (в 1 км от действующего комбината — источника постоянного задымления). Оказалось, что повышенные содержания Sn отмечаются в листьях березы и в подстилке бурых почв с коэффициентами аккумуляции соответственно до 4—12 и до 3—7. Спутниками Sn в этом случае являются Cd, As, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, Sb, Sc.

На Среднем Урале олово обнаружено в растениях рядом исследователей. По данным Д. Л. Поскотина и др. [1969], олово оказалось хорошим биоиндикатором медноколчеданных и редкометалльных месторождений. Так, среднее содержание металла в листьях березы и осины, а также в хвое сосны на площади Ново-Шайтанского медноколчеданного месторождения — 0,06, а максимальное — 0,15%, при этом только непосредственно над рудным телом. Средний коэффициент аномальности — 20, а максимальный — 50. Одновременно рудное тело по профилю четко фиксируется повышенным содержанием в растениях Cu, Pb, Zn, Ag, Mo.

На редкометалльном месторождении повышенные содержания Sn в растениях фиксируют рудные тела вместе с Be, Li, F, Cu, Pb, Mo, Zr, Ti.

Указанные исследователи относят олово к прямым второстепенным биоиндикаторам медноколчеданного и редкометалльного оруденений и считают, что оно может быть использовано при эффективных биогеохимических поисках в районах с мощностью покровных образований до 10—15 м.

На Среднем Урале с целью установления возможности применения биогеохимического метода поисков медноколчеданных руд Г. С. Макунина [1972] провела исследования в ландшафтах, сформированных на Кабанской рудоносной полосе. Оказалось, что наряду с другими металлами олово является хорошим биоиндикатором оруденения при опробовании листьев, ветвей и коры березы. В «стерильных» ландшафтах содержание олова в биопробах не превышает 0,0003%, в частности в автономных и элювиально-аккумулятивных ландшафтах на эффузивно-осадочных породах, на кварц-серицитовых сланцах и на плагиогранитах. По значению КБП меньше 1 Sn находится в ассоциации с Mo и Co. На участке геохимической аномалии содержание Sn достигает 0,0005—0,0007%, т. е. в 2—3 раза выше, чем на безрудных площадях. При этом установлено, что кора березы активнее концентрирует Sn и сопутствующие металлы — Zn, Pb, Ag, Mo, Ba, Co, Ni, чем ветви с листьями, а максимальные содержания указанных металлов в золе березы, в коренных породах и в продуктах выветривания пространственно совпадают.

По данным А. М. Кропачева [1973], современная древесная растительность Среднего Приуралья наряду с другими микроэлементами содержит олово, особенно в листьях и хвое. КБП металла в хвойных деревьях 2, а в лиственных 1,5. Кроме того, в хвойном и лиственном опаде содержание Sn (среднее в мг/100г сухого вещества): пихты — 0,03, ели — 0,01, сосны — 0,015, осины — 0,03, березы — 0,06.

Наличие олова в торфах Среднего Урала в тысячных долях процента отмечали А. М. Кропачев и Л. А. Брагина [1966], Ю. А. Нечаев и Б. С. Финкель [1963], Е. И. Тараканова [1968].

На Северном Урале при опытных работах по применению биогеохимиче-

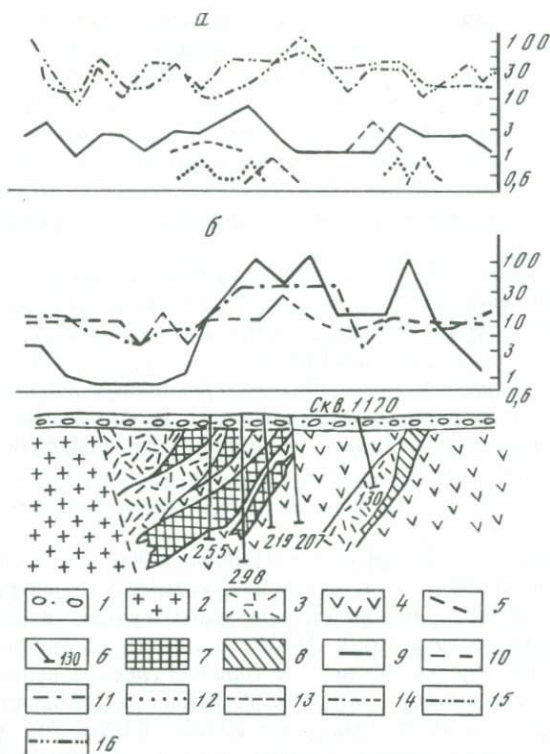


Рис. 47. Распределение содержания микроэлементов в коре выветривания (а) и в золе сосны (б) по биогеохимическому профилю в районе Тарньерского медно-колчеданного месторождения Северного Урала (по А. Я. Гаеву и И. А. Шапорову [1970])

1 — кора выветривания; 2 — диориты; 3 — альбитофиры; 4 — вторичные кварциты; 5 — линия тектонического нарушения; 6 — скважины и их глубина; 7 — медные и медно-цинковые колчеданные руды; 8 — предполагаемое рудное тело; 9—16 — содержание металлов: 9 — Pb, 10 — Cu, 11 — Zn, 12 — Ag, 13 — Cr, 14 — Sn, 15 — Ba, 16 — Sr

ского метода поисков медноколчеданных руд в окрестностях Тарньерского месторождения положительные биоиндикаторные свойства олова установили А. Я. Гаев и И. А. Шапоров [1970]. Первичные руды месторождения, содержащие аксессуарную примесь олова, представлены пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, блеклыми рудами. В зоне окисления среди вторичных минералов установлены гидроокислы железа (гётит, лимонит, гематит), малахит, азурит. Растительный покров в районе представлен преимущественно сосновыми и частично елово-кедрово-пихтовыми лесами, развитыми на подзолистых и подзолисто-болотных почвах. Опробование коры, хвои и веток сосны позволило выявить над рудными телами биогеохимические ореолы рассеяния не только Cu, Pb, Ag, Zn, Cr, Ba, Sr, но и Sn (рис. 47). Весьма важно, что биоореолы Sn и его спутников над рудными телами совпали по результатам зимнего и летнего опробования по сети 200×50 м. Наибольшие содержания металла в сосне достигают $0,03\%$ непосредственно над медно-колчеданными рудными телами.

По заключению А. Я. Гаева и И. А. Шапорева [1970], биогеохимический метод сульфидных руд в условиях Северного Урала с использованием основных и второстепенных металлов-индикаторов, в частности олова, по своей эффективности не уступает металлометрическому. Особенно высоко эти исследователи оценивают применение метода в зимних условиях, что увеличивает продолжительность полевого сезона в целом и непосредственно время на проведение поисков. Для северных регионов страны это весьма важно, так как они характеризуются коротким летом и продолжительной зимой.

Р. Г. Ибламинев и А. М. Кропачев [1966] установили олово в сфагновых мхах верховых болот Северного Урала. Содержание его достигает тысячных долей процента, встречаемость в 115 биопробах 67%, а КБП — 8. Спутники Sn: Co, V, Cr, Pb, Zr, Mo, Ag.

На Полярном Урале в ландшафтах на различных породах содержание олова в золе низших растений установила Н. В. Алексеева-Попова [1970, 1972]. Так, содержание металла в лишайниках на гипербазитах в среднем 0,002, а на сланцах — 0,003%. В зеленых мхах Sn на гипербазитах 0,006, а на сланцах — 0,003%, спутники Sn в этих видах растений: Ti, Pb, Mo, Ni, Cr.

Т. А. Парибок и Н. В. Алексеева-Попова [1966, 1967] определили Sn в количестве до 0,003% в золе хвощей и мхов в политрихово-плеврощевых ландшафтах Приполярной уральской тундры и лесотундры на территории северо-востока Коми АССР. В других растениях содержание Sn ниже чувствительности анализа. В торфяно-глеевых почвах концентрация металла не превышает 0,001%, т. е. КБП его достигает 3. Спутники Sn во мхах (%): Pb (0,01—0,03), Cu (0,015—0,020), Mn (0,6—2,0), Ni (0,01—0,03), Co (0,003—0,004), Ti (0,04—0,2), Sr (0,01—0,05), Ba (0,01—0,07), Mo (до 0,001), Fe (1,0—5,0). Мхи тундры и лесотундры выделяются среди других растений высокой концентрацией не только Sn, но и Fe, Ti, Cu, Ni и характеризуются низкой зольностью — (2,4—3,7%), в то время как зольность других групп растений значительно выше: хвощей — 19,1%, осок — 8,0, злаков — 12,5, разнотравья — 19,3, полукустарничков — 5,7%. Биогеохимическое опробование производилось в фазе цветения — плодоношения в конце июля — начале августа, что подтверждает выявленную нами в дальневосточном регионе тенденцию к концентрации олова низшими растениями — мхами и лишайниками вообще, и в заключительной стадии вегетации растений — даже при отсутствии оловянной минерализации.

Русская равнина

Ландшафты Русской равнины с точки зрения содержания олова в растениях изучены слабо. С одной стороны, это обусловлено спецификой ландшафтов, сформированных на рыхлых, покровных суглинках, на моренных образованиях и на задровых песках с крайне низким содержанием олова, а с другой — трудностями определения незначительных концентраций олова в почвах и растениях.

Некоторые сведения о содержании олова в растениях получены Н. П. Новиковым [1973] при изучении особенностей накопления микроэлементов растениями на юго-востоке Московской области. На содержание микроэлементов исследовались стволы лиственных деревьев, стебли и корни разно-

травья в автоморфных и гидроморфных ландшафтах. Наибольшие концентрации олова отмечаются в корнях разнотравья, что в 3 раза больше, чем в стволах лиственных деревьев и стеблях разнотравья. Спутниками Sn по этому типу поглощения являются V, Ni, Cr, Cu, Mn.

Олово в почвах и растениях ландшафтов на конечных моренных грядах Калининской области установили Л. В. Алешукин и А. Н. Поляков [1969]. Среднее содержание металла в почвенных горизонтах (%): A_0 (лесная подстилка) — 0,0003, A (дернина), A_1A_2 и B — 0,0002, C — 0,0001. В растениях среднее содержание Sn, %: в хвое, в ветках и в коре сосны — 0,0001 (оно оказалось одинаковым в указанных органах, а в стволе — ниже предела чувствительности анализа), в кукушкином льне — 0,0003, в ягеле — 0,0006. Максимальное количество металла содержится во мхах и лишайниках, что лишнее раз свидетельствует о концентрирующей роли этих видов при полном отсутствии оловянной минерализации. КБП олова в сосне достигает лишь 1, а в мохово-лишайниковой растительности — 4.

М. А. Хрусталева [1980] установила олово в растениях в ландшафтах бассейна Можайского водохранилища, на юго-западном участке Смоленско-Московской возвышенности. Оказалось, что Sn вместе с Co и Ni по значению КБП относится к группе металлов среднего биологического поглощения. В целом металлы в ландшафтах района составляют ряд по степени уменьшения активности поглощения растениями: Mo—Sr—Zn—Ni—Pb—V—Sn—Co—Cr. Установлено, что в процессе развития растительных ассоциаций поглощение тяжелых металлов, в том числе и олова, не остается одинаковым, а меняется в зависимости от фенотипов, физиологических особенностей и биохимических процессов. В почвах луговых ландшафтов района установлена тенденция к аккумуляции Sn вместе с Cr и Pb, причем в летний период отмечается наибольший вынос Ni, Co, V и Sn из гумусовых горизонтов почв антропогенных ландшафтов.

Олово в почвах и в растениях Подмосковья, в частности в северной части Мытищинского района, установлено В. В. Добровольским [19636]. Так, в почвах по горизонтам на покровных суглинках содержание металла, %: A_0 — 0,0007, A_1 — 0,0006, A_2 — 0,0009, A_2/B — 0,0007, B и C — 0,0006. Среднее содержание олова в растениях, %: разнотравье (надземная часть) — 0,0007, злаки (надземная часть) — 0,001, хвоя: ели — 0,0007, сосны — 0,0008; кора: ели — 0,0008, сосны — 0,001; зеленые мхи — 0,0018, т. е. в зеленых мхах его больше в 2 раза и больше, чем в травах, а в коре древесных растений больше, чем в хвое. КБП Sn больше 1, и по этой величине он входит в ассоциацию вместе с Mn, Cu, Zn, Pb, Mo, Ag; Sn, Mo и Ag в золе растений обнаруживаются в несколько раз чаще, чем в почвообразующей породе и почвах.

Присутствие акцессорного олова в ассоциации тяжелых металлов лесостепных ландшафтов Волжско-Камского региона установили П. В. Маданов и Е. И. Иванова [1954].

Содержание олова в травянистой растительности междуречий и поймы среднего течения Оки (Тарусский район Калужской области) обнаружил В. В. Добровольский [1969]. Так, в травянистой растительности березовых рощ с разнообразным разнотравно-злаковым травостоем КБП олова в надземной массе и в подземной части одинаков и равен 1. В растительности пойменных лугов р. Оки, представленных разнотравно-бобово-злаковым составом, КБП олова в надземной массе растений 1,4, а в подземной — 1,0.

Как видно, КБП олова в пойменной растительности больше, что связано, видимо, с гидроморфизмом экологических условий. В геохимической ассоциации, помимо Sn, присутствуют Mn, Cu, Zn, Pb, Mo, Sc, Ni, Co, Nb, Be, Zr, Ga и др.

Крайний Северо-Запад

К этому региону относится территория Кольского полуострова и частично Карелия, в ландшафтах которых также обнаружено олово. Так, по данным В. В. Добровольского [1963а, 1964], в ландшафтах Кольского полуострова, в частности в Хибинском районе и в районе Луяврурта, среднее содержание Sn в покровных отложениях 0,001—0,0005%. В растениях этот металл установлен во мхах, лишайниках, камнеломках и злаках. Оказалось, что в Хибинах указанные виды концентрируют Sn лучше, чем в Луяврурте; в Хибинах: мхи — 0,007, лишайники — 0,0047, злаки — 0,0027%; в Луяврурте: мхи — 0,0035, лишайники — 0,002, злаки — 0,002%.

В почвах тундры и лесотундры Кольского полуострова присутствие олова отмечал А. А. Беус и др. [1976]. По В. В. Добровольскому [1969], КБП олова в растениях Хибинских тундр: мхи — 7,0, лишайники — 4,7, злаки — 2,7, камнеломки — 4,3, ягодниковые кустарнички — 8,3. Такие высокие значения КБП подтверждают значение этих видов как растений-концентраторов олова даже при отсутствии оловянного оруденения. Олово в растениях высотных поясов Хибинских гор установлено К. М. Рябцевой (1968 г.). Наличие олова в ландшафтах Карелии в районе Порос-озера установил Л. В. Алещукин [1976] в профиле подзолисто-аллювиальных и торфяно-болотных почв. Оказалось, что в обоих типах почв олово аккумулируется в верхних гумусовых горизонтах, т. е. соответственно в A_0A_1 и A_T до 3 мг/кг, в то время как в нижележащих горизонтах содержание его не превышает 1—2 мг/кг. Спутниками Sn по накоплению в гумусовых горизонтах являются Cu, Mn, Zn, Pb, Ni.

В Карелии же М. А. Тойкка [1966] обнаружил олово в почвах, сформированных шунгитосодержащими породами. Спутниками его являются Cu, Zn, Pb, Mn, Co, Mo, B, V, Ni, Sr, Ba, Zr, Cr, Ga, Be. Наличие такой разнообразной ассоциации металлов, включая Sn, в этих почвах обусловлено присутствием минерала группы углерода — шунгита, т. е. также биогенным фактором.

По данным В. В. Добровольского [1969], в растениях ландшафтов Северной Карелии КБП олова достигает: ель (хвоя) — 3,0; береза (листья) — 8,0; брусника (надземная часть) — 10,0; злаки: надземная часть — 4,0; подземная часть — 10,0; водяника (подземная часть) — 1,0; лесная подстилка — 3,0; торф — 1,0; ива (листья) — 3,0. В ассоциацию металлов с КБП больше 1, помимо Sn, входят Mn, Cu, Zn, Pb, Mo, Ni, Co, Ba.

Белоруссия и Прибалтика

На территории Белоруссии применение биогеохимического метода поисков руд, в том числе и олова, положительно оценивали К. И. Лукашев и В. К. Лукашев [1967]. Они особо отметили благоприятные условия использования биометода при поисках погребенных касситеритовых россыпей, залегающих на глубине до 15 м в пределах Полесья.

Биогеохимический метод в Белоруссии для поисков руд применяли Л. В. Былино и др. [1972]. В результате этим методом на территории Микашевичско-Житковичского горста и на участке Глушковичи северной окраины Украинского кристаллического щита были выявлены аномалии олова в золе березы и ольхи. Наличие аномалий олова под покровными образованиями в дальнейшем было подтверждено другими методами. Эти же исследователи применили торфометаллометрическую съемку, которая дала положительные результаты с глубиной до 10 м.

В. Е. Бордон и др. [1972] применили биогеохимический метод также на Житковичском горсте и на Украинском кристаллическом щите. Опробование березы и сосны дало возможность зафиксировать рудоносные контакты между гранитами и гранитизированными туфоконгломератами на глубине до 30 м на основе повышенного содержания Sn, Mo, Cu, Pb, Ni, Co, Cr и других металлов в золе указанных растений.

Кроме того, эти же исследователи [Бордон и др., 1973] провели опытно-методические биогеохимические поиски на Микашевичско-Житковичском горсте и на северной окраине Украинского кристаллического щита. На основании опробования листьев березы, хвои сосны и опада (лесной подстилки) был выявлен ряд аномалий Sn, Cu, Zn, Pb, Mo и других металлов в кристаллическом фундаменте, перекрытом наносными отложениями мощностью до 15—25 м.

В. К. Лукашев и К. И. Лукашев [1981] определяли содержание металлов, в том числе и олова, в гуматах торфов и торфяно-болотных почв в одном из районов Белоруссии. На участке поисков кристаллические породы фундамента, содержащие редкометалльные метасоматиты, залегают на глубине 17—30 м, т. е. перекрыты мелко- и среднезернистыми песками, супесями аллювиального, водно-ледникового и озерного генезиса. Оказалось, что в зоне предполагаемого выхода рудоносных метасоматитов выявлены четкие пики в распределении Sn, Zn, Co, Pb, V, Cu, Mo, Sb. На профиле кривые распределения Sn характеризуются несколькими пиками, отражающими, по-видимому, ряд коренных рудных тел, содержащих в составе руд примесь металла. Эти исследователи показали, что металлы, в том числе и олово, в органическом веществе почв и торфов преимущественно закрепляются в виде гуматов и фульватов, и изучение металлоорганических комплексов было использовано как новый метод для поисков рудных месторождений [Лукашев и др., 1977].

Наличие олова в ландшафтах Белорусского Полесья и Прибалтики установили В. К. Лукашев [1977], И. К. Вадковская и др. [1981].

Благоприятные перспективы биогеохимических поисков полиметаллических руд на территории Прибалтики, в частности, в различных ландшафтных условиях Эстонии, при опробовании березы, ольхи, рябины, ели, черники, брусники, кислицы, майника, папоротника отмечал Б. А. Судов [1964, 1966].

Возможность широкого применения биогеохимического метода поиска рудных месторождений в условиях Белоруссии и Эстонии подчеркнули В. К. Лукашев и Б. А. Судов [1977]. Так, на примере северо-западной части Украинского щита было доказано, что биогеохимические поиски могут успешно проводиться на лесных заболоченных площадях при мощности наносов до 20—30 м. С их помощью были обнаружены аномалии Sn, Pb, Zn и других элементов, а также оконтурены редкометалльные рудные зоны под осадочным рыхлым покровом [Галецкий, Викторова, 1968]. Эти работы

в условиях Белоруссии показали, что в ряде случаев по содержанию в золе растений (береза, осина) повышенных содержаний Sn, Cu, Ni, U и других элементов удается отметить контакты между магматическими комплексами пород, расположенных примерно на глубине до 30 м. В некоторых пробах содержание Sn достигает 0,01, Co — 0,5, Cr — 1,0, Ni — 0,5, Cu — 0,03, Zn — 1,0, Mo — 1,0, Pb — 0,1%.

В болотных ландшафтах Эстонии, где практически отсутствует древесный покров, торфогеохимический метод как разновидность биогеохимического является, по существу, единственным методом для поисков руд [Лукашев, Судов, 1977]. Глубинность метода — 5—10 м, а наибольшие содержания тяжелых металлов в золе растений отмечаются осенью. Опытные работы подтвердили высокую эффективность метода по сравнению с другими поисковыми геохимическими методами.

Украина и Молдавия

Одними из первых возможность применения биогеохимического метода поисков рудных месторождений на Украине показали Е. Ф. Эпштейн [1948] и Е. С. Бурксер [1953], а непосредственно биогеохимические ореолы рассеяния олова выявили Б. Ф. Мицкевич [1958], Е. С. Бурксер и Б. Ф. Мицкевич [1960]. Присутствие олова — до 0,001% — они обнаружили в золе растений, собранных на массиве коростеньских гранитов, содержащих акцессорный касситерит и доказали, что степень концентрации металла в золе растений прямо пропорциональна содержанию его в породах, на которых распространены фитоценозы. При этом была отмечена различная способность разных видов растений к концентрации олова. В частности, листья березы оказались наиболее чувствительными индикаторами на олово. Эксперименты по выщелачиванию олова из касситерита путем кипячения в дистиллированной, в подщелоченной и в подкисленной воде показали, что скорость перехода олова в раствор заметно увеличивается при повышении щелочности раствора [Мицкевич, 1958]. Тем самым была показана способность олова образовывать не только механические, но и химические ореолы рассеяния на существенно касситеритовом (акцессорном) оруденении.

Положительные результаты применения биогеохимического метода были получены Б. Ф. Мицкевичем [1962] на погребенных оловоносных россыпях в условиях Украинского Полесья (рис. 48). Россыпи располагаются в депрессиях кристаллического фундамента глубиной до 12—15 м, выполненных отложениями третичного и четвертичного возраста, к нижней части разреза которых, а также к коре выветривания кристаллических пород фундамента приурочены залежи касситерита. Поверхность покровных образований на россыпях представляет собой заболоченную и залесенную равнину.

Опробование хвои сосны, листьев березы и гумусового горизонта показало, что наиболее высокие концентрации олова — до 0,01% устанавливаются в биогеохимических пробах тех участков, к которым приурочены погребенные россыпи касситерита, что видно по кривой распределения. В почвах на таких участках олово содержится в единичных пробах, да и то только в тех, где содержалось большое количество торфянистого материала, т. е. пробы которых по существу состоят из отмершей болотной растительности. Таким образом, было доказано, что в условиях Украинского Полесья

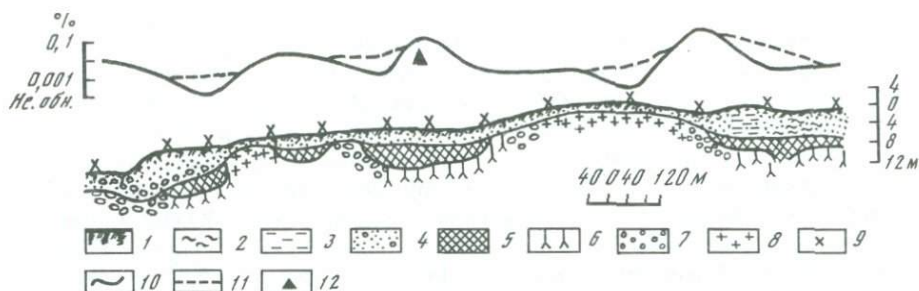


Рис. 48. Совмещение геологического разреза россыпи касситерита и кривой содержания олова в золе листьев березы и хвойной сосны (по Б. Ф. Мицкевичу [1962])

биогеохимические поиски закрытых касситеритовых россыпей являются весьма эффективными.

Наличие олова в растениях Украины и Молдавии установил Б. Ф. Мицкевич [1965] при применении биогеохимического метода на Украинском щите, в Галицко-Волынской и в Днепро-Донецкой впадинах и в Карпатах. Так, в северо-западной части Украинского щита олово обнаружено в ветках березы бородавчатой, в вербе, в коре тополя, ветках ольхи, листьях дуба, ветках лещины и сосны при фоновых содержаниях 0,005%, максимальная концентрация — до 0,01%. В Приазовской части Украинского щита фон олова в растениях 0,001% в золе травянистых растений и меньше 0,001% — в золе листьев и веток древесных растений. Спутники Sn в растениях Украинского щита: Sr, Ba, Y, Ga, Ti, Zr, V, Mo, Sc. Наиболее благоприятные условия для максимального накопления микроэлементов — вторая половина лета. Повышенное содержание большинства тяжелых металлов отмечено в высохших деревьях и травах. В Карпатах, на территории Молдавии, Sn концентрируется в листьях и хвое древесных пород в ассоциации с Ti, Ag, Ga, Y, La.

При изучении геохимии ландшафтов Украинского щита Б. Ф. Мицкевич [1971] установил различия в содержании Sn в одних и тех же растениях, но в разных физико-географических зонах. Так, оказалось, что концентрация металла в дубе достигает, %: в ландшафтах Полесья — 0,0021, лесостепи — 0,0006, степи — 0,002. Среднее содержание Sn в лесном ландшафтно-геохимическом районе Украинского щита в травах — 0,0025, а в деревьях — 0,0037; в лесостепном — соответственно 0,0016 и 0,0022%. В степном ландшафтно-геохимическом районе отмечено наибольшее содержание Sn в польнях (горькой, равнинной, маршала) — до 0,003%. В других растениях среднее содержание Sn, %: в живучке женева — 0,002, рупавке полевой — 0,001, икотнике сером — 0,00051, синяке обыкновенном — 0,002, шалфее поникшем — 0,0005, в лапчатке — 0,002, чабреце — 0,0015.

Среднее содержание Sn в золе растений в выделенных Б. Ф. Мицкевичем [1972] ландшафтно-геохимических районах Украинского щита составляет, %: Северополесском — травы — 0,0012, деревья — 0,003; Южнополесском — травы — 0,0025, деревья — 0,0037; Лесостепном — травы —

0,0016, деревья — 0,0022; Степном — травы — 0,003, деревья — 0,002; Приазовском — травы — до 0,001. В целом по Украинскому щиту среднее содержание Sn в растениях 0,0018, а максимальное — 0,0037%. В почвах указанных ландшафтно-геохимических районов содержание Sn в большинстве случаев ниже чувствительности спектрального анализа. Максимальные концентрации — до 0,0005% обычно отмечаются в горизонтах A_0 и A_1 , т. е. в лесной подстилке и гумусовом горизонте. КБП во всех отмеченных ландшафтах больше 1 с максимальной величиной до 7 (Южнополюсский ландшафтно-геохимический район). Олово обнаружено в водах ландшафтов (мкг/л): в поверхностных — до 4,0, в пластовых — 2,6, в трещинных — 1,3.

Исследования Б. Ф. Мицкевича [1969], Б. Ф. Мицкевича и М. М. Комского [1969] показали, что миграционная способность олова в биогенной среде значительно больше, чем в гидрогенной. Этим обстоятельством и объясняется формирование биогеохимических ореолов рассеяния олова даже в условиях Украины и Молдавии, где пока не обнаружено крупных орудений олова, имеющих значение для промышленной разработки. Тем не менее, как показано Л. Б. Овсянниковой и А. Г. Дворниковым [1973], А. П. Большаковым и др. [1969], Sn вместе с Pb, Zn, As, Sb, Bi, Ag, Ga, Ge, Tl в условиях Украины, в частности в Центральном Донбассе, оказался хорошим индикатором при биогеохимических поисках ртутных, золоторудных и полиметаллических месторождений.

С целью оптимального проведения биогеохимических поисков Б. Ф. Мицкевич [1981], Б. Ф. Мицкевич и Ю. Я. Сущик [1981] провели ландшафтно-геохимическое районирование территории Украины. Наиболее благоприятные условия для постановки биопоисков руд, в том числе и олова, имеют место в ландшафтах на северо-западной и Приазовской частях Украинского щита, в Галицко-Волинской впадине и в северной части Волыно-Подольской плиты, в северной части Днепровско-Донецкой впадины, в Донецком крае, в южной части Волыно-Подольской плиты и в Предкарпатском прогибе, в Карпатах, в Горном и Степном Крыму. Общей особенностью этих ландшафтов является развитие в них наносных ледниковых, флювиогляциальных, аллювиальных и лессовых образований мощностью до 30 м на равнинах и элювиально-делювиальных отложений мощностью до 10 м в горах.

Кавказ

В растениях ландшафтов Кавказа олово встречается как аксессуарный элемент, поскольку оловорудные месторождения там не установлены. Так, В. В. Добровольский и М. В. Ржаксинская [1967, 1971] обнаружили его в растительном покрове ландшафтов вертикальных поясов северного склона Кавказа. Были опробованы мхи, лишайники, злаки, разнотравье, дуб, бук, граб, клен, ясень и др. Среднее содержание Sn в золе растительности различных ландшафтных зон, %: преднивальная — 0,0003, альпийская — 0,0002, субальпийская — 0,0002, горно-лесная — 0,0004, горно-степная — 0,0001, степная — 0,0003, луговые ландшафты аллювиальных равнин — 0,00025. КБП 0,1—0,8, т. е. меньше 1; по этим значениям биологического поглощения Sn входит в ассоциацию, представленную Ti, V, Co, Ga, Zr, Y.

На рудных месторождениях олово в условиях Кавказа также является хорошим индикатором при биогеохимических поисках и ландшафтно-геохимических исследованиях. Так, по данным А. Е. Куприянова и др. [1977], олово оказалось дополнительным индикатором ртутных месторождений и рудопроявлений на Дербевском рудном поле Северо-Западного Кавказа, хотя оно встречается в единичных пробах и содержится в количествах, близких к порогу чувствительности анализа. Как индикатор ртутной минерализации олово в ландшафтах рудного поля входит в ассоциацию, представленную Hg, As, Sb, Ag, Mo, Pb, Cu, Ni, Co.

В ландшафтах Восточного Приэльбрусья наличие олова установила М. В. Ржаксинская [1965], а Центрального Кавказа, в частности Высокогорного Дагестана — А. Г. Назаров [1974].

БИОГЕОХИМИЯ ОЛОВА В ЗАРУБЕЖНЫХ РЕГИОНАХ

Биогеохимия олова и непосредственно биогеохимический метод поисков оловорудных месторождений за рубежом изучены чрезвычайно слабо. Достаточно отметить, что в Библиографическом указателе литературы за 1925—1963 гг. [Геохимические..., 1967] отмечена лишь одна работа, касающаяся биогеохимических исследований — на участке медно-оловянной минерализации Юго-Западной Англии [Millman, 1957]. Более того, игнорирование этого важного научного направления в поисковой геохимии привело к тому, что еще в 1972 г. за рубежом, как было отмечено выше, появлялись научные статьи, в которых возможность использования биогеохимии для поисков оловорудных месторождений ставилась под сомнение [Davy, 1972]. По существу, и в настоящее время за рубежом биогеохимические поиски олова практически не проводятся, и встречающиеся в литературе сведения о содержании олова в растениях получены попутно на участках с неоловорудной минерализацией. Поэтому присутствие олова в биообъектах рассматривается как акцессорная примесь наряду с главными профилирующими металлами.

Западная Европа

Болгария. Возможность использования биогеохимического метода поисков рудных, в том числе и оловянных месторождений, на территории Болгарии отмечал Г. Попов [1980]. Биогеохимические исследования, проведенные на гидротермально-измененных породах Маджаровского рудного района, позволили выявить кварцевые жилы с полиметаллической минерализацией. Было подчеркнуто, что благоприятные природные условия применения биогеохимических поисков руд имеются в округах Каржалийском, Пазарджишки, Бургаск и др.

Использовать биогеохимические (ботанические) методы поисков полезных ископаемых в ландшафтных условиях Болгарии рекомендовал в свое время А. Н. Атанасов [1957].

Присутствие акцессорного олова в почвах и в четвертичных (плейстоценовых) отложениях — лёссах и лёссовидных суглинках Предбалканской области и северных склонов Балканских гор Болгарии установлено В. В. Добровольским [1977]. Содержание металла в осадках не превышает 0,0001% и лишь в тяжелой фракции (0,01—0,025 мм) лёссовидных суглинков достигает 0,7%.

Польша и Югославия. На территории Польши применение геохимических методов для поисков оловорудных месторождений было проведено в Изерских горах [Chilinska, 1964]. В целом на территории Польши биогеохимический метод может применяться также для поисков руд Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Mo, V, W, Mn, Au, Se [Lindner, 1977]. Как показано на конкретных примерах, в большинстве случаев максимальные концентрации металлов отмечаются в листьях растений, а в коре, в ветках и в плодах металлы концентрируются в меньших количествах. Сделано предположение, что существенная роль в накоплении растениями ряда элементов, например Cu, принадлежит хлорофиллу.

В пределах Югославии (Черногория и Словения) олово было установлено в растениях над рудными жилами свинцово-цинкового месторождения в районе Шупля Стиена [Zivanovic, 1960]. Здесь олово оказалось хорошим индикатором оруденения на основе повышенного содержания его в хвое сосны и ели, произрастающих над рудоносной приконтактной зоной между порфиритами и известняками.

Чехословакия. На территории Чехословакии, в частности в Западной Моравии, олово в почвах установил Ю. Пеличек [Pelisek, 1942]. В оловорудных районах содержание олова в почвах, определенное спектральным методом, достигает 0,05—0,1% в пересчете на SnO₂.

Большие перспективы применения непосредственно биогеохимического метода поисков оловянных руд в этой стране отмечены в Списко-Гемрском районе на зонах грейзенизации с оловянно-вольфрамовой минерализацией [Matula, 1973], в районе Кветна [Tacl, Slacik, 1972] и в Чешском массиве [Pokorny, 1975]. Здесь проведены исследования по геохимическим поискам с применением почвенной съемки, гидрогеохимического и биогеохимического опробования в комбинации с геофизическими исследованиями и шлиховым анализом. Биогеохимическое опробование и почвенная съемка дали хорошие результаты при поисках оловоносных грейзенизированных зон в гранитах и хлорит-касситерит-сульфидных руд в филлитах. На основе детального геохимического картирования были составлены почвенно-биогеохимические трендовые карты на Sn и его спутники — Li, F, Pb, Ga, Be, которые позволили выделить зоны скрытых оловорудных месторождений в гранитах. Кроме того, на основе почвенно-биогеохимического метода над скрытыми оловянными рудами в гранитах были выявлены первичные ореолы рассеяния Sn, Pb, Mo, W. Геохимические поиски в области Бетлиар-Чучма показали, что Sn наряду с Sb, Cu, W оказался хорошим индикатором сурьмяного оруденения, причем были выделены аномальные зоны, которые указывают на близость к поверхности сурьмяных или медных рудопроявлений.

Геохимические и биогеохимические исследования в пределах Чехословакии, в частности в Сладковском лесу и на Тепельской возвышенности, позволили оценить перспективы оловянной минерализации этого района [Duris, Mrna, 1981]. В качестве прямых элементов-индикаторов оруденения, кроме Sn, определены W и Li, а косвенными индикаторами являются V, Bi, Cu, Pb, Zn, Ag на основе содержания их в современных отложениях и в почвах.

Кроме того, олово оказалось хорошим индикатором полиметаллических оруденений на основе опробования почв в Спишко-Гемрском рудогорье и в районе Медзев-Праковце-Кошице [Gargular, 1983; Rodvanec, 1983].

Надо отметить, что на оловорудных месторождениях Чехословакии (Богемия) было впервые установлено растение-индикатор оловянных руд — седмичник европейский — *Trientalis europaea* L. [Бабичка, 1954; Виноградов, 1954; Гинзбург, 1957; Ткалич, 1970].

ГДР. На территории ГДР геохимические поиски скрытых оловорудных месторождений проведены в Рудных горах [Dahm et al., 1968]. На основании почвенно-гидрогеохимических исследований были выявлены первичные ореолы рассеяния оруденения. При этом для интерпретации результатов были привлечены сведения, полученные при изучении гипергенных ореолов известных оловорудных месторождений — Альтенберг и Эренфридерсдорф. Сопоставление материалов позволило оценить масштабы оруденения, тип рудоносности и приблизительное положение рудных тел.

Швеция, Финляндия и Норвегия. На территории Скандинавских стран, в частности Швеции, биогеохимический метод применялся шведскими исследователями С. Палмквистом и Н. Брундиным [Palmqvist, Brundin, 1939]. Анализируя спектральным методом золу травянистых растений, опавших листьев деревьев, а также почву на участках возможного залегания руды, они обнаружили в биообъектах наличие Pb, Sn, W. Повышенные содержания этих металлов в золе растений дали возможность обнаружить слабо минерализованные зоны. Тем не менее это было одно из первых исследований, которое дало положительные результаты при применении биометода. Вскоре был получен патент на этот метод поисков руд [Brundin, 1939] и организована Шведская разведочная компания, проводившая большие поисковые работы в ряде районов (Корнуолл, Девоншир, Вале и др.). Не имея опыта биопоисков, эта компания получила весьма скромные результаты, что объясняется, как считал Д. П. Малюга [1963], неправильным механическим применением метода без должного учета факторов, определяющих геохимию отдельных элементов в зоне гипергенеза. Эти исследователи определили Sn и W в некоторых видах верещатников (*Collumna vulgaris*), поскольку указанные растения составляли основной фон растительности, где велись поиски. Кроме того, в процессе поисков было отмечено, что Sn и W чаще встречаются в растениях над гранитами, чем над другими породами.

Большие возможности биогеохимического метода поисков рудных месторождений в Финляндии показали К. Ранкама [1954; Rankama, 1947] и В. Мармо [1954; Marmo, 1953, 1958]. Наиболее интересные сведения были получены М. Салми [Salmi, 1955, 1956] при изучении биогеохимии торфяников и болотных растений при поисках лимонитовых руд и других рудных месторождений, в частности в районе Вихэпти (Западная Финляндия), где оруденение представлено сфалеритово-пиритовыми рудными телами. Помимо олова, как акцессорного металла, в золе торфяников выявлены прямые и косвенные индикаторы минерализации, т. е. следующие металлы, %: Zn — 0,003—0,03, Cu — 0,01—0,3, Cd — 0,0001—0,003, Pb — 0,001—0,1, Ag — 0,0001—0,003, Ni — 0,001—0,03, Cr — 0,0001—0,3, В — 0,0006—0,03, Со — 0,001—0,01, Mn — 0,03—1,0, Мо — 0,0002—0,003, Ti — 0,03—0,3, V — 0,001—0,03. Установлено, что повышенные содержания металлов приурочены к пробам, взятым над рудными телами или над коренными породами с указанным типом рудной минерализации. Причем содержания металлов в торфянике и в болотных растениях из одной и той же точки опробования дают тождественные результаты. В то же время обводненные болота

с маломощным слоем торфа не всегда благоприятны для биописков, и в этом случае более надежные результаты дает опробование болотных растений, в частности багульника — *Ledum palustre*.

В условиях Финляндии хорошие результаты при биогеохимических поисках руд тяжелых металлов дает опробование почв в целом, особенно гумусового горизонта и непосредственно гумуса [Kaupanne, 1958; Kaupanne et al., 1961]. А. Бьёрклунд [Björklund, 1971] установил корреляционную зависимость между тяжелыми металлами в системе почва—растение района Корнеса на западе Финляндии. В Норвегии работы по разработке и практическому применению биогеохимического метода поисков рудных месторождений впервые провел Дж. Х. Фохт [Vogt, 1939].

Обстоятельные опытно-методические биогеохимические исследования по выявлению биогеохимических аномалий на примере *Cu*, *Pb* и *Ni* проведены в Фенноскандии в последние годы [Brooks et al., 1979]. Содержания указанных металлов определены в 700 гербарных образцах растений, собранных в разных районах Фенноскандии. Рассчитаны фоновые и аномальные концентрации элементов с выделением ряда перспективных площадей и с сопоставлением их с известными месторождениями и рудопроявлениями на территории Норвегии, Швеции и Финляндии. Из десяти обследованных участков более половины выявленных биогеохимических аномалий связано с повышенными содержаниями металлов в почвах и в коренных породах или с техногенным загрязнением среды. Остальная часть биоаномалий сосредоточена на заболоченных площадях. Отмечается, что в связи с техногенными процессами и широкой миграцией *Cu*, *Pb* и *Ni* в зоне гипергенеза биогеохимические аномалии названных металлов не всегда могут служить универсальными индикаторами месторождений, т. е. иногда возникают ложные аномалии. Однако их всегда необходимо учитывать в качестве локального поискового признака.

Англия. Биогеохимические исследования в районе медно-оловянного месторождения юго-западной Англии (Корнуэлл), проведенные А. Р. Милманом [Millman, 1957], показали наличие *Sn* и его спутников — *Pb*, *Cu*, *Ag*, *Zn*, *Mn*, *Cd*, *Bi* — в различных частях древесной растительности — березы, дуба, ивы и др. Оказалось, что листья березы и дуба накапливают *Sn* больше, чем ветки: 1,2 и 1,4 г/т в листьях и 0,36 и 0,9 — в ветках. Аналогичное поглощение в указанных растениях имеют *Ag* и *Zn*. Повышенное содержание *Cu* характерно для листьев дуба, а ветки березы более обогащены *Pb*, чем ее листья, причем концентрация *Pb* в ветках и листьях дуба ниже, чем у березы. Тенденция накопления металлов в растительности по сравнению с почвой убывает от *Pb*, *Zn*, *Cu* к *Ag* и *Sn*. Содержание *Sn* в почвах (горизонт В) на безрудных гранитах и сланцах района Ганнислейк не превышает 10—100 г/т. В горизонте А по сравнению с горизонтом В олова в 2—7 раз меньше. Над оловорудными зонами концентрация *Sn* в почвах достигает 250—5000, *Cu* — 1000 г/т. Этим исследователем подчеркнуто, что медно-оловянные оруденения в условиях юго-западной Англии могут успешно фиксироваться аномалиями в растениях и в почвах как непосредственно по *Sn* и *Cu*, так и по их спутникам — *Pb*, *Zn*, *Ag* и др.

Содержание олова в почвах в Корнуэлле изучено К. Ф. Г. Хоскингом [1973; Hosking, 1959, 1964, 1965]. Показано, что, как правило, повышенные концентрации олова в почвах связаны с присутствием оловянного оруденения. Оказалось, что, помимо обычных спутников *Sn* — *Cu*, *Zn*, *Mo* и др.,

хорошим индикатором оловорудной минерализации является Li (на основе отрицательной корреляционной связи между содержанием Sn и Li в почвах). В частности, на участке в районе Карменеллиса К. Ф. Г. Хоскинг [1973] провел исследования почв с низким содержанием Li, в которых были также отобраны и проанализированы пробы почв на Sn. В результате по отрицательной корреляции между этими металлами было установлено наличие ранее неизвестной жилы, содержащей касситерит, хотя и в небольшом количестве.

Кроме того, этот же исследователь на руднике Малберри в районе Ланивет проследил продолжение оловоносного штокверка на основе анализа почв фракции 80 меш на Sn, As, Cu, W, Zn и другие металлы. Оказалось, что распределение олова в почве точно отражает его распределение в залегающих ниже оловоносных жилах. При этом если в почвах на гранитных породах содержится повышенное количество олова ($> 0,001\%$), на таких участках можно встретить оловосодержащие жилы.

Распределение олова и его спутников в почвах изучено в Северной Англии, на территории Шотландии [Swaine, Mitchell, 1960] и в Юго-Западной Англии [Bradshaw, Stoyel, 1968].

С целью рационального ведения поисков рудных месторождений на территорию Англии был составлен региональный геохимический атлас [Hale, 1979]. Это — серия карт в масштабе 1:2 000 000, на которых показано распределение содержаний 21 элемента, в том числе и Sn, в почвах и в отложениях поверхностных водотоков в зависимости от геологических условий. Плотность отбора составила одну пробу на 2,5 км², а общее количество отобранных образцов — 50 000. Наиболее интересными являются карты распределения Sn, Mo, Al и Cd. Атлас нашел широкое применение не только в поисковой геохимии, но и в различных областях экономики.

Северная и Южная Америка

В этом обширном регионе биогеохимические поиски рудных месторождений выполнены лишь на ограниченных территориях в пределах США, Канады и Бразилии. Что касается олова, то его определение в растениях сделано на неоловорудных объектах и в большинстве случаев попутно, наряду с определением других основных металлов оруденения. Такое состояние вопроса биогеохимии олова в этом регионе, с одной стороны, обусловлено ограниченным развитием оловорудной минерализации, а с другой — слабой изученностью вопросов геохимии ландшафтов на рудных месторождениях.

США. В рудном районе трех штатов — Канзас, Миссури и Оклахома — биогеохимические исследования провел Д. В. Карбух [1954; Harbaugh, 1950]. Особенностью района является его значительная залесенность, обусловленная благоприятным климатом с суммой годовых осадков свыше 1000 мм. Рудная минерализация указанных штатов почти полностью приурочена к известнякам формации Бун, а главными минералами оруденения являются сфалерит и галенит, которые сопровождаются второстепенными пиритом и марказитом и аксессуарным халькопиритом. Рудные тела залегают на небольшой глубине в приповерхностных горизонтах формации, поэтому аномальные концентрации основных металлов — Pb, Cu, Zn в растениях района объясняются непосредственным контактом корней расте-

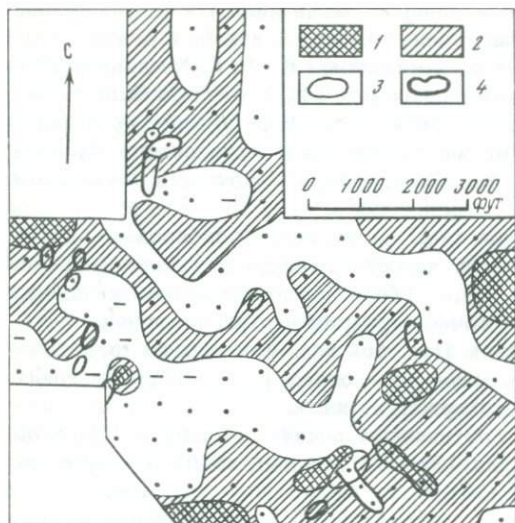


Рис. 49. Распределение содержания олова в золе ветвей дуба мерилендского на участке Уинтворт (по Д. В. Карбуху [1954])
 1—3 — содержание олова, %:
 1 — 0,0026 и выше, 2 — 0,0015—0,0026, 3 — 0—0,0014; 4 — границы зон минерализаций; черточки — количество олова в пробах ниже предела чувствительности анализа

ний с рудами и почвенно-грунтовыми водами, содержащими ионы отмеченных металлов. Что касается олова, то этот металл как аксессуарный элемент руд также обнаружен в растениях со средним содержанием 0,0017%.
 Весьма важно, что изоконцентрации олова в растениях, в частности в ветвях дуба мерилендского, на площади участка точно оконтуривают предполагаемые свинцово-цинковые рудные тела (рис. 49), т. е. Sn является хорошим индикатором при биогеохимических поисках руд данного типа наряду с Cu, Zn, Pb. Четкими индикаторами на участке Уинтворт являются также Ni, Ag, Co. По заключению Д. В. Карбуха [1954], на основе выявленных аномалий в районе исследований имеются рудные тела, которые и вызвали повышенное содержание металлов в растениях, в том числе и олова. Оказалось, что для биогеохимического опробования пригодны как листья, так и ветки древесных растений.

Геохимические поиски проведены также и в юго-восточных штатах США, в частности в штате Теннесси [Bloss, 1960]. Здесь на цинковых месторождениях анализ образцов почв, растений и грунтовых вод показал аномальные содержания Zn, Cu, Pb, Ni и Mn, а также повышенные концентрации Sn как аксессуарного элемента оруденения. По содержанию указанных металлов в растениях были обнаружены рудные тела на глубине.

Содержание Sn установлено в золе четырех видов лишайников, разбитых на юрских и меловых известняках штата Колорадо [Koksoy, LeRooy, 1962; LeRooy, Koksoy, 1962]. Помимо олова, в лишайниках определены Pb, Ag, Cu, Zn, Sc, Be, Ti, Mo и другие — всего 20 микроэлементов. Оказалось, что содержание большинства тяжелых металлов, в том числе и Sn, в золе лишайников выше, чем в подстилающих известняках. В разных видах лишайников содержание микроэлементов различное в зависимости от коренных пород. Поэтому, как указывают эти исследователи, систематическое изучение тяжелых металлов в лишайниках имеет большое значение для индикации оруденений различного типа.

На территории США, кроме лишайников, хорошими информативными качествами с точки зрения поглощения металлов обладают некоторые виды хвощей, в частности *Equisetum horsetail*, установленные Х. Л. Кэнноном [Cannon et al., 1968]. В этом растении определен 21 химический элемент, в том числе и Sn.

Возможность поисков оловорудных месторождений биогеохимическим методом на территории США положительно оценивали И. С. Вебб [1958] и Т. С. Ловеринг [1958], особенно — штат Колорадо [Lovering, Nedal, 1983].

Биогеохимические исследования проведены также в штате Аляска [Sainsbury et al., 1968]. Содержание Sn в растениях и в почвах тундровых ландшафтов с рудной минерализацией достигает 0,01—0,015%. Отмечено, что олово в золе растений в ряде случаев содержится в меньших количествах, чем в почвах, хотя встречаемость металла в биообъектах рудной зоны стабильна даже при низких содержаниях его в минеральных горизонтах почв.

Канада. На территории Канады геохимические поиски олова проведены в северо-западной части Британской Колумбии и на Юконе [Barakso, Gower, 1973]. Эти работы носили опытно-методический характер и ставились с целью разработки методики геохимического опробования и установления фоновых и аномальных значений Sn, а также выбора оптимальной методики анализа геохимических проб на Sn и его спутники. Установлено, что фоновые концентрации Sn в пробах коренных пород и почв (горизонт В) составляют 0,0002—0,0004, а в пробах с касситеритом — 0,0006—0,0008%. Повышенные содержания Sn отмечаются в коренных интрузивных породах средней кислотности и в сформированных на них почвах. Спутниками Sn являются Cu, Zn, Mo, As, Pb и F, который оказался лучшим косвенным индикатором оловянной минерализации. Со всеми указанными металлами Sn в почвах и особенно в донных осадках находится в тесной корреляционной связи по значению коэффициентов корреляции: Sn—As—0,448; Sn—Cu—0,701; Sn—F—0,886; Sn—Mo—0,835; Sn—Pb—0,847; Sn—Zn—0,820.

Олово в почвах Канады установлено в районе Нового Браунсвика [Riddell, 1967; Presant, 1971]. Причем, как было показано Р. Ф. Хорснейлом [1973], на участках Западной Канады (Британская Колумбия) гидрокислы железа и марганца почв и донных осадков обогащены Sn, а также Ag, As, Be, Co, Cu, Mo, Ni, Pb и Zn.

Была отмечена также большая перспективность биогеохимического метода применительно к территории Британской Колумбии Канады [Hornbrook, 1969]. При этом было подчеркнуто, что биогеохимическое опробование должно проводиться в сочетании с опробованием почв, а массовым биопоискам должно предшествовать выборочное исследование для отбора растений-индикаторов и определение их частей, наиболее пригодных для анализа.

Бразилия. На обширном континенте Южной Америки биогеохимический метод применялся только на рудных месторождениях Бразилии [Rodrigues, 1960; Amgal, 1976]. В целом метод разработан слабо, в основном из-за недооценки его геологами-поисковиками. Биопоиски пока находятся на стадии методической разработки, поэтому проводятся исследования, направленные на выявление растений, наиболее типичных для районов уже известных месторождений, на определение в растениях металлов как индикаторов оруденения. Между тем на участках с оловянной минерализацией Бразилии и, следовательно, на почвах, содержащих олово в виде касситерита, уже давно были установлены растения-индикаторы этого металла, в частности различные виды сушениц — *Gnophalium suaveolens* Mass., *G. qualea* Ast. и др. [Виноградов, 1954; Buck, 1949, 1953; Cannon, 1971; Davy, 1972].

На обширных материках Африки и Азии биогеохимическими исследованиями охвачены лишь незначительные территории. О биогеохимии олова имеются лишь отрывочные сведения, полученные попутно при определении металлов в почвах и в растениях, распространенных большей частью на неоловородных месторождениях.

Африка. Впервые сведения о содержании олова в растениях на этом континенте получили Дж. С. Уэбб и А. П. Миллман [Webb, Millman, 1951], установившие содержание Sn до 0,2 г/т в растениях Южной Нигерии и Северной Родезии. Н. Варламов [Varlamoff, 1969] определил Sn в почвах и в донных осадках, развитых на оловородных полях Конго.

Однако большинство геоботанических и биогеохимических исследований в Центральной и Южной Африке выполнено на неоловородных объектах, в частности на медных и кобальтовых месторождениях Катанги (Заир), Южной Родезии, Юго-Западной Африки (Намибия), Ботсваны и других районов с определением в почвах и растениях Cu, Cr, Ni, Co [Duvigneaud, 1958; Reilly, 1967; Howard—Williams, 1970; Wild, 1970; Cole, 1971; Cole, LeRooy, 1978]. Изучение экологии растительного покрова и биогеохимии растений позволило установить, что деревья и кустарники, растущие над рудным телом, энергично поглощают металлы при активном росте в течение всего жаркого дождливого летнего периода и образуют геоботанические и биогеохимические аномалии указанных металлов. Наиболее эффективным поисковым методом в условиях тропического климата оказался биогеохимический, так как аномалии в растениях по сравнению с металлометрическими аномалиями в почвах более контрастны. Кроме того, благодаря проникновению корней растений в глубокие горизонты, биогеохимические исследования позволяют точнее определять положение рудных тел и отличать аномалии, вызванные минерализацией, от ложных аномалий, обусловленных поверхностными гипергенными процессами, например выходом грунтовых вод, содержащих тяжелые металлы.

Азия. Биогеохимические исследования на Азиатском континенте проведены в ограниченном масштабе, в частности в его южной части — в Индии, частично в странах Юго-Восточной Азии — в Таиланде, в Малайзии и на востоке континента — в Корее и в Японии.

В Индии возможность биогеохимических и геоботанических поисков рудных месторождений в 50-х годах обосновал П. Д. Малхотра [Malhortra, 1958]. Наличие олова в почвах и в осадках Индии в районе Дербшера установил С. Митра [Mitra, 1970]. Широкое развитие в этой стране получили геоботанические поиски руд, особенно меди [Venkatesh, 1964, 1966]. При биогеохимических исследованиях в Индии опробованию подвергается гумусовый материал [Chowdhury, Bose, 1971]. В Южной Индии установлены растения-индикаторы ряда металлов, например *Waltheria indica*, концентрирующая Cu, K, Mn, Na, Rb, Zn [Gandhi, Aswathanarayana, 1975], олово [Santra, Bose, 1982].

В странах Юго-Восточной Азии Sn с содержанием 0,025—0,1% установлен в почвах Таиланда [Kaewbaidhoon, 1971] и Малайзии [Tooms, Kaewhaidhoon, 1961; Peng, 1971].

На Корейском полуострове, на территории КНДР, биогеохимические методы применялись при поисках полиметаллических месторождений [Цой,

1974]. Местность, где проводились поиски и опытно-методические исследования на одном из свинцово-цинковых месторождений, представляет собой низкогорье со значительной мощностью отложений современной коры выветривания. Помимо основных металлов — Zn и Pb, в растениях были выявлены дополнительные индикаторы — элементы-аксессуары, в том числе и Sn. Для поисковых целей рекомендуется опробование ряда растений-индикаторов, в частности *Dianthus sinensis* L., *Aster indicus* Linnaeus и особенно корней леспедецы двудветной — *Lespedeza bicolor* Turczaninow.

Как отмечалось [Ивашов, 1976в], кустарник леспедеца двудветная семейства бобовых концентрирует олово на зонах оловорудной минерализации советского Дальнего Востока и является универсальным концентратом молибдена. Ореол распространения этого растения весьма широкий — от Забайкалья и далее к востоку, включая Хабаровский и Приморский края, южную часть Амурской области, Южный Сахалин, Курилы, а за пределами нашей страны — Японию, Китай и п-ов Корея [Воробьев, 1968]. Леспедеца двудветная является хорошим объектом опробования при биогеохимических поисках оловорудных месторождений не только на юге советского Дальнего Востока, но и на территориях сопредельных зарубежных стран.

В Японии опробование почв с целью геохимических поисков рудных месторождений типа Куроко было проведено на севере о-ва Хонсю [Shiikawa, Topo, 1972; Shiikawa et al., 1975]. Здесь месторождения перекрыты мощной толщей послерудных образований, поэтому почвенные аномалии по основным металлам — Cu и Zn характеризуются низкой интенсивностью и слабой контрастностью. В то же время элементы-примеси в рудах — As, Ag, Sn, Cd, Ga и др. — более информативны. Высокие содержания в надрудных породах характерны также для Mn, Mo и Ba.

Биогеохимические исследования, проведенные в Японии на серпентинитовом массиве Хиноками в префектуре Тоттори, помимо аксессуарного олова, показали высокое содержание в почвах и растениях Cr, Mn, Fe, V, Ni, Zn, Co [Yamagata et al., 1960]. Сведения о концентрации Sn в почвах имеются по оловорудному месторождению Икуно-Акенобе [Asami, 1981].

Австралия и Океания

На территории Австралии впервые биогеохимические исследования были проведены в 50-х годах в связи с поисками урана [Debnam, 1955]. Первые сведения о содержании олова в почвах получил Дж. Х. Раттиган [Rattigan, 1963]. Биогеохимические и ботанические исследования непосредственно на оловянно-медном оруденении проведены в районе Сайберия в области Имьюфорд оловорудного поля Хербертон в Северном Квинсленде [Corgell, Taylor, 1975]. Установлено, что на участке рудной залежи почвы обогащены Sn и его спутниками, г/т: Sn — 742,7, Cu — 408,4, Pb — 47,6, Mn — 308,2, Fe — 10652,0. С пунктами аномальных содержаний указанных металлов обычно связано преимущественное произрастание таких видов растений, как *Polycarpha spirostylis* и *Indigofera dominii*. При этом первый вид обычно тяготеет к участкам, где отмечается существенное обогащение почв медью. Полученные данные позволяют рекомендовать указанные виды растений как поисковый признак для данного оловянно-медного типа минерализации.

**Содержание Sn в золе растений на территории СССР
и в зарубежных регионах, %**

Растение	Регион	Sn, %	Авторы
Кедр сибирский	Восточная Сибирь	0,05	С. М. Ткалич, 1959
Береза плоско- листная	Забайкалье	0,01—0,05	В. В. Поликарпочкин и др., 1965
Лиственница	Восточная Сибирь	0,022	Л. И. Грабовская, 1968
Береза	«	0,013	«
Брусника	«	0,048	«
Багульник	«	0,019	«
Рододендрон	«	0,0055	«
Брусника	Сибирь	0,015—0,3	Л. И. Грабовская, Г. А. Кузьмина, 1971
Лиственница даурская	Север Сибири	0,004	А. М. Иванова и др., 1974
Береза карликовая	«	0,01	«
Ива полярная	«	0,01	«
Багульник болотный	«	0,03	«
Ольха	Север Сибири	0,004—0,03	И. С. Постнов, 1970
Лиственница	«		
Береза	«		
Багульник	«		
Ива	«		
Голубика	Якутия	0,003—0,005	Л. В. Разин, И. С. Рожков, 1966
Черника	«		
Багульник	«		
Клевер луговой	Бурятия	0,3	А. Л. Ковалевский, 1975
Лиственница даурская	Бурятия	0,001—0,01	«
Береза плоско- листная	«		«
Осина	«		«
Ива	«		«
Таволга средняя	«		«
Карагана карли- ковая	«		«
Астрагал пере- пончатый	«		«
Василистник байкальский	«		«
Разнотравье	«	«	
Водные мхи	Якутия	0,3—0,07	Г. П. Лапаев (1978 г.)
Ковыль	Казахстан	0,003	А. С. Прокофьев и др. (1972 г.)
Типчак	«	0,0006	«
Полынь	«	0,0005	«
Лишайники	Центральный Казахстан	0,002	В. П. Иванчиков и др. (1969 г.)
Полынь австрийская	«	0,004	«
Полынь	Казахстан (Северо- Западная Калба)	0,002	В. И. Кайманов и др., 1974
Биюргун	Устьют	0,0005	В. В. Добровольский, 1961
Боялыч	«		
Ковыль	«		
Осока	Казахстан	0,012	С. И. Сотникова, 1970
Ракитник	«		

Т а б л и ц а 42 (продолжение)

Растение	Регион	Sp, %	Авторы
Ситник	Казахстан	0,012	
Лилия			
Тростник			
Ива			
Рдесты			
стеблеобъемлющий плавающий блестящий	Западный Казахстан	0,03—0,08	С. И. Сотникова, 1972
Терескен			
Кокпек	Южное При- балхашье	0,003—0,005	А. Ермекбаев, К. Берембеков, 1969
Саксаул			
Эфедра			
Тамарикс	«	0,03	«
Ель тяньшанская	Северный Тянь- Шань	0,003	А. Ермекбаев, 1969
Полынь	Узбекистан	0,008	К. З. Закиров и др., 1959
Василек	«	0,002	«
Котовник	«	0,003	«
Зопник	«	0,001	«
Полынь	Западный Узбекистан	0,003	Р. М. Талипов и др., 1971
Солянка	Узбекистан (Тамдытау)	0,0005—0,001	Р. М. Талипов, 1974
Саксаул			
Ковыль			
Ежевник			
Спирея			
Миндаль	Западный Тянь- Шань	0,008	Н. Л. Загребина, 1971
Жимолость			
Роза кокандская	«	0,0003	Н. Л. Загребина, 1971
Мята азиатская	Узбекистан	0,002	Н. Д. Лежнева, 1980
Полынь согдийская	«		
Полыни	Средняя Азия	0,001	Н. Н. Васильева и др., 1972
Кокпек		«	
Прутьяк	«	0,001	«
Ковыль	«	0,001	«
Карагана	«	0,0005	«
Астрагал	«	0,0005	«
Качим	«	следы	«
Карагана	Южный Урал	0,002	М. Д. Скарлыгина-Уфимцева и др., 1976
Солнечник			
Полыни	Южный Урал	0,001—0,03	В. Б. Черняхов, 1969
Разнотравье			
Береза	Средний Урал	0,06—0,15	Д. Л. Поскотин и др., 1969
Осина			
Сосна	«	0,03—0,06	А. М. Кропачев, 1973
Осина и береза (опад)	«		
Ель, пихта, сосна (опад)	«	0,015—0,03	«
Сосна обыкновенная	Северный Урал	0,03	А. Я. Гаев, И. А. Шаповров, 1970
Зеленые мхи	Полярный Урал	0,006	Н. В. Алексеева—Попова, 1972
Лишайники	«	0,003	«

Т а б л и ц а 42 (окончание)

Растение	Регион	Sp, %	Авторы
Хвощи	Полярный Урал	0,003	Т. А. Парибок, Н. В. Алексеева-Попова, 1967
Мхи	«		
Кукушкин лен	Русская равнина	0,001	Л. В. Алешукин, И. Поляков, 1964
Ягель			
Сосна (хвоя)	Подмосковье	0,0007	В. В. Добровольский, 1963
Лишайники			
Разнотравье	«	0,001	«
Злаки	«	0,0018	«
Зеленые мхи	«	0,0007	«
Ель (хвоя)	«	0,0008	«
Сосна (хвоя)	«	0,0008	«
Ель (кора)	«	0,0001	«
Сосна (кора)	«	0,001	«
Мхи	Кольский полуостров	0,007	В. В. Добровольский, 1964
Лишайники	«	0,0047	«
Злаки	«	0,0027	«
Береза (листья)	Белоруссия	0,01	В. Е. Бордон и др., 1972
Сосна (хвоя)			
Сосна (хвоя)	Украина	0,01	Б. Ф. Мицкевич, 1962
Береза (листья)			
Ольха (ветви)	Украина	0,005—0,01	Б. Ф. Мицкевич, 1965
Дуб (листья)			
Лещина (листья)	«	0,0037	Б. Ф. Мицкевич, 1971
Полыни	Украина	0,002	«
Живучка жевневская	«	0,001	«
Рупавка полевая	«	0,00051	«
Икотник серый	«	0,002	«
Синяк обыкновенный	«	0,0005	«
Шалфей поникший	«	0,002	«
Лапчатка	«	0,0015	«
Габрец	«	0,001	«
Разнотравье	Чехословакия	0,001	J. Pokorny, 1975
Сосна (хвоя)	Югославия	0,001	D. Zivanovic, 1961
Ель (хвоя)			
Мхи	Финляндия	> 0,001	M. Salmi, 1956
Травы	«	0,003	J. Lounamaa, 1956
Верещатник	Швеция	0,001	S. Palmqvist, N. Brundin, 1939
Злаки	Германия	$n \cdot 10^{-8}$ *	Thyssen, 1942
Дуб	Англия	0,0005—0,001	A. P. Millman, 1957
Береза			
Ива	«	0,0018	Д. В. Карбух, 1954
Дуб мерилендский	США	0,01—0,015	C. L. Sainsbury et al., 1968
Растения тундры	США, Аляска	0,0002	J. S. Webb, A. P. Millman, 1951
Разнотравье	Африка (Нигерия)	0,0005	S. K. Bose, 1964
«	Индия	0,001	И. Цой, 1974
Леспедеца	п-ов Корея	0,0005	«
двуцветная	«	0,0005	«
Разнотравье	Австралия (Квинсленд)	0,0005	R. L. Correll, R. G. Taylor, 1975

*в сухом веществе

На оловорудном поле Хербетон Северного Квинсленда биогеохимические исследования провели также Р. В. Гровес и др. [Groves et al., 1972]. Помимо Sn, в растениях определялись Cu, Pb, Zn, которые оказались хорошими индикаторами оруденения, и для биогеохимического опробования рекомендованы определенные виды растений, в частности *Scleria brownei*, *Coclospermum reticulatum*.

Однако несмотря на наличие в Австралии полей оловорудной минерализации и месторождений оловянных руд, биогеохимия олова в растениях и геохимия почв на этих объектах изучены слабо. В большинстве случаев биогеохимические исследования проводились на участках с неоловорудной минерализацией, и в растениях определялись Ni, Cr, Co, Cu, Zn, Mn, Pb, Mg, Ca и другие металлы [Cole, 1965; Nicolls et al., 1965; Severne, Brooks, 1972; Hall et al., 1973; Nielsen et al., 1973].

В пределах Океании наиболее существенные биогеохимические и геоботанические исследования проведены на территории Новой Зеландии и Новой Каледонии под руководством и при непосредственном участии профессора Р. Р. Брукса [Brooks, 1968, 1972, 1979a, b].

В Новой Зеландии выполнены биогеохимические поиски, специализированные по определенным металлам, в частности Mo [Brooks, Lyan, 1966], W [Quin et al., 1974], U [Whitehead, Brooks, 1969], Cu [Yates et al., 1974], Ni [Timperley et al., 1970], Zn, Pb [Nicolas, Brooks, 1969]. Однако несмотря на такую обширную информацию, сведений о биогеохимии олова не приводится. По-видимому, специализированные исследования на оловянной минерализации не проводились, а на других рудных объектах олово как аксессуарный металл в растениях и в почвах не определялось. Тем не менее указанные исследователи высоко оценивают возможности применения биогеохимических методов поисков в условиях Новой Зеландии, где эти методы имеют определенные преимущества: опробование деревьев и кустарников в 3 раза быстрее опробования почв, пробы растительного материала имеют небольшой вес (30 г вместо 400 г почвенного мелкозема), глубинность биогеохимического метода — в пределах 6 м. Установлено, что содержания в растениях Mo, Ni, Cr, Cu, Zn, Pb, Ag, U, Be коррелируются с почвенными концентрациями.

В Новой Каледонии биогеохимические и геоботанические исследования выполнены в связи с изучением серпентинитовой флоры, а также поглощением растениями никеля (Brooks et al., 1974; Jaffre et al., 1976; Lee et al., 1977). Сведений о биогеохимии олова в указанных работах не приводится.

В качестве выводов к настоящей главе прилагается табл. 42, в которой систематизированы основные сведения о содержании олова в золе растений на территории нашей страны, за пределами дальневосточного региона и за рубежом. Эти данные показывают, что только при наличии оловорудной минерализации в растениях отмечаются повышенные количества олова, например в Забайкалье, Восточной Сибири, на севере Сибири (Яно-Индигирский район), в Якутии, а также частично в Казахстане, Узбекистане и на россыпях касситерита в Белоруссии и на Украине. В других районах страны, например на Урале, на Русской платформе, на Кольском полуострове, где отсутствует оловянная минерализация, содержание олова в растениях не превышает кларковых величин. Что касается зарубежных регионов, то по содержанию олова в растениях имеются лишь отрывочные сведения.

МЕТОДЫ БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ ОЛОВЯННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Помимо собственно биогеохимического метода поисков рудных месторождений, сущность которого заключается в определении содержания металлов в золе высших сосудистых растений, существуют другие способы биогенной индикации рудной минерализации. Эти методы описаны в работах Д. П. Малюги [1963], В. В. Поликарпочкина и Р. Т. Поликарпочкиной [1964], С. М. Ткалича [1970], Г. А. Андриановой [1979] и др. Однако что касается непосредственно биометодов поисков оловянного оруденения, то они до сих пор не были систематизированы и классифицированы. Поэтому мы провели специализированные исследования возможности биогеохимической индикации оловянной минерализации различными методами и их классификации, основанной на объектах опробования [Ивашов, 1983б].

В общей сложности все методы биогенной индикации оловорудных проявлений делятся на две группы: биогеохимические и биологические. Биогеохимические методы основаны на определении содержания олова и его спутников в вытяжках или в золе, полученных из биообъектов, а биологические — на особенностях зоо- и биоценозов, распространенных на участках оруденения.

Среди биогеохимических методов, которые можно использовать в практике поисков руд олова, предлагаются следующие: 1) фитогеохимический, 2) торфогеохимический, 3) бриогеохимический, 4) гумусогеохимический, 5) опадогеохимический, 6) метод лесной подстилки, 7) криобиогеохимический, 8) зольный, 9) донно-биогеохимический, 10) экспресс-флорометрический, 11) металлоорганический, 12) угольный, 13) палиногеохимический, 14) сокогеохимический, 15) зоогеохимический.

В группу биологических методов входят: 1) биогеоценологический, 2) морфолого-анатомический, 3) фенологический, 4) биофизический, 5) геомикробиологический. Первые три метода ранее входили в состав геоботанических и в качестве самостоятельных выделяются нами впервые.

Кратко рассмотрим сущность перечисленных методов и их разрешающие возможности применительно к оловорудной минерализации.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Фитогеохимический метод. Это наиболее распространенный способ собственно биогеохимической индикации оловянного оруденения, основанный на определении содержания олова и его спутников в золе органов высших сосудистых растений. По существу, биогеохимические поиски в их классическом варианте предусматривают опробование органов растений. Приведенные выше многочисленные примеры применения этого способа как на территории Дальнего Востока, так и за его пределами, в том числе и в зарубежных регионах, свидетельствуют о широком привлечении его с целью выявления биогеохимических аномалий олова на рудопроявлениях различного генетического типа. Фитогеохимический метод для поисков руд вообще в вышензложенном понимании одним из первых применил С. М. Ткалич

[1938, 1970], который предпочитал в своих исследованиях использование термина «фитогеохимический» вместо «биогеохимический», правомерно считая, что фитогеохимия наиболее точно отражает суть этого метода биоиндикации.

Торфогеохимический метод. Сущность метода заключается в определении содержания олова в золе торфов и мхов-торфообразователей, в частности в сфагнуме, ягеле, плаунах, хилокомиуме, политрихуме и др. Так, на сульфидно-касситеритовых проявлениях Дальнего Востока олово обнаружено, %: в сфагнуме Руссова — 0,001, политрихуме обыкновенном — 0,04, хелолиуме Бландова — 0,03, хилокомиуме блестящем — 0,03, плауне можжевельниковом — 0,002, в кладонии альпийской — 0,005. Как было показано выше, мхи являются концентраторами олова, поэтому не случайно этот металл накапливается в них даже при отсутствии явно выраженной оловянной минерализации. Например, олово обнаружено в торфяниках Среднего Урала [Тараканова, 1968], в сфагновых мхах верховых болот Северного Урала [Ибламинов, Кропачев, 1966], в торфах Украины [Кульская и др., 1963], в составе органического вещества торфяных отложений [Рагинский, 1977; Лиштва и др., 1977].

Опыт биогеохимических поисков оловорудных месторождений на Дальнем Востоке [Ивашов, 1982а], в горнотаежных мерзлотных ландшафтах Забайкалья [Волосиков, Напартэ, 1975; Баумштейн и др., 1981] и в Енисейском и Яно-Индибирском районах [Егорова, 1970] показал высокую эффективность торфогеохимического метода. Широкая распространенность мхов и торфяников в целом на заболоченных территориях дает возможность проводить биогеохимические поиски с любой детальностью. Биоаномалии олова, полученные по торфу, наиболее точно соответствуют эпицентрам рудных тел.

Методические разработки торфогеохимического метода поисков рудных месторождений вообще имеются в трудах ряда исследователей [Шахова, 1958; Тайсаев, 1977; Salmi, 1956; Chapman, Shacklette, 1960].

Применительно к поискам оловорудных месторождений опробование торфа не отличается от такового при поисках руд других металлов. Торфометрические пробы отбираются с поверхности торфяной залежи, отжимаются руками до удаления воды, укладываются в мешочки с этикеткой. Вес стандартной отжатой от воды пробы — не менее 50 г. Мешочки с пробами подвешиваются и высушиваются на открытом воздухе, затем содержимое разминается руками и просеивается через сито 0,5 мм. Просеянный материал озоляется в муфельной печи в фарфоровых чашечках при температуре не выше 450—500° С, и зола поступает на спектральный анализ для определения олова и его спутников. Опыт показывает, что чувствительность торфогеохимического метода к выявлению биоаномалий олова даже выше, чем при опробовании других растений вследствие большей концентрирующей способности мхов-торфообразователей по сравнению с обычными видами растений.

Торфогеохимический метод в последние годы начал применяться и за рубежом [Левинсон, 1976; Brooks, 1972].

Бриогеохимический метод. Он основан на определении содержания олова и его спутников в золе водных мхов, а название метода произошло от типа мохообразные — Bryophyta. Особенностью метода является выявленная тесная зависимость микроэлементного состава золы водных мхов как бескорневых растений от минерального состава вод в сочетании с их

высокой концентрирующей способностью. Поэтому не случайно в золе водных мхов содержания металлов в 1,5—2 раза больше, чем в сухих остатках вод, а контрастность бриогеохимических аномалий в 4—5 раз выше, чем гидрогеохимических. Широкое, почти повсеместное распространение водных мхов, обитающих в поверхностных водотоках, указывает на большие перспективы применения метода.

В нашей стране для поисков оловорудных месторождений на территории Якутии бриогеохимический метод впервые применил в 1965 г. Г. П. Лапаев [1975, 1982]. Оказалось, что наибольшее содержание олова в золе водных мхов, произрастающих в водотоках на рудопроявлениях, достигает 0,003—0,2% при фоне 0,0009%, т. е. в ручьях зафиксированы высококонтрастные бриогеохимические аномалии. Тем самым была доказана высокая эффективность бриогеохимического метода при поисках оловорудных месторождений различного генетического типа — оловянно-вольфрамовых, оловянно-редкометалльных, оловянно-полиметаллических. Бриогеохимические аномалии выделяются не только по олову, но и по его спутникам — Zn, Cd, Ni, Li, W, Co, Pb, Cu, Mn, As, Ag, Bi, Ge. В качестве доказательства эффективности метода можно отметить, что в 1973 г. при бриогеохимических поисках был выявлен перспективный участок, на котором открыто оловянно-вольфрамовое рудопроявление «Брион» (Г. П. Лапаев, 1978 г.).

По мнению Г. П. Лапаева, у водных мхов нет барьеров поглощения ни к одному микроэлементу, в том числе и таким, как Pb, U, As, Sb, которые считаются ядами для высших растений. Так, максимальное содержание Sn в золе водных мхов достигает 0,7%; спутники Sn — Pb, Zn, Cu, Sb, As, Ti, Ba концентрируются до 1% и выше; десятки доли процента характерны для W, Li, U, Nb, TR, Cr, Ni, V, Ge, а сотые — для Bi, Cd, Co.

Имеется большое разнообразие водных мхов, заселяющих поверхностные водотоки и водоемы. Так, только на территории Якутии выявлено более 45 видов зеленых и 15 сфагновых мхов [Лапаев, Степанова, 1981]. Однако несмотря на такое разнообразие, разные виды мхов концентрируют как олово, так и его спутники — металлы, практически одинаково, поэтому опробовать можно любые мхи без определения их вида, что значительно упрощает методику обработки и интерпретации бриогеохимических данных. Для опробования обычно служат наиболее распространенные мхи родов *Calliergon* (вид *C. giganteum*), *Drepanocladus* (вид *D. exannulatus*), *Hygrohypnum*, реже *Fontinalis*, *Cratoneurum*, *Hypnum*, *Sphagnum*.

При бриогеохимических поисках пробы мхов отбираются в зависимости от масштаба поисковых работ чаще всего по водотокам через 250 м и вблизи рудных тел, а на фоновых участках — из всех обнаруженных водопунктов — мочажин, горных выработок и т. д. В пробу берется мох одного вида, а в точке опробования — по возможности все виды мхов. Пробы мха тщательно отмываются от ила, песка, гравия и других примесей той водой, в которой они росли. После просушки проб озоление производится в фарфоровых чашечках в муфельной печи в течение ~1 ч при температуре 430°C. Озоление проб мха происходит быстрее, чем проб трав или кустарничков, получаемая зола более качественная и не требует дополнительного растирания.

Вследствие того, что зольность водных мхов по сравнению с корневыми растениями достаточно высока, колеблется в пределах 3—30%, можно

получить необходимую для анализа навеску золы из относительно небольшой исходной пробы мхов.

Преимущество бриогеохимического метода заключается еще и в том, что мхи как многолетние растения отражают состав вод за период вегетации. Поэтому содержание металлов в золе мхов не подвергается сезонным и погодным колебаниям, и при проведении полевых работ нет необходимости проводить режимные наблюдения.

За рубежом бриогеохимический метод не нашел широкого применения и использовался только для индикации уранового оруденения в Новой Зеландии [Brooks, 1971; Whithead, Brooks, 1969].

Гумусогеохимический метод. Этот метод основан на определении олова в гумусовом слое почв, которое сорбируется гумусированным органическим веществом и становится еще менее подвижным по сравнению с минеральными горизонтами. Поэтому даже в условиях дальневосточного промышленного режима, обусловленного муссонным климатом, олово относительно накапливается в гумусовом горизонте. В свое время В. М. Гольдшмидт [Goldschmidt, 1937] отмечал обогащение гумусового горизонта почв тяжелыми металлами, в том числе и оловом, связывая это обогащение с деятельностью растительности по извлечению микроэлементов из минеральных почвенных и подпочвенных слоев и переводом их в малорастворимые органоминеральные соединения.

Мы провели специальные исследования по опробованию гумусового горизонта бурых горно-лесных почв на участках кварц-касситеритового, сульфидно-касситеритового и оловянно-полиметаллического рудопроявлений Дальнего Востока. Установлено, что толщина гумусового горизонта не превышает 10 см. Содержание олова в нем над рудными зонами 0,0005—0,006% при фоновых концентрациях порядка 0,001%. В гранулометрическом спектре мелкозема гумусового горизонта с участков названных рудопроявлений наибольшие количества металла — 0,002—0,005% — отмечаются во фракции 0,05—0,25 мм. Фиксируемые этим методом биогеохимические аномалии олова характеризуются достаточно высокой контрастностью — до 5—6 единиц и соответствуют эпицентрам оловорудных тел. Спутники Sn — Cu, Zn, Pb, Ag, Mo также обладают хорошей информативностью при определении их в гумусе. Преимуществом гумусогеохимического метода является легкость и простота отбора биогеохимических проб и четкая индикация оловянной минерализации.

Использование гумуса в поисковых целях в целом на тяжелые металлы имеет место и за рубежом, в частности в Финляндии [Kauranne et al., 1961; Kokkola, 1977], в Западной Тасмании [Moort, Russell, 1979] и непосредственно при определении олова — в Австралии [Rattigan, 1963].

Опадоеохимический метод. Этот метод биогеохимической индикации оловянной минерализации основан на определении содержания олова и сопутствующих микроэлементов в опаде древесных и кустарниковых растений. Мы провели опытно-методические работы по оценке возможности использования этого метода для поисковых целей на трех рудопроявлениях сульфидно-касситеритового типа, расположенных в зоне хвойно-широколиственных лесов Приамурья. Поэтому объектом опробования были в основном листья березы ребристой, тополя душистого, липы амурской, осины, ильма и др. По профилям, заложенным вкрест простираения рудных зон, был проведен отбор проб опада (55 образцов), в золе которого установлены

следующие металлы (пределы содержания, %): Sn — 0,0005—0,006, Pb — 0,001—0,005, Cu — 0,001—0,01, Zn — 0,01—0,4, V — 0,001—0,003, Ag — до 0,0002, Mo — до 0,0001, Ni — 0,001—0,003, Mn — 0,01—0,3; в единичных пробах установлены Be, Cr, Ga. Контрастность биогеохимических аномалий олова достигает 6 единиц, хотя это и ниже, чем по органам живых растений, тем не менее установленные по опадку биоаномалии соответствуют зонам минерализации. Между содержанием олова и его спутников в опаде имеется корреляционная зависимость, правда не очень тесная: положительная со Pb и Cu с коэффициентами корреляции соответственно 0,23 и 0,15 и отрицательная с Zn и Mn — 0,11 и 0,12.

Присутствие олова в опаде отметили М. А. Глазовская [19646] на Северном Урале и Н. П. Солнцева [1969] в Амурской области, причем была выявлена также корреляционная положительная связь этого металла с Pb, Cu, Mo, Ba, V, Co. Подчеркивается, что в ряде случаев опробование опада на такие элементы, как Sn, Ge, Cd, Co, As, было геохимически более эффективно, чем опробование древесных растений и почв. При этом содержание олова в опаде в ландшафтах Северного Урала было на один—два порядка выше, чем в золе растений.

По данным А. М. Кропачева [1973], среднее содержание олова в хвойном и лиственном опаде Камского Приуралья достигает (в мг/100 сухого вещества): пихта — 0,03, ель — 0,01, сосна — 0,015, осина — 0,03, береза — 0,06.

Несмотря на такие благоприятные характеристики поглощения опадом тяжелых металлов, Г. А. Андрианова [1979] указала на ограничения в применении опадогохимического метода в практике поиска, а именно: сокращенные сроки опробования, ограниченный выбор материала для опробования (листья) и возможность загрязнения биогеохимических проб.

Тем не менее опыт, полученный непосредственно на оловорудных объектах, свидетельствует о том, что опадогохимический метод может использоваться при индикации оловянной минерализации особенно в тех случаях, когда опробование опада более эффективно, чем других биообъектов.

Метод лесной подстилки. Он предусматривает определение олова в самой верхней части почвенных разрезов, т. е. в горизонте A_0 , именуемом лесной подстилкой, которая обычно представлена полуразложившимися слабоминерализованными остатками растительного происхождения — слежавшимися листьями, хвоей, мелкими веточками, остатками трав и т. д. По существу, лесная подстилка представляет собой своеобразный неживой растительный объект, в котором содержание тяжелых металлов зависит от среднего химического состава преобладающей ассоциации и интенсивности ландшафтно-геохимических процессов разложения и трансформации отмершего органического вещества растительного происхождения.

С целью оценки информативности лесной подстилки в биогеохимической индикации оловянной минерализации мы провели специализированные исследования на кварц-касситеритовом, касситерит-полиметаллическом и касситерит-грейзеновом рудопоявлениях, находящихся в зоне хвойно-широколиственных лесов Дальнего Востока [Ивашов, 1983а]. В этих природных условиях лесная подстилка характеризует верхнюю часть бурых горно-лесных почв. По трем профилям, заложенным вкрест простирания рудных зон названных рудопоявлений в точках наблюдения было отобрано 95 образцов лесной подстилки. Подготовленные пробы озо-

дьялись в муфельной печи, полученная зола анализировалась количественным спектральным анализом для установления содержания олова и его спутников. Содержание олова в лесной подстилке на участках рудопроявлений составляет, %: на кварц-касситеритовом — 0,001—0,1, касситерит-полиметаллическом — 0,001—0,006, касситерит-грейзеновом — 0,0005—0,001; среднее по трем объектам — 0,0055 (24 образца). Разница в содержании олова в лесной подстилке обусловлена различной степенью интенсивности оловянной минерализации объектов, представленной касситеритом. Кроме того, установлены спутники олова в количествах, % (пределы и среднее): Си — 0,001—0,01 (0,0034), Pb — 0,001—0,01 (0,0032), Zn — 0,01—0,4 (0,083), Mn — 0,01—0,3 (0,1250), Ag — 0,0001—0,0002 (0,0001), V — 0,001—0,003 (0,0025); в единичных пробах — Mo — 0,0001, Cr — 0,003, Ni и Ga — до 0,001%. Для касситерит-грейзенового рудопроявления наиболее характерные спутники Sn, %: Be — 0,0001—0,005 (0,0013) и Zr — 0,01—0,05 (0,0290).

Основные тяжелые металлы, характерные для оловянной минерализации названных рудопроявлений — Sn, Си, Pb, Zn, Ag, Be, Zr — повсеместно обнаружены в лесной подстилке в пределах участков оруденения с наибольшим содержанием над эпицентрами рудных тел. Весьма характерно, что повышенные содержания олова и его спутников отмечаются в тех пробах из лесной подстилки, в составе которых имеются остатки зеленых мхов, лишайников, торфа.

Следует отметить, что биогеохимические аномалии олова по лесной подстилке в условиях Приамурья отличаются высокой контрастностью, достигающей 100 единиц и больше, особенно на рудопроявлении кварц-касситеритового типа. Это связано со спецификой концентрирования олова в данном биообъекте по сравнению с живыми растениями и характерно не только для олова, но и для других металлов, в частности золота в ландшафтах Восточной Сибири и Забайкалья [Жукова, Загоскина, 1973].

По данным Р. И. Жуковой, содержание олова в лесной подстилке, сформированной на полиметаллических и оловорудных проявлениях Хапчегангинского рудного узла в Забайкалье, достигает 0,03—0,05% на золу, что более чем на порядок выше концентраций в почве [Поликарпочкин и др., 1977; Поликарпочкин, 1978]. При этом особенно четким индикатором является наилучший спутник олова — свинец, содержание которого в лесной подстилке достигает 0,5—1% и более.

Значение лесной подстилки в биогеохимических поисках рудных месторождений высоко оценивали В. В. Поликарпочкин [1971, 1980], В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина [1964]. На примере Спасского полиметаллического месторождения в Восточном Забайкалье было показано, что содержание ряда тяжелых металлов — As, Pb, Zn, Ag, Sb, Sn и других в лесной подстилке значительно выше, чем в живых растениях и в нижележащих горизонтах почв. Повышенное содержание металлов в лесной подстилке по сравнению с живыми растениями объясняется не столько их наследованием из растений в процессе биологического круговорота, сколько заимствованием из просачивающихся и капиллярно поднимающихся из более глубоких горизонтов металлосодержащих вод. При этом концентрированию металлов способствуют возникающая локально восстановительная среда и высокие сорбционные свойства подстилки.

Г. Г. Русяева и Г. А. Белогорова [1979] провели биогеохимические поиски с опробованием лесной подстилки в условиях Сибири.

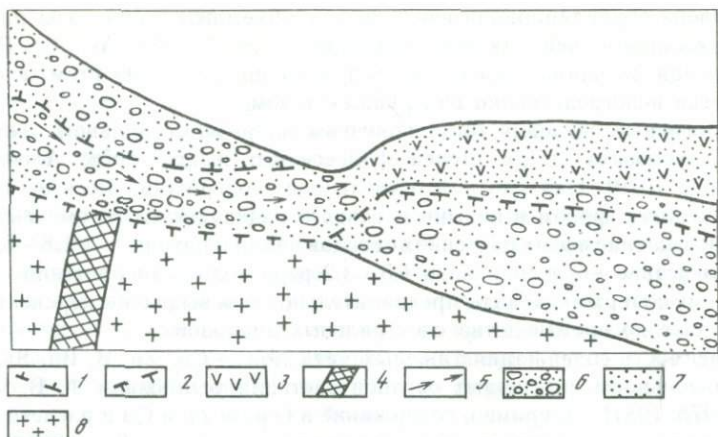
Они подтвердили высокую эффективность этого метода в установлении зон минерализации, что выразилось в наибольшем числе элементов-индикаторов и высокой контрастности ореолов Ag, Pb, Sn и Au. Четкую индикацию рудной минерализации по лесной подстилке эти исследователи связывают со спецификой состава лесной подстилки, образованной преимущественно отмершими мхами — известными концентраторами многих металлов, в том числе и олова, среди которых преобладают кукушкин лен — *Polytrichum commune* и *Pleurozium schreberi*.

Таким образом, лесная подстилка является высокочувствительной и наиболее информативной с точки зрения биогеохимической индикации оловянного оруденения — как по нашим данным в пределах Дальневосточного региона, так и по материалам других исследователей за пределами Дальнего Востока. Поэтому применение этого метода при биопосках олова будет эффективным. Методика опробования и анализа проб растительной подстилки при биогеохимической съемке и поисках описана Н. Ф. Майоровым [1963].

Криобиогеохимический метод. Метод основан на определении содержания олова и его спутников в органических гумусированных остатках из льда наледей. Этой особенностью криобиогеохимический метод принципиально отличается от криогидрогеохимического метода, в основе которого лежит определение тяжелых металлов из «наледных солей», представленных нерастворимым остатком, содержащим различные алюмосиликатные минералы, в частности слюды, и собственно наледные соли в виде хемогенных образований — кристаллов, осадков и т. д. Например, в наледных солях Восточного Саяна содержание Sn достигает 0,0007% [Иванов и др., 1981], а на рудных полях Охотского-Чукотского пояса — 0,0006% [Вербицкий, 1980].

Криобиогеохимический метод может использоваться в районах развития многолетней мерзлоты, которая не препятствует формированию биогенных ореолов рассеяния металлов даже в живых растениях [Поликарпочкин, 1969], а на территории многолетней криолитозоны, особенно в рудных районах, формируются криогенные геохимические поля в виде мощных наледей — «гидроэффузивов» [Швецов, 1961]. Поэтому такие мерзлотные регионы Сибири и Дальнего Востока, например зона БАМа, две трети территории которой находятся в пределах многолетней мерзлоты, являются весьма благоприятными для поисков оловорудных месторождений с помощью криобиогеохимического метода.

Схема формирования криобиогеохимического ореола рассеяния олова в гумусированных органических остатках наледного льда показана на рис. 50. Особенно четкие ореолы такого типа формируются на участках, где образованию наледей в зимний период предшествуют в летнее время солифлюкционные процессы на склонах, обуславливающие вымывание гумусового вещества из верхнего горизонта почв, из-под мохово-растительной подстилки. При разгрузке подземных вод, формирующих наледи, последние обогащаются гумусовым веществом, опробование которого из наледного льда дает информацию для прогноза руд тяжелых металлов. В условиях Дальнего Востока выносу гумусированного вещества и мелких растительных остатков из почвенного покрова способствуют интенсивные кратковременные муссонные дожди. Так, на восточном участке зоны БАМа, на 57-м км отрезка



Р и с. 50. Схема формирования криобиогеохимического ореола рассеяния олова в гумусированных органических остатках наледного льда в зоне развития многолетней мерзлоты

1, 2 — граница мерзлоты: 1 — сезонной, 2 — многолетней; 3 — наледный лед; 4 — оловянное тело; 5 — направление движения подземных вод; 6 — водоносные породы; 7 — биогеохимический ореол рассеяния олова в наледи; 8 — рудовмещающие породы

Ургал-Могды, на второй день после дождей на склоне, подрезанном автодорогой, мы наблюдали конусы выноса органического вещества из-под почесового горизонта почв. В зимний период в нижней части долины реки гумусово-органическое вещество конусов выноса вовлекается в замерзший лед образующихся наледей. Опробование органических остатков показало присутствие в них тяжелых металлов, %: Sn — 0,0003, Pb — 0,003, Zn — 0,005, Cu — 0,001, Ni — 0,0005, Co — 0,001, Ga — 0,003, Sc — 0,0005. Содержание металлов находится в пределах их кларков, поскольку на данном участке рудной минерализации нет. При наличии минерализации гумусовое вещество наледного льда как хороший сорбент несомненно даст возможность зафиксировать биоаномалии тяжелых металлов, в том числе и олова. Пока криобиогеохимический метод слабо разработан, однако информативность его в фиксировании оловянных руд и перспективы широкого применения на Дальнем Востоке и Северо-Востоке СССР оцениваются положительно.

Зольный метод. Впервые зольный метод для поисков кобальтовых руд применил Е. П. Захаров (1969г.) в Тувинской АССР. Метод основан на определении объемного веса и цвета золы растений, распространенных над рудной зоной. Повышенное содержание в золе рудных компонентов приводит к увеличению объемного веса золы. Определение объемного веса золы каждой пробы с помощью взвешивания и мерного цилиндра и нанесения результатов на графики биогеохимических профилей позволяет выявлять местоположения рудных тел. Так, этим методом Е. П. Захаров точно зафиксировал местоположение арсенидных кобальтовых руд до проведения спектрального анализа золы, которая имела серовато-желтоватый и беловато-розовый цвета, указывающие на повышенное содержание в ней кобальта. При этом во всех растениях на кобальтовом месторождении

установлена корреляционная связь между объемным весом золы растений и содержанием в ней тяжелых металлов — Co, Ni, Cu, As, Ag, Pb, Zn. Наибольшая величина объемного веса золы до 0,85—0,95 г/см³ в пробах отмечается непосредственно над рудным телом.

Аналогичные сведения были получены на редкометалльном месторождении в условиях сухих степей [Алексеевко и др., 1976; Алексеевко, Войткевич, 1979]. Оказалось, что увеличение содержания Be в 9—140 раз по сравнению с фоном в полины и таволге над рудными телами вызвало резкое повышение в этих растениях оксидов калия и натрия — в 1,8—6,4 раза и как следствие — увеличения в 1,5—3,2 раза зольности растений. По повышенному содержанию золы предварительно были выделены перспективные участки еще до производства спектральных анализов.

Зависимость содержания тяжелых металлов — Cu, Zn, В, Ва, Sr, Mn и Fe — от зольности различных органов растений установили Ф. В. Чухров и др. [1978, 1981]. Например, содержание в березе Zn и Cu в расчете на 1% зольности вне зон минерализаций равно соответственно, %: 0,614 и 0,023, а над рудной зоной — 2,394 и 0,059. Причем выход золы из органов березы больше в тех деревьях, которые растут над оруденением. Выявлено, что содержание металлов в золе растений зависит от содержания в них главных зольных элементов. Повышение зольности ведет к снижению общего содержания металлов в золе, в частности Zn и Cu.

Проведенное нами изучение зольности растений на оловорудных месторождениях Дальнего Востока показало, что повышенное содержание в золе Sn и его спутников, особенно Zn, также сопровождается увеличением выхода золы. Например, зольность древесины пихты белокорой, произрастающей на участке касситерит-вольфрамового рудопроявления, составляет 0,62%, в то время как на контрольном участке без оруденения (на алевролитах) зольность древесины этих деревьев не превышает 0,30%, т. е. в 2 раза меньше. Повышенная зольность пихты белокорой на рудопроявлении характерна и для других органов, %: хвоя — 4,12 (контроль — 2,88), ветви — 1,81 (контроль — 1,26), кора — 4,26 (контроль — 3,68).

Аналогичное соотношение зольности характерно и для ели аянской на этом же рудопроявлении, %: хвоя — 3,65 (контроль — 3,12), ветви — 2,54 (контроль — 2,31), кора — 4,74 (контроль — 3,42), древесина — 0,25 (контроль — 0,18), а также лиственницы даурской: хвоя — 2,82 (контроль — 2,80), ветви — 1,64 (контроль — 1,02), кора — 3,56 (контроль — 1,92), древесина — 0,30 (контроль — 0,20). По всем трем указанным видам деревьев распределение зольности по органам однозначно и составляет ряд по мере уменьшения выхода золы: кора—хвоя—ветви—древесина независимо от того, произрастают ли деревья на рудопроявлении или за его пределами. Однако зольность всех органов растений на рудопроявлении значительно выше, чем на «стерильном» участке. Эту установленную нами зависимость зольности деревьев от экологических условий можно использовать для предварительного прогноза оловянной минерализации.

Весьма характерно, что если содержание олова в золе органов ели, пихты и лиственницы на отмеченном рудопроявлении колеблется от 0,001 до 0,01% с максимумом в древесине, то на контрольном участке его концентрации не превышают кларковых значений — 0,0005%.

Хотя зольный метод индикации оловянной минерализации пока слабо разработан, но полученные первые данные свидетельствуют о его больших

перспективах, объясняющихся его простотой и быстротой. Как установили Г. В. Уоррен и Р. Е. Делово [Warren, Delavault, 1955], зольность молодых побегов растения обычно выше зольности старых. Так, зольность однолетнего побега сосны (*Pinus Banksiana* L.) 2,9%, а четырехлетнего побега того же дерева — 1,5%. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке практических приемов зольного метода биоиндикации оловянных руд.

Донно-биогеохимический метод. Поиски оловорудных месторождений этим методом, в первом приближении, можно рассматривать как разновидность литогеохимических съемок по потокам рассеяния с опробованием донных осадков водотоков и озер. Однако принципиальным отличием донно-биогеохимического метода является то, что при его применении спектральному анализу подвергается не минеральная, а органическая составляющая донных проб, представленная растительным детритом и гумусированным веществом в составе тонких и наиболее легких фракций донных отложений водотоков и водоемов. Органическое гумусированное вещество, обладающее значительно большей емкостью поглощения, чем минеральные, в том числе и глинистые частицы, наиболее чувствительно к сорбции тяжелых металлов и, следовательно, является высокоинформативным индикатором оруденения.

Потоки рассеяния с опробованием фракций донных осадков, обогащенных органическим веществом, исследовались на Аляске, в районе Томпсон-Крик [Hummel, Chapman, 1960]. Непосредственно в поле колориметрическими методами в пробах определялось содержание металлов и установлено присутствие Sn и его спутников — Pb, Cu, Mo, Sb, Zn, As, Bi. Вблизи известных месторождений содержание металлов в донных осадках увеличивается в 2—6 раз по сравнению с подстилающими породами.

Наиболее благоприятными условиями для применения донно-биогеохимического метода являются бассейны водотоков, где образуется наилок [Левашов, 1983], как правило, обогащенный гумусово-растительным детритом. Опыт биогеохимических поисков в условиях заливных низин с наилковыми суглинками имеется в Канаде [Egginton, 1983].

Экспресс-флорометрический метод. Этот метод для поисков оловорудных месторождений разработал и впервые применил В. М. Питулько [1971, 1977] на рудных полях Северо-Востока СССР. Суть его заключается в определении подвижных форм металлов в навеске из неозолненных биогеохимических проб, отобранных в ландшафтах с сульфидным типом миграции металлов в зоне гипергенеза. Аналитическая суть метода такова. Навеску 10 г мелко наломанных очищенных от листьев ветвей деревьев и кустарников на 5 мин заливают 100 мл безметалльной водой при постоянном и энергичном встряхивании. Отфильтрованный раствор помещают в делительную воронку, подщелачивают каплей 13,5%-ного аммиака и делают дробную экстракцию ионов тяжелых металлов 0,002%-ным раствором дитизона в четыреххлористом углероде. Экстрагирующим считается законченным, если окраска дитизона сохраняет зеленый цвет. Результаты анализов приводят в объемах израсходованного реактива или после эталонировки. Проведение анализов можно делать непосредственно в поле сразу для всех проб дневного сбора с производительностью до 60 анализов в день на одного исполнителя. Подвижные формы тяжелых металлов в вытяжке при таком извлечении составляют 8—10% валового количества под зоной минерализации и 0,3% за ее пределами, т. е. при фоновых концентрациях

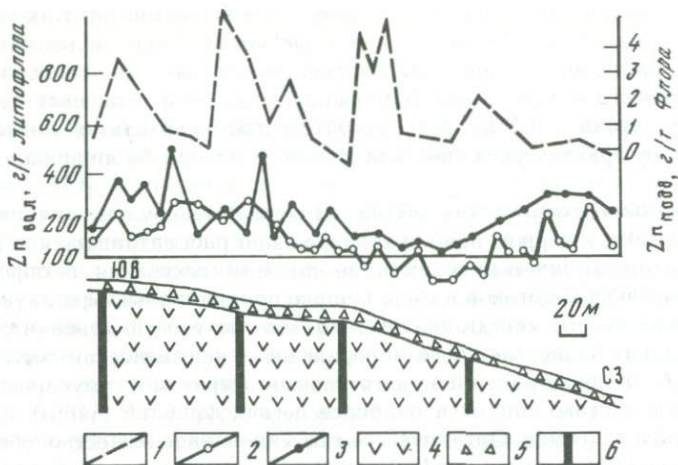


Рис. 51. Сравнительная контрастность экспресс-флорометрических, биогеохимических и литогеохимических аномалий цинка по профилю на месторождении Барыль-лызлах (по В. М. Питулько [1977])

1—3 — распределение содержания: 1 — подвижного цинка (водная вытяжка из растительного материала), 2 — валового цинка в почвогрунтах, 3 — валового цинка в золе растений; 4 — рудовмещающие дациты; 5 — элювиально-делювиальные образования мощностью 0,5—1 м; 6 — касситерит-хлоритовые жилы

в породах. Метод проверен на оловорудных месторождениях, в том числе и на россыпях [Питулько, 1971].

В качестве примера на рис. 51 приведен биогеохимический профиль на одном из участков оловорудного месторождения, построенный на основе подвижных форм цинка в растениях как спутника олова. Для сравнения на профиле показаны содержания цинка в золе растений и в почвогрунтах. Как видно, экспресс-флорометрические аномалии значительно контрастнее фитогеохимических и литогеохимических и четко фиксируют касситерит-хлоритовые жилы.

Преимущество экспресс-флорометрического метода заключается в том, что при применении его можно с высокой информативностью выделять как оловорудные зоны, так и отдельные рудные тела по подвижным формам металлов, причем как непосредственно по Sn, так и его спутникам — Pb, Zn, Cu и др.

Металлоорганический метод. Поиски руд этим методом основаны на определении содержания олова и других тяжелых металлов в металлоорганических комплексах — в фульватах и гуматах, выделенных из торфяно-болотных почв, торфов, гумусовых горизонтов почв, озерных осадков и т. д. [Антропова, 1982]. Суть его заключается в экстракции раствором пиррофосфата натрия исходного органического вещества, например гумуса почв, и в определении химическими методами в полученном фильтрате, содержащем металлоорганические комплексы тяжелых металлов. По сравнению с обычным вариантом анализа зола гумусового горизонта этот метод принципиально отличается тем, что определение металлов может производиться непосредственно в полевых условиях и позволяет избежать трудоемкого процесса озоления биогеохимических проб.

Биогеохимические исследования с использованием металлоорганического метода на территории Белоруссии были проведены К. И. Лукашевым и др. [1977], В. К. Лукашевым и Б. А. Судовым [1977], В. К. Лукашевым и К. И. Лукашевым [1981]. На участке определялось содержание олова и других металлов в гуматах торфов и торфяно-болотных почв. Гуматы выделялись обработкой исходного вещества 0,1 М раствором пирофосфата натрия в течение 3 ч при комнатной температуре. Органические соединения переходят в раствор, где микроэлементы определялись полярографическим методом и спектральным анализом после соосаждения пирофосфатной вытяжки с сульфидом кадмия. Для исключения погрешностей неполного выделения гуматов в пробах содержание микроэлементов относилось к количеству углерода в определенном объеме. На предполагаемом выходе зоны рудоносных метасоматитов под аллохтонными отложениями на биогеохимическом профиле были выявлены четкие пики в распределении Sn, Zn, Co, Pb, V, Cu, Mo, Sb [Лукашев, Лукашев, 1981]. При этом была установлена значительная глубинность металлоорганического метода по сравнению с обычной торфогеохимией.

Проведенные исследования показали, что этот метод успешно и высокоинформативно не только фиксирует участки рудной минерализации, но и может применяться в условиях Белоруссии при картировании зон гидротермальной проработки пород фундамента кристаллического щита под слоем покровных рыхлых отложений в заболоченных ландшафтах.

Угольный метод. Этот метод еще не получил широкого распространения ни в опытно-методических исследованиях, ни тем более в практике поисков руд. Он предлагается нами, и суть его, по нашему представлению, заключается в прогнозе оруденения путем опробования угольных пластов и последующего определения микроэлементов в ископаемых углях. Повышенное содержание металлов в углях может указывать на присутствие в древних ландшафтах, в частности в растительности, послужившей основой формирования углей, палеобиогеохимических ореолов рассеяния. В том случае, если угли образуются в болотных фациях геологических структур, содержащих в фундаменте рудоносные тела, биогеохимические аномалии металлов в углях могут быть индикатором этого оруденения, причем не только коренного, но и россыпного, связанного с древними погребенными корами выветривания или продуктами их перетолжения.

Помимо прогноза оруденения, этот метод может иметь значение в индикации палеобиогеохимических провинций, имевших место в древних ландшафтах, где происходило образование углей на основе определения в них микроэлементов.

Что касается непосредственно олова, то этот металл содержится в углях в ряде бассейнов, как в СССР [Башаркевич и др., 1977], так и за рубежом: в Буреинском и Тынминском Дальнего Востока [Китаев, 1971; Китаев, Китаева, 1980], в Кузнецком [Боровик, Ратынский, 1944], в бассейнах Западной Европы [Goldschmidt, 1933], США [Zubovic et al., 1960], Канады [Kronberg et al., 1981], Японии [Takeda, 1981] и др.

Олово обнаружено нами в углях и углесодержащих породах в составе юрских континентальных отложений северо-востока Русской платформы [Ивашов, 1966]. Причем оказалось, что повышенные содержания этого металла до 0,0007% отмечены в алевритовых фракциях (0,15—0,56 мм) пород, насыщенных углистым детритом. Присутствие олова в углях и в песках

юрских отложений региона, хотя и в незначительном количестве, в какой-то степени свидетельствует о возможных палеобиогеохимических ореолах рассеяния олова в растениях древних ландшафтов, где формировались мало-мощные пропластки юрских углей.

Разработку научных основ и практических приемов угольного метода для поисков оловорудной минерализации и опытно-методические исследования в этом направлении целесообразно провести на Дальнем Востоке, в пределах Тихоокеанского рудного пояса, где рудоносные структуры в ряде случаев соседствуют с угольными месторождениями. Здесь могут быть такие варианты, когда угольные пласты перекрывают нижележащие оловорудные зоны, и применение угольного метода дает возможность оценить перспективы на олово той или иной территории.

Палиногеохимический метод. Это новый метод индикации оруденения, предложенный Г. В. Уорреном [Warren, 1980], на основе определения микроэлементов в пыльце растений. Сбор пыльцы осуществляется специальными ловушками. Анализ собранного пыльцевого материала производится с помощью высокочувствительного атомно-адсорбционного метода на интересующие металлы. Исследования показали, что содержание рудных элементов в пыльце может служить индикатором рудной минерализации и успешно использоваться при биогеохимических поисках. Кроме того, палиногеохимический метод может быть применен для оценки степени загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, что показано этим исследователем на примере Zn, Cu, Pb, Cd, Fe, Mn. По отношению к олову этот метод пока не применялся, но очевидно, что его можно использовать как для индикации оловянной минерализации, так и для оценки степени загрязнения этим металлом окружающей среды.

Сокогеохимический метод. Метод заключается в биогеохимической индикации оруденения путем определения металлов и химических соединений в соке деревьев, в частности березы. Е. П. Захаров [1969в] применил этот метод для поисков кобальтовых руд в Тувинской АССР путем опробования сока березы — *Betula verrucosa*. Поскольку на участке нет поверхностных водотоков и выходов грунтовых вод, то гидрогеохимический метод применить было нельзя. Малоэффективно использование и литогеохимического метода, поскольку металлы в профиле почв концентрируются на глубине 0,65—1,20 м. Поэтому сокогеохимический метод оказался наиболее благоприятным благодаря широкому распространению в ландшафтах березовых рощ. В соковом концентрате березы были обнаружены Ni, Cu, Ag, Pb и Zn, а также сульфат-ион, хлор-ион, CO₂, NH₄ и повышенная общая минерализация. Видимо, поступающие в березу металлы не полностью поглощаются ее органами, а часть их находится в соке. По заключению Е. П. Захарова [1969в], в районах с аналогичными ландшафтно-геохимическими условиями поиски кобальтовых руд можно проводить не только фитогеохимическим или гидрогеохимическим (по талым водам) способами, но и по соку березы.

Ф. П. Кренделев и др. [1978], Ю. Ф. Погребняк и др. [1977] изучили биогеохимические ореолы по соку березы — *Betula platyphylla* на Озерном полиметаллическом месторождении (Забайкалье). В соке были определены K, Ca, Mg, Na, Cu, Zn и Pb, а также замерялась величина pH. В пределах месторождения содержание Zn в пробах сока значительно выше, что может быть использовано при поисках аналогичных месторождений. Для Pb харак-

терны низкие содержания в соке берез как на месторождении, так и за пределами оруденения, что объясняется его меньшими миграционными свойствами, а также, возможно, наличием биологических барьеров в корневой системе березы. Повышенное содержание Cu отмечается в пробах сока берез, произрастающих над рудными свинцово-цинковыми залежами, хотя биоаномалии по меди характеризуются меньшей контрастностью.

В. П. Загузин и др. [1980] применили сокогеохимический метод для поисков вольфрамовых и молибденовых месторождений также путем опробования сока березы и показали, что этот метод эффективен как при выявлении зон минерализаций названных металлов, так и при фиксировании отдельных рудных тел.

В целом полученный опыт показывает, что сокогеохимический метод имеет ряд преимуществ, связанных с сезонностью движения березового сока, широким распространением березовых лесов на территории нашей страны, простотой отбора и обработки сокогеохимических проб. Большинство металлов определяется непосредственно в соке березы пламенным атомно-абсорбционным спектральным методом с производительностью приборов до 100 определений в день, причем расход сока не превышает 2—3 мл на одно определение. Взятие таких небольших по объему проб сока не причиняет значительных повреждений деревьям. Все это делает метод одним из самых экспрессных и дешевых. Применение метода наиболее целесообразно при закрытых литохимических ореолах и при отсутствии возможности проведения гидрогеохимических поисков. Глубинность сокогеохимического метода определяется глубиной проникновения корней берез и соответствует глубинности фитогеохимического метода. При интерпретации аналитических данных с целью увеличения контрастности получаемых биоаномалий и учета изменений содержания металлов в процессе сокодвижения рекомендуется рассчитывать отношение концентрации Zn к сумме содержания макроэлементов — K , Ca , Mg , особенно при поисках полиметаллических руд [Кгенделев, Погребняк, 1979]. Кроме того, помимо березы для этого метода возможно применение других деревьев, в частности кленов.

По-видимому, и для оловорудных месторождений метод имеет большие перспективы и заслуживает апробации, особенно в зонах широколиственных и хвойно-широколиственных лесов Дальнего Востока.

Зоогеохимический метод. Он основан на определении олова в золе живых организмов или их отдельных органов, а также в продуктах метаболизма последних. Впервые этот метод для поисков золота предложил И. Бабичка [1954]. Обитающие в пределах экосистемы над рудными полями различные организмы — почвенная мезофауна, членистоногие, птицы, млекопитающие и т. д. являются объектом опробования. Для поисков руд олова этот метод почти не разработан, но он весьма перспективен, о чем свидетельствуют полученные данные о содержании олова в организмах. Так, Б. А. Колотов и др. [1965] установили олово в золе мышей на оловорудном месторождении Приморья (рис. 52). Концентрация этого металла во внутренностях мышей достигает 0,1%, а в мышцах целиком — 0,05%. За пределами рудного тела содержание Sn в обоих вариантах проб не превышает 0,001%, и то в единичных пробах, а в большинстве проб металл отсутствует, т. е. находится за пределами чувствительности анализа. Наряду с Sn в мышцах обнаружены Pb , Zn , Co .

В. В. Добровольский [1968] установил наличие Sn в золе почвенных

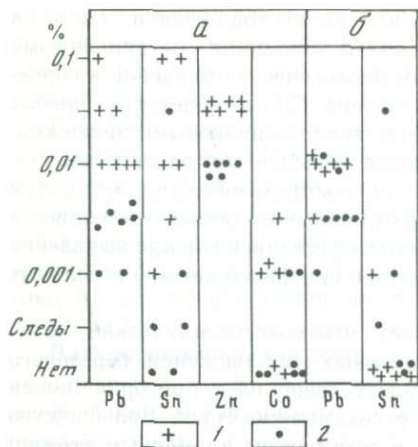


Рис. 52. Содержание олова и его спутников в зоопробах на оловорудных и полиметаллических месторождениях Приморья и за их пределами: а — во внутренних частях мышей, б — в мышах целиком

1, 2 — пробы, отобранные: 1 — на месторождении, 2 — вне месторождения (по Б. А. Колотову и др. [1965])

животных, главным образом червей из дерново-подзолистых почв Калужской области. Содержание Sn в золе червей достигает 0,0007%, т. е. больше, чем в покровных суглинках, где оно не превышает 0,0005%. Помимо Sn, в золе почвенных животных четко аккумулируются Zn, Ag, Mo и менее отчетливо — Sr, Cu, Ni, Co.

На золоторудных месторождениях куранахского типа Якутии олово в золе рыжих муравьев (*Formica rufa*) определили Л. В. Разин и И. С. Рожков [1966] с весьма высоким содержанием — 0,003%, т. е. даже на неоловяной минерализации. По-видимому, муравьи являются концентраторами не только олова, но и золота, поскольку в странах Центральной Африки термитники и муравьи используются для поисков золота геозоологическим методом [Brooks, 1982]. В литературе имеются сведения о накоплении олова морскими организмами, в частности медузами.

По данным В. В. Ковальского и Т. Ф. Боровик-Романовой [1978], Sn в количестве от 0,21 до 16,0 мг/кг (в пересчете на воздушно-сухое вещество) обнаружено в различных видах бабочек (чешуекрылые) отряда Lepidoptera, опробованных в разных местах (Белоруссия, Латвия, Крым, окрестности Одессы, некоторые районы Московской, Ярославской и Киевской областей) в ассоциации с другими микроэлементами — Cu, Zn, Ag, Pb, Mo, Be, Bi, Co и т. д. Оказалось, что содержание большинства микроэлементов в бабочках довольно близко к содержанию их в растениях. При этом установлено, что различные таксономические группы бабочек, как и представители одного вида в разных районах СССР, по содержанию Sn и его спутников отражают геохимические особенности условий окружающей среды.

Возможность биоиндикации рудных месторождений с помощью насекомых, в частности совка семейства Noctuidae, отмечал А. Т. Томшин [1971]. Была выявлена зависимость содержания микроэлементов у насекомых от обитания их на различных рудных месторождениях, в частности молибденовых и медно-молибденовых в Хакасии. Содержание металлов — Mo, Cu, Pb, В, Mn, Zn, Fe в совках соответствует концентрации металлов в поедаемых ими растениях. Поэтому отмеченная зависимость может быть использована при первоначальном обследовании территории на содержание микроэлементов в растениях и в почвах.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Биологические методы индикации оловянной минерализации (как и для любого оруденения) пока разработаны слабо в связи с их спецификой.

Как указывает Р. Р. Брукс [Brooks, 1972], эти методы являются наиболее легкими по исполнению и самыми трудными по интерпретации. Например, при геоботанических методах поисков оруденение обнаруживается по растениям-индикаторам, индикаторным сообществам растений и тератологическим изменениям в растениях. Однако таких геоботанических признаков пока выявлено мало, и их не всегда можно однозначно трактовать применительно к оруденению. Не случайно Х. Е. Хокс и Дж. С. Уэбб [1964] отмечают, что из многочисленных видов-индикаторов лишь немногие оказывают или когда-либо оказывали реальную помощь при поисках, поскольку большинство этих видов было зарегистрировано на почвах, окисленных и загрязненных металлами, в связи с разведкой и разработкой месторождений.

Тем не менее полученные за последние годы материалы по индикации оловянной минерализации с помощью биологических методов дают возможность систематизировать их и дать оценку поискового значения.

Биогеоценологический метод. Основу этого метода поисков составляют специфические растения-индикаторы и индикаторные сообщества растений, приуроченные к участкам оруденений и, следовательно, функционирующие на почвах и почвообразующих породах с высоким содержанием металлов. По индикаторным свойствам они подразделяются на универсальные и локальные индикаторы. Универсальные растения-индикаторы распространены только на участках, обогащенных теми или иными химическими элементами. Например, универсальным индикатором для месторождений меди является «медный цветок» (*Ocimum homblei* de Wild), найденный в 1949 г. Вудвордом в Северной Родезии [Хокс, Уэбб, 1964], а в нашей стране — качим Патрена (*Gyrsohila Patrinii*), установленный Н. Г. Несветайловой [1970] на медных месторождениях Рудного Алтая и Средней Азии. Локальные индикаторы — это некоторые виды растений, указывающие на повышенное содержание металлов в почвах и в породах в местных условиях. Например, «серпентинитовая флора» в Восточной Азии [Гинзбург, 1957] или бурачок степной (*Alyssum murale*) на медно-никель-кобальтовых месторождениях Тувы [Малюга, 1963].

Что касается универсальных растений-индикаторов олова, то к ним можно отнести седмичник европейский (*Trientalis europaeae*), выявленный в Рудных горах (Богемия) и вид *Sempervivum soboliferum*, установленный в Саксонии, которые, по данным Круша и Бейшлага [Поликарпочкин, Поликарпочкина, 1964; Несветайлова, 1970], приурочены только к породам, содержащим олово. А. П. Виноградов [1952] относил эти растения к типичным оловофитам. Универсальные индикаторные свойства названных растений применительно к олову подтверждаются, например, тем, что седмичник европейский мы установили на кварц-касситеритовом месторождении Малого Хингана (Дальний Восток). Это небольшое травянистое растение размером 15—20 см распространено куртинами непосредственно над оловянными телами, т. е. растет на почвах, обогащенных оловом.

К локальным растениям-индикаторам олова относятся различные виды сушениц — *Gnophalium suaveolens* Mass., *G. qualea* Ast. и др., произрастаю-

шие в Бразилии на отвалах рудников и почвах, обогащенных оловом [Виноградов, 1954; Busk, 1949, 1953; Cannon, 1971; Davy, 1972].

На Дальнем Востоке к локальным растениям-индикаторам можно отнести зеленые мхи, в частности политрихум обыкновенный (*Polytrichum commune* Hedw.) — кукушкин лен, который был обнаружен нами на всех обследованных рудопроявлениях олова, расположенных в ландшафтно-климатических зонах, благоприятных для его произрастания. К тому же это растение является концентратором олова и, следовательно, индикаторные и концентрирующие свойства политрихума обыкновенного применительно к оловянной минерализации совпадают. В то же время седмичник европейский не является концентратором олова, хотя обладает универсальными индикаторными свойствами применительно к этому металлу. Таким образом, отмеченная Н. Г. Несветайловой [1970] особенность, заключающаяся в том, что не всегда индикаторные растения являются концентраторами того или иного металла, подтверждается новым фактическим материалом.

Необходимо подчеркнуть, что выявление универсальных и локальных индикаторов олова наиболее благоприятно на Дальнем Востоке, территория которого входит в состав Тихоокеанского рудного пояса, содержащего оловорудные месторождения, рудопроявления и минерализованные зоны. Эволюция формирования фитоценозов на таких участках могла происходить в направлении возникновения специфических растений, нуждающихся в соответствующих концентрациях олова в почвах и нормально функционирующих только при его наличии. Наследственные перестройки у таких растений под влиянием повышенного содержания олова дают им возможность сохраниться только на специфических местообитаниях. На других участках эти растения исчезали и, таким образом, становились индикаторами олова только на оловорудных зонах. Как было показано нами [Ивашов, 1976в], растения-индикаторы олова могут быть в составе эндемичной флоры Дальнего Востока, возникшей и традиционно существовавшей на оловорудных полях и сохранившейся до настоящего времени.

Надо отметить, что биогеоэкологический метод предусматривает индикацию оруденения и по отрицательным показателям, т. е. по полному отсутствию растительности на оруденении. Например, по таким «прогалинам» и «плешинам» в США были обнаружены хромитовые, а в Родезии — медные месторождения [Cannon, 1960]. Применительно к оловорудной минерализации таких явлений не отмечено.

Морфолого-анатомический метод. Сутью этого метода индикации оловянного оруденения являются морфологические изменения во внешнем облике растений — окраска листьев, цветов, характер опушения, изменения размеров видов или их органов и другие различные тератологические отклонения. Мы провели специализированные исследования на дальневосточных оловорудных месторождениях и рудопроявлениях и выявили некоторые индикаторные признаки.

На оловорудном месторождении кварц-касситеритового типа в зоне хвойно-широколиственных лесов были зафиксированы особи иван-чая узколистного (*Chamaenerion angustifolium* Scop.) большего размера, которые отличались от обычной формы не только ростом, но и значительным количеством хорошо развитых пазушных побегов. Листья у этих «акселерированных» видов были матовые, тусклые и опушенные, а не глянцево-зеленые, как у нормальных растений. Кроме того, листовая пластинка их имела гораздо более

широкую эллиптическую форму по сравнению с этими же растениями вне участка оловянного оруденения.

На касситерит-скарновом рудопроявлении в зоне лесостепи было отмечено, что смолевка ползучая (*Silene герens* Patr.) имеет линейные мелкие листья длиной 3,5—4 см и шириной 0,3 см, характеризуется слабой облиственностью и незначительными размерами — высота растения не превышает 30 см. У большинства же экземпляров этого вида, отобранных вне зон минерализации и в других районах Дальнего Востока, листья названного растения ланцетные, т. е. длина листа превышает его ширину в 3—4 раза, и они гораздо крупнее — длина до 8, ширина — до 1,2 см.

В пределах оруденения касситерит-станнино-сульфидного месторождения в зоне смешанных кедрово-широколиственных лесов какалия ушастая (*Cocalia auriculata* DC.) характеризуется крупными листьями, ширина их (20—22 см) вдвое превышает длину. У этого растения отмечены бледно-сиреневые оттенки цветов, собранных в крупное узкометельчатое соцветие. За пределами месторождения у названного вида такая форма листовых пластинок с характерной вырезанностью и зубчатостью встречается так же редко, как и сиреневые оттенки цветов.

На участках оловянной минерализации в зоне лесостепи зафиксирована суховершинность ивы козьей (*Salix carpea* L.) и появление на листьях ржавых пятен, похожих на ожоги. Дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch.) имел длинные верхушечные побеги — до 25—40 см, не свойственные этому растению в обычных экологических условиях. В ряде случаев у древесных лиственных растений — дуба монгольского, липы амурской (*Tilia amurensis* Rupr.) и березы маньчжурской (*Betula mandshurica* Nakai) отмечены крупные листья — в 3—4 раза больше нормальных, а высота таких деревьев на 1,5—2 м больше, чем их высота вне оруденения.

На площади касситерит-пегматитового месторождения в зоне широколиственных лесов, где в рудах, кроме олова, содержится Li, Rb, Cs, Be, полынь Гмелина (*Artemisia Gmelinii* Web.) и чистотел большой (*Chelidonium majus* L.) отличаются значительным гигантизмом, а папоротник страусопер обыкновенный (*Matteuccia struthiopteris* L.), наоборот, характеризуется меньшими размерами, чем обычно, т. е. имеет угнетенный вид. Склонные к гигантизму виды полыни Гмелина представлены сильно ветвистыми кустами высотой до 2,5 м, а особи, растущие вне оруденения, имеют высоту не более 1 м и кустятся гораздо слабее. По-видимому, гигантизм полыни Гмелина и чистотела большого на этом участке обусловлен наличием не столько олова, сколько его спутников — Li, Rb, Cs, Be, а точнее — сочетанием повышенного содержания названных металлов в почвах и в почвообразующих породах.

Аналогичные отклонения в растениях над зонами оруденения установили Л. И. Грабовская и Е. Д. Астрахан [1963]. Примером может служить оловянно-бериллиевое месторождение Дальнего Востока в пределах рудного поля и в 150 м вокруг него они наблюдали суховершинность раkitника и появление на многих видах кустарников ржавых пятен.

Изменения в растениях на оловянно-рудном месторождении в Забайкалье выявили М. В. Кузина и Л. И. Грабовская [1958]. Так, полынь холодная и астра алтайская имели угнетенный вид по сравнению с их обычным видом за пределами оруденения. Как правило, на месторождении они низкорослые, с тонким стеблем, из-за слабости стебля некоторые экземпляры

даже не могли сохранять вертикальное положение и полегли, а многие были покрыты налетом плесени.

Таким образом, полученные первые предварительные сведения о тератологических изменениях в растениях на участках оловянной минерализации говорят о перспективности морфолого-анатомического метода индикации. Безусловно, этот метод заслуживает дальнейшей разработки. Надо только иметь в виду, что отмеченные изменения в растениях обусловлены присутствием в почвах не только олова, но и его спутников. По-видимому, комплексные геохимические ассоциации металлов и приводят к отмеченным отклонениям в облике растений и их органов.

Фенологический метод. В основе этого метода лежат изменения и как следствие — индикаторные признаки, возникающие в растениях в период их вегетационного цикла развития под влиянием повышенного содержания в почвах олова и его спутников. Фенологические наблюдения показывают, что на участках оруденений имеют место нарушения в обычной вегетации растений [Ивашов, 1984а, б].

Так, на дальневосточном касситерит-грейзеновом месторождении в зоне широколиственных лесов, где кроме касситерита в рудах содержатся другие минералы — топаз, флюорит, а также аксессуарные монацит, ксенотим, ортит, мы наблюдали раннее пожелтение листьев деревьев. Кроме того, на этом же месторождении отмечалось необычайно позднее (в середине сентября) цветение рододендрона амурского (*Rhododendron amurense* L.).

На другом дальневосточном оловянном рудопоявлении в зоне лесостепи у кустарника леспедецы двуцветной (*Lespedeza bicolor* Turcz.) в начальный период вегетации задерживалось распускание почек. Раннее пожелтение и осыпание листьев и угнетение в развитии растительности отмечали Л. И. Грабовская и Е. Д. Астрахан [1963] над зоной оловосодержащих кварц-циннвальдит-топазовых грейзенов в составе гранитного массива в Сибири. Фенологические отклонения в развитии растений установили Л. И. Грабовская и др. [1965] в Сибири на массивах гранитов с комплексной минерализацией, представленной Sn, Be, Li, Ta, Nb, F. Наиболее часто эти изменения проявляются в раннем пожелтении и осыпании листьев деревьев, в заболевании коры березы и осины, в угнетенном развитии корневой системы, вследствие чего деревья становятся неустойчивыми, легко выкорчевываются. Здесь же у ряда видов трав — прострела, польнеи усеченной и обыкновенной — наблюдалось изменение окраски листьев до темно-зеленой. Эти растения быстрее обычного заканчивают свой цикл развития, рано желтеют и увядают. Непосредственно на массиве мусковит-альбитовых апогранитов с Sn и Be значительно угнетены травы, они низкорослые, плохо облиственные, и в целом травостой разрежен. Во многих случаях отмечаются нарушения в цикле развития — растения поздно цветут, и их семена не успевают вызреть, в то время как за пределами оруденения эти же виды трав проходят полный нормальный цикл развития. По мнению Л. И. Грабовской и др. [1965], такие явления в фенологии растений обусловлены повышенными концентрациями в почвах отмеченных выше элементов, в том числе и олова, поскольку их содержания во много раз превышают кларковые величины. Замечено, что солнечная инсоляция, влияющая на фенологическое развитие растений, влияет и на поглощение металлов, т. е. большинство микроэлементов лучше концентрируются в наиболее освещенных солнцем частях растений [Грабовская, 1964].

Фенологическим признаком наличия оруденения является осенняя окраска деревьев, которая заметно отличается от таковой в начальный период вегетации, что установлено на рудных месторождениях США [Canpey et al., 1979].

Таким образом, фенологические наблюдения показывают, что наличие оловянного оруденения сказывается на цикле развития некоторых растений. Поэтому этот метод индикации заслуживает внимания и разработки.

Биофизический метод. Под этим методом в геологии понимают совокупность приемов, разработанных для использования так называемого биофизического эффекта при решении различных геологических задач, в том числе и поисков залежей руд [Сочеванов, Матвеев, 1974; Бакиров и др., 1976]. Хотя природа биофизического эффекта пока не изучена, тем не менее он имеет место. К настоящему времени имеется много примеров открытия руд на основе биофизических аномалий, и использование биофизического эффекта при поисках полезных ископаемых было известно давно, более тысячи лет назад [Максимов, 1970].

В нашей стране за последние 15—20 лет при поисках полиметаллических, золоторудных медно-молибденовых, свинцовых месторождений биофизический метод использовался в ряде районов Мурманской области, Карелии, Украины, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана, Киргизии, Урала, Забайкалья, Красноярского края и Якутии, т. е. в таких условиях, когда мощность перекрывающих рыхлых отложений меняется от единиц до первой сотни метров, а рельеф — от резко пересеченного (Чаткальский хребет) до пенеплена (Казахстан) и заболоченных площадей (Карелия). И в большинстве случаев биофизические аномалии давали возможность фиксировать на глубине слепые рудные тела, разрывные нарушения, зоны тектонических контактов и т. д., причем на площадях, перекрытых мощным чехлом рыхлых отложений, где проведение литогеохимической съемки по вторичным и тем более по первичным ореолам рассеяния невозможно без бурения. Важно, что выявленные биофизические аномалии однозначно совпадают с контурами геохимических аномалий, установленных после биофизической съемки, или подтверждаются магниторазведкой и электроразведкой. Например, в Таджикистане выявленные биофизические аномалии были проверены четырьмя скважинами, которые вскрыли слепые рудные тела полиметаллических руд, залегающих на глубине от 30 до 350 м [Сочеванов, Матвеев, 1974].

Биофизический эффект использовался (правда, стихийно) и при поисках оловорудных месторождений, в частности в Корнуэллском рудном районе Англии [Хоскинг, 1973]. Отмечается, что еще в далеком прошлом скрытые рудные тела обнаруживались с помощью ивовой палочки, а также иногда по наличию «света жилы» (блуждающего огонька?).

Надо отметить, что отсутствие знаний о сущности биофизического эффекта порождает недоверие к методу и критику за его «антинаучность». Однако интерес к биофизическому методу велик. В последнее время биофизический метод для поисков руд применяют опытные операторы — геологи и геофизики, поэтому выявляемые ими биофизические аномалии интерпретируются эффективнее вследствие сопоставления с другими геолого-геохимическими и геофизическими данными по участку поисков.

Геомикробиологический метод. Этот метод предусматривает поиски оруденения на основе способности некоторых микроорганизмов быть инди-

каторами на содержание определенных металлов в грунтах и в водах. Впервые метод применила в нашей стране Г. П. Славнина [1957], которая определила особенности влияния характерных для рудных месторождений металлов на развитие микроорганизмов в образовании бактериальных ореолов рассеяния. Так, оказалось, что Mo, W, Zn, Mn стимулируют развитие гептаноокисляющих бактерий, а Mo помимо этого оказывает положительное воздействие на развитие азотобактера. Проведенные Г. П. Славниной опытные исследования по установлению бактериальных ореолов рассеяния на рудных месторождениях Казахстана, Забайкалья, Закавказья и Урала показали значительные перспективы применения метода. Например, еще тогда было установлено, что обильное развитие гептаноокисляющих бактерий и азотобактера в грунтах на участках опытно-поисковых работ соответствует эпицентрам рудных залежей Mo и Zn.

В последующие годы геомикробиологический метод получил большое развитие на основе обнаружения в водах тионовых бактерий, относящихся к роду *Thiobacillus*. Эти микроорганизмы принимают участие в окислении сульфидных руд, и в настоящее время имеется много данных как отечественных, так и зарубежных исследователей о выщелачивании тионовыми бактериями Cu, Pb, Zn, Sb, As, Mo и других металлов [Таусон, 1947; Ляликова, 1961, 1970; Кузнецов и др., 1962; Каравайко и др., 1972; Летунова, Ковальский, 1978; Яхонтова, Нестерович, 1982; Экология ..., 1976; Bryner, Anderson, 1957; Duncan, Drummond, 1973; Trudinger, 1976; Nandi, Sant, 1980; Sant, 1981; Madgwick et al., 1981].

Факт непосредственного участия тионовых бактерий в выщелачивании металлов, доказанный экспериментально, а также детальные микробиологические исследования различных по характеру водообмена природных систем (вода—порода—живое вещество) позволили установить некоторые закономерности в распределении и активности микроорганизмов в зависимости от оруденения и дали основание рассматривать микробиологический метод как важное научное направление в поисковой геохимии [Белякова и др., 1962, 1964; Крамаренко, 1974, 1983; Крамаренко и др., 1959].

Л. Е. Крамаренко [1983] установила, что зависимость между активностью тионовых бактерий и металлоносностью вод имеет место в разных по минеральному составу сульфидных месторождениях. Причем на редкометалльных месторождениях такую зависимость наиболее четко отражают *Thiobacillus thiooxidans*, *T. denitrificans*, на медноколчеданных — *T. ferrooxidans*, *T. thiooxidans*. Разным генетическим типам сульфидных руд свойственны определенные биоценозы микроорганизмов. В водах, дренирующих рудные тела, возникают биоаномалии за счет активной деятельности специализированных тионовых бактерий.

Аналогичные процессы биовыщелачивания металлов и формирование активных тионовых микробиоценозов происходит и на оловорудной минерализации, особенно сульфидно-касситеритового типа. Так, на оловорудных месторождениях Комсомольского района (Мяо-Чанский рудный узел) Дальнего Востока бактерии *Thiobacillus denitrificans*, *T. thiooxidans*, *T. ferrooxidans* обнаружены в водах штолен и ручьев, содержащих в сухих остатках до 0,0007—0,001% олова [Кирюхин и др., 1966 г.]. За пределами рудных сульфидно-касситеритовых зон, т. е. в ореольных водах, активность микробиоценозов становится значительно меньше.

Тионовые микробиоценозы также отмечены на одном из рудных место-

рождений Кольвань-Томской зоны Восточного Саяна, в грунтовых водах которого содержание Sn до 0,04 до 10,0 мкг/л [Удодов и др., 1980].

Важно отметить, что недавно экспериментально доказано микробиологическое выщелачивание непосредственно минералов олова тионовыми бактериями, в частности культурой *T. ferrooxidans* [Teh et al., 1982]. В экспериментах использовались оловянные руды и смеси искусственных минералов олова — кёсетерита, герценбергита, станнина, касситерита, станноидита и варламовита. Оказалось, что тионовые бактерии выщелачивают максимальное количество Sn — 97,13% из синтетического станноидита, а для природного станнина эта величина составляет 31,30%. Опыты с использованием тионовых бактерий в присутствии серной кислоты приводят к образованию соединения $Fe_2(SO_4)_3$ — сильного окислителя для сульфидов. Интересно, что в продуктах выщелачивания сульфидных руд растворами с присутствием тионовых бактерий обнаружен варламовит, и это указывает на участие тионовых бактерий в образовании этого минерала в природных условиях зоны гипергенеза [Teh et al., 1982].

В последнее время установлено, что микроорганизмы принимают участие не только в выщелачивании олова, но и в образовании комплексных соединений этого металла [Hallas et al., 1982]. Так, газохроматографическим анализом в сочетании с масс-спектрометрией в воде эстуария, содержащей микроорганизмы, обнаружены оловоорганические соединения: $(CH_3)_4Sn$; $(CH_3)_2SnCl_2$ и др. Были проведены специальные эксперименты на пробах разных объемов воды эстуария с добавлением известного количества $SnCl_4 \cdot 5H_2O$ и инкубации при $25 \pm 2^\circ C$ в течение 14 дней, которые подтвердили образование оловоорганических соединений. В контрольном опыте при отсутствии бактерий органические соединения олова не были обнаружены. Кроме того, были идентифицированы другие органические соединения олова — CH_3SnH_3 ; $(CH_3)_3SnH$; $(CH_3)_2SnH_2$. В результате доказано, что оловоорганические соединения — это продукты биологической активности микрофлоры осадков эстуария.

Таким образом, микробиоценозы как индикаторы оловянного оруденения формируются не только за счет присутствия в рудах сульфидных минералов Cu, Zn, Pb и др., но и непосредственно сульфидных минералов Sn, в частности станнина. Следовательно, образование под действием бактерий в водах оловоорганических соединений также может быть дополнительным индикатором оруденения. Поэтому геомикробиологический метод поисков руд олова имеет большие перспективы и заслуживает разработки применительно к оловянной минерализации.

В арсенале этого метода могут быть различные поисковые критерии, а именно: 1) наличие определенных микроорганизмов-индикаторов высокого содержания олова в грунтах и в воде; 2) состав микробных сообществ; 3) накопление олова и его спутников-индикаторов микробной биомассой; 4) возможные адаптивные реакции микроорганизмов на олово и его спутники; 5) оловоорганические соединения в водах, образующиеся под влиянием микробиоценозов.

Важное значение в развитии принципов и методов рудной геомикробиологии в целом как одной из главных отраслей биогеохимии подчеркивает Л. В. Таусон [1983б].

Из большого числа описанных методов биогеохимической и биологической индикации оловорудной минерализации в настоящее время наиболее широко

используются фитогеохимический, торфгеохимический, бриогеохимический метод лесной подстилки. Большой интерес представляют криобиогеохимический метод для условий многолетней мерзлоты и опадгеохимический — для зон хвойных и хвойно-широколиственных лесов. Другие методы биогеохимической индикации и особенно биологические методы пока могут рассматриваться как вспомогательные.

Следует особо подчеркнуть, что разработанные методы биогеохимической и биологической индикации оловорудной минерализации могут найти самое широкое применение в оценке состояния и прогноза изменения окружающей среды под влиянием техногенных потоков оловосодержащего минерального вещества. Эти методы практически без ограничений могут использоваться для обнаружения техногенных аномалий олова и его спутников, образующихся в окружающей среде под влиянием поисково-разведочных работ и последующей разработки оловорудных месторождений, особенно в местах функционирования ГОК, непосредственно обогатительных фабрик, оловоплавильных заводов, на участках складирования забалансовых оловянных руд, хвостов производства и т. д.

Выявление биогеохимических аномалий олова, связанных, с одной стороны, с первичными залежами руд, а с другой, — со вторичным накоплением его в окружающей среде в результате техногенных процессов принципиально не имеет методического различия. Поэтому ряд растений, например мхи, лишайники, полыни и другие, можно с успехом использовать как тест-объекты для оценки состояния и загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, т. е. для биологического мониторинга, особенно при добыче оловянно-полиметаллических руд, содержащих примеси токсичных элементов — As, Hg, Sb, Pb, Cd и т. д.

По существу, описанные выше методы биоиндикации естественных и техногенных биогеохимических аномалий в оловодобывающих районах могут составить методическую основу геохимической экологии — нового научного направления в биогеохимии.

ГЛАВА 6

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ОЛОВА БИООБЪЕКТАМИ

Детальные и специализированные биогеохимические исследования, проведенные на зонах оловянного оруденения разного генетического типа Дальнего Востока, а также привлечение материалов по содержанию олова в растениях в других районах нашей страны и в зарубежных регионах дают возможность выявить основные закономерности биогеохимии олова вообще и формирования биогенных ореолов рассеяния этого металла в частности.

Общая биогеохимия олова складывается из трех факторов: 1) процесс (механизм) поглощения металла биообъектами; 2) накопление (фиксация) олова в биообъектах; 3) вынос металла из растения (биообъекта) в процессе метаболизма. По существу, стационарное состояние, т. е. содержание олова

в растении, определяемое в тот или иной период его вегетации, — это результат функционирования системы: поглощение—накопление—вынос. Данная система функционирует индивидуально, применительно к каждому виду растения, и зависит от многих критериев — таксономического положения растения в классификационной экологической нише, корневых систем растений, барьера накопления, биогенности или токсичности металла и т. д. Эти критерии через обратные связи влияют на процессы поглощения и накопления олова растениями и таким образом регулируют уровень содержания металла индивидуально в каждом виде и в фитоценозе в целом. По-видимому, механизмы регуляции поглощения олова как в растениях, так и в их отдельных органах строго специализированы, и этим объясняется различное содержание металла в разных растениях. Поэтому не случайно при одинаковых экологических условиях в одних растениях олово концентрируется, а в других его содержание отмечается на уровне кларка.

Вероятно, аналогичная картина имеет место и в других живых организмах — в микробоценозах, в почвенной мезофауне, в членистоногих, в птицах, в млекопитающих и т. д.

РАСТЕНИЯ — ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ БИОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ ОЛОВА В ЭКОСИСТЕМАХ БИОСФЕРЫ

Рассмотренные методы биогеохимической индикации оловянного оруденения, основанные на определении содержания олова в золе из органического вещества различных объектов, дают возможность сделать заключение, что растения и фитоценозы в целом являются первоосновой формирования биогеохимических ореолов рассеяния. В самом деле, объектами опробования являются или сами растения — высшие сосудистые и низшие — мхи, лишайники, ягель, плауновые при фитогеохимическом, торфогеохимическом, бриогеохимическом, палиногеохимическом и сокогеохимическом методах, или продукты их метаболизма, опад, лесная подстилка, гумус, уголь, растительный детрит в осадках, гумусовое вещество в наледном льде, оловоорганические соединения в почвенных растворах и в водах. Даже зоогеохимический метод тоже в какой-то степени связан с фитоценозами, поскольку большинство живых организмов — мезофауна в почвах, членистоногие, птицы и млекопитающие питаются растениями. В результате олово по биологическим цепям попадает в живые организмы и, таким образом, создаются зоогеохимические ореолы рассеяния этого металла. Поэтому в основном растения определяют концентрацию и рассеяние олова в биосфере, и от фитоценозов зависит последующее формирование биогеохимических ореолов рассеяния его на суше (континентах), и в частности на оловорудных полях.

В морях и в океанах олово попадает в живые организмы, например в медузы, в основном из морской воды, где оно содержится главным образом в виде простых и комплексных ионов в количестве $3 \cdot 10^{-7}\%$ или 0,003 мг/л [Виноградов, 1967].

Сопоставление материалов по содержанию олова в растениях на зонах минерализаций и за их пределами показывает, что концентрирующая способность видов зависит не только от их физиологических особенностей,

но и от форм содержания металла в почвах и почвообразующих породах, а также от интенсивности оруденения [Ивашов, 1985б,в].

Установлено, что поглощение и накопление олова в растениях предопределено следующими минеральными формами нахождения металла на рудных зонах и рудовещающих породах: 1) кристаллический первичный касситерит; 2) станнин; 3) аксессуарный касситерит в гранитах; 4) изоморфное аксессуарное олово в слюдах и в других пороодообразующих минералах; 5) изоморфная примесь олова в минералах полиметаллических руд — пирите, халькопирите и др.; 6) самородное олово в базальтах. Наиболее четкие ореолы рассеяния и биоаномалии олова отмечаются на кварц-касситеритовом генетическом типе месторождения, в котором олово в рудах находится в составе тонкодисперсного и мелкокристаллического касситерита.

Высококонтрастные аномалии формируются на оруденении, где касситерит представлен «деревянистым оловом» — метаколлоидными агрегатами радиально-лучистого и почковидного строения, в отличие от генетических типов оруденения с крупнокристаллическим касситеритом. Совершенно очевидно, что при выветривании и почвообразовании мелкокристаллические и метаколлоидные разновидности касситерита дают многочисленные мелкие агрегаты с большой суммарной удельной поверхностью, что способствует большему растворению минерала в одном и том же объемном весе продуктов гипергенеза, чем при выветривании крупнокристаллического касситерита. Поэтому в почвенных растворах и в грунтовых водах на участках оловянного оруденения с мелкокристаллическим и метаколлоидным касситеритом содержится больше ионов олова, чем в аналогичных экологических условиях на оруденениях с крупнокристаллическим касситеритом. И как следствие этого — более высокое содержание олова в растениях и четкие контрастные аномалии на оловорудных минерализациях с мелкокристаллическим и тонкодисперсным касситеритом [Ивашов, 1975д, 1979б].

На участке оруденений, где кроме касситерита присутствует станнин, также образуются хорошие ореолы рассеяния олова в растениях, что связано со значительным разложением этого сульфидного минерала по сравнению с касситеритом под действием почвенных растворов и тионовых бактерий и, следовательно, большим высвобождением ионов олова, доступных для поглощения растениями.

Ослабленные ореолы рассеяния олова в растениях образуются на оруденениях сульфидных полиметаллических руд, где олово в качестве изоморфной примеси содержится в пирите, халькопирите, сфалерите и др. В таких случаях олово является хорошим индикатором полиметаллической минерализации.

Весьма интересны ореолы рассеяния олова на массивах магматических пород, в частности гранитах и базальтах при отсутствии рудной минерализации. Если на гранитных массивах, где содержится лишь аксессуарный касситерит, наличие олова в растениях не превышает кларка (0,0005%), то на базальтовых массивах концентрация олова в растениях достигает 0,08%, т. е. в 160 раз больше кларка. Такие высокие содержания обусловлены присутствием в базальтоидах тонкодисперсного самородного олова, высвобождающегося при выветривании базальтов и легко захватывающегося корневыми системами растений при катионном обмене. По-видимому, эта форма нахождения олова в почвообразующих породах наиболее доступна для растений.

По существу, на объектах с оловянной минерализацией, исходя из генетического типа оруденения и минерального состава рудовмещающих пород, имеются те или иные формы нахождения олова, каждая из которых вносит свой пай в общее количество ионов этого металла, доступных для растений. Поэтому в растениях накапливается суммарное олово, высвобождающееся, например, из касситерита, станнина, других рудных и породообразующих минералов, имеющих на том или ином конкретном объекте оловянной минерализации. Преобладающая, т. е. легко высвобождающаяся форма нахождения олова в руде, будет предопределять количество ионов олова в почвенных растворах и в грунтовых водах и, следовательно, биогеохимические ореолы рассеяния будут в основном обусловлены этой формой нахождения металла. Поскольку, кроме преобладающей, в поглощении растениями участвуют и другие формы нахождения олова, то в целом биогеохимические ореолы рассеяния этого металла имеют аддитивный характер.

Установленное содержание олова в растениях на дальневосточных оловорудных объектах с учетом данных по другим регионам дает возможность выявить нормированные количества металла в ряду кларк—фон—аномалии. Содержания олова в золе растений в пределах 0,0001—0,0005% рассматриваются как кларковые, а 0,0006—0,001 — как фоновые концентрации. Олово в растениях в количестве 0,002% и выше уже лежит в области аномальных концентраций, а именно (%): 0,002—0,005 — минимально-аномальные, 0,006—0,01 — средне-аномальные, 0,02—0,5 — максимально-аномальные; 0,6—1,0 — супераномальные. Верхний предел минимально-аномального содержания — 0,005% соответствует, как отмечалось выше, среднему содержанию в растениях, установленному нами на дальневосточных оловорудных полях (региональный «кларк»). Среднеаномальные и максимально-аномальные величины характеризуют четкие и контрастные биогеохимические аномалии олова, соответствующие оловорудным телам.

Что касается супераномальных концентраций олова в растениях — 0,6—1,0, то они встречаются исключительно редко, в единичных пробах отдельных растений, например, в папоротнике орляке обыкновенном до 1,0% на оловорудном месторождении Дальнего Востока (Л. И. Грабовская, Е. Д. Астрахан, 1960 г.) и в водных мхах до 0,7% на месторождении Якутии (Г. П. Лапаев, 1978 г.).

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ОЛОВА В РАСТЕНИЯХ В РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Имеющиеся данные по содержанию олова в растениях как в СССР, так и за рубежом показывают, что этот металл обнаружен практически во всех ландшафтных зонах земной поверхности (тундры, лесотундры, тайги, лесостепи, степи, полупустынь, пустынь, субтропиков и тропиков). Причем независимо от природных условий — ландшафтных зон, повышенное содержание олова в растениях характерно для участков с рудной минерализацией, а на уровне кларка — за пределами оруденений. Эта выявленная закономерность, свидетельствующая о широком экологическом диапазоне металла, имеет принципиальное значение, так как на новом обширном фактическом материале подтверждает ранее высказанное мнение о том,

что олово не дает биогеохимических аномалий при отсутствии оловянного оруденения. Исключение составляют лишь растения на базальтовых массивах, повышенное содержание олова в которых обусловлено не оруденением, а специфической формой нахождения этого металла в коренных базальтах — самородным оловом.

Другой закономерностью является то, что олово присутствует в разнообразных растениях, т. е. охватывает широкий диапазон таксонов. Как следует из табл. 38 и 42, на территории СССР и за рубежом олово обнаружено в растениях, относящихся в общей сложности к 55 семействам, 125 родам и 161 виду. Наибольшее число таксонов установлено нами в Дальневосточном регионе — 45 семейств, 97 родов и 131 вид. Это не случайно и обусловлено, во-первых, разнообразием дальневосточной флоры, а во-вторых, большим числом опробованных видов растений при проведении биогеохимических исследований на многих оловорудных месторождениях, находящихся в разных природных зонах Дальнего Востока.

Семейства, в которых наиболее полно представлены виды растений, содержащие олово: ивовые, сосновые, березовые — по 6 видов, осоковые и лилейные — по 7, бобовые — 8, сложноцветковые — 9, розоцветные — 12.

Повышенными содержаниями олова в гумидной зоне характеризуются следующие семейства, %: сосновые — 0,03—0,1, ивовые — 0,005—0,03, камнеломковые — 0,004—0,01 (чубушник тонколистный), вересковые — 0,002—0,05 (брусника), ослинниковые — 0,02 (иван-чай узколистный), валериановые — 0,01 (валериана заенисейская), многоножковые — 1,0 (орляк обыкновенный), барбарисовые — 0,05 (джефферсония сомнительная), плауновые — 0,02. Наиболее высокие содержания олова в растениях установлены в семействах, %: розоцветные — 0,01—0,06 (рябинолистник, спирея, малина, кровохлебка), сложноцветные — 0,03—0,1 (полыни), моховые — 0,03—0,1, осоковые — 0,3.

В аридной зоне олово характерно для растений семейства маревых, где наиболее типичные виды: солянка, саксаул, терескен, ежовник, биоргун, боялыч и др., а также семейства рдестовых, эфедровых, гребенщиковых (тамарикс), вербеновых (прутняк), злаковых (ковыль, типчак) и т. д., в большинстве видов которых олово обнаруживается в количестве 0,003—0,005, а в рдестовых — до 0,03—0,08%.

По степени увеличения поглощения олова растения составляют ряд: кустарники—деревья—травы—мхи. Эта закономерность, установленная в растениях Дальневосточного региона, имеет место и в других районах как на территории СССР, так и за рубежом.

Концентрации олова в органах и в частях растений также подчинены определенным закономерностям. Ряд увеличения содержания олова в органах кустарников: листья—ветви—ствол—корни, деревьев: листья (хвоя)—ветви—древесина—кора. Следовательно, высокоинформативными на олово при биогеохимическом опробовании являются мхи и травы, корни и ветви кустарников, листья, хвоя, древесина и кора деревьев.

Что касается конкретных видов растений и их частей, то хорошей информативностью обладают хвоя сля аянской, пихты белокорой, кедра корейского и сибирского, лиственницы даурской, листья клена желтого, ивы сухолюбивой и других, накапливающих олово от 0,03 до 0,1%. Травянистые растения — различные виды полыней, осок, папоротников, а также мхи —

имеют наибольшую информативность, концентрируя металл до 0,01—0,3% и выше.

Весьма характерно, что повышенные содержания олова обнаружены в корнях кустарников (%): чубушника тонколистного (0,01), рябинолистника рябинолистного (0,06), малины сахалинской (0,06); леспедецы двуцветной (0,003) и др. Тенденция накопления олова в корнях имеет место и у трав, что было отмечено в свое время Н. П. Новиковым [1973] в растениях Московской области.

Накопление олова в корнях растений установили Т. А. Парибок и Г. Н. Кузнецова [1963], В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина [1964], С. М. Ткалич [1970], Л. И. Грабовская [1965], А. А. Беус и др. [1976], Е. Е. Белякова и др. [1972], М. Д. Скарлыгина-Уфимцева и др. [1976] и др.

Важно, что в корнях, кроме олова, отмечаются в повышенных количествах и его спутники — Zn, Pb, Cu, Mo, Mn, [Поликарпочкин и др., 1965], а также Be [Ковалевский, 1978], что, по-видимому, свидетельствует об общности физиологических процессов поглощения этих металлов растениями или других аналогичных явлений в ходе минерального питания. В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина [1964] объясняют особенность концентрации многих тяжелых металлов в этих органах растений тем, что корни представляют собой начальный участок пути передвижения элементов минерального питания по растению, и в корнях в первую очередь создается насыщение ионами-металлами протоплазмы клетки каждого отдельно взятого корневого волоска. Корни можно считать своеобразным резервуаром поглощенных ионов, которые затем в процессе транспирации перераспределяются в другие части растения [Ратнер, 1958; Колосов, 1962; Ильин, 1985].

По мнению Т. А. Парибок и Г. Н. Кузнецовой [1963], накопление тяжелых металлов, в том числе и олова, в корнях растений обусловлено тем, что последние вступают во взаимодействие с белками и другими компонентами клеток корня и образуют труднорастворимые и малоподвижные соединения. Поглощение этих металлов не носит активного характера, и они прочно сорбируются поверхностными клетками корня, поэтому в дальнейшем слабо продвигаются в другие органы растения в процессе минерального питания.

КОРНЕВЫЕ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В МОБИЛИЗАЦИИ ОЛОВА

Поглощение и накопление олова растениями в одних и тех же экологических условиях в какой-то степени предопределено корневыми системами. Кроме того, от корневых систем зависит глубинность биохимического метода и объем пространства в корнеобитаемом слое, задействованного в процессе минерального питания растения. В первом случае это связано со способностью корней растений проникать на глубину, а во втором — с горизонтальным распространением корней. Из растений, накапливающих олово, наиболее глубокие, мощные и расходящиеся в стороны корневые системы имеют деревья и кустарники. Так, по данным В. Н. Сукачева [1972], мощная корневая система с сильно развитым стержневым корнем характерна для кедра, сосны, лиственницы, тополя, березы, дуба, ильма,

бархата амурского, ореха маньчжурского и др. Однако корневые системы растений обладают способностью формировать свой тип в зависимости от экологических условий. Так, если на сухих песчаных грунтах сосна образует хорошо развитую корневую систему с мощным стержневым корнем, то на заболоченных участках корни располагаются горизонтально, и стержневой корень не выражен. Аналогичная картина имеет место и у лиственницы, корневая система которой в зоне многолетней мерзлоты расправляется горизонтально, в то время как в обычных экологических условиях для этого растения характерна сильно развитая корневая система со стержневым корнем, уходящим на глубину, и с длинными боковыми корнями [Ярмишко, Демьянов, 1983].

Глубина проникновения корней древесных растений — сосны, кедра, ели, березы, осины, клена достигает 3—4 м. У других растений она значительно больше — у дуба и тополя до 6—11 м, и особенно у пустынных растений: у тамариска — 8 м, у саксаула — до 12, верблюжьей колючки — до 15 м. Поэтому при биогеохимическом опробовании этих растений глубинность биогеохимического метода значительно повышается и может достигать 15—20 м [Поликарпочкин, Поликарпочкина, 1964] и больше — до 15—30 м [Виноградов, 1954].

По данным А. Л. Ковалевского [1978а], корни люцерны достигают 18 м, песчаной полыни — 25, саксаула и верблюжьей колючки — 40, акации и криптомерии японской — до 70 м.

Хотя И. И. Гинзбург [1957] и ставил под сомнение возможность обнаружения биогеохимическим методом руды на глубине 30—50 м и больше за счет корневой системы, тем не менее имеющиеся данные подтверждают указанные глубины, особенно с учетом капиллярного подъема воды до корней. Так, Х. Л. Кэннон и Ф. Дж. Клейнхемпл [1956] установили, что на полупустынях плато Колорадо кустарники и деревья (можжевельник и сосна) имеют корневую систему от 15 до 25 м, корни их достигают через капиллярную кайму минерализованных грунтовых вод. На основе анализа золы указанных растений были выявлены перекрытые песчаниками залежи урана на глубине свыше 25 м.

По данным А. Л. Ковалевского [1978б], глубинность биогеохимических поисков в лесных немерзлотных ландшафтах достигает 10—30 м, а в ландшафтах сухих степей и пустынь — 20—60 м и более. Она складывается из максимальной глубины проникновения корневых волосков, величины капиллярного подъема воды водоносного горизонта (от 3—6 м в суглинках и до 6—12 м в глинах) и мощности водоносного горизонта.

С учетом капиллярного подъема металлосодержащих грунтовых вод и значительной глубины проникновения корней деревьев и кустарников, таких, как ель, пихта, кедр, лиственница, береза, клен, ива, рябинолистник, биогеохимический метод поисков оловорудных месторождений на Дальнем Востоке найдет большое применение в краевых частях мезозойско-кайнозойских впадин, где мощность аллохтонных рыхлых песчано-суглинистых отложений, перекрывающих рудные тела, не превышает 25—30 м.

Как было отмечено выше, наибольшие содержания олова установлены в низших растениях Дальнего Востока — мхах и лишайниках, например в политрихуме, сфагнуме, кладонии, ягеле, а также в некоторых видах осок, папоротников, полыней и других трав. По нашему мнению, это обусловлено физиологическими функциями названных растений и, прежде всего, связано

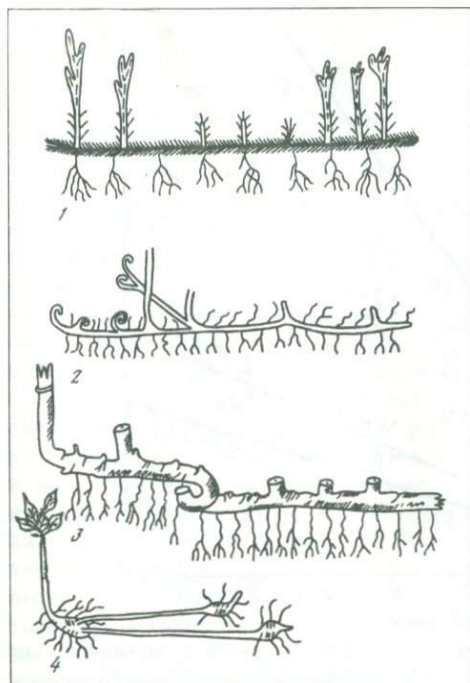


Рис. 53

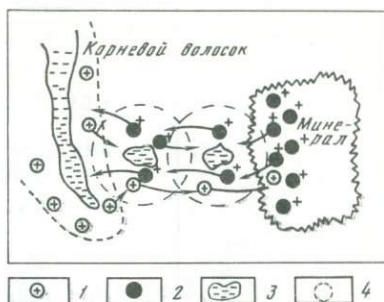


Рис. 54

Рис. 53. Корневые системы растений-биоиндикаторов олова. Зарисовки А. А. Бабурина

1 — осока бледная (*Carex pallida* С.А.М); 2 — кочедыжник иглочатый (*Athyrium spinulosum* Mide); 3 — хлорант японский (*Chloranthus japonicus* Sieb.); 4 — седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.)

Рис. 54. Схема взаимодействия корневого волоска и первичного минерала через почвенный коллоид путем катионного обмена (по В. Келлеру и А. Фредериксону [Keller, Frederickson, 1952])

1 — H^+ -ионы; 2 — ионы металлов (катионов); 3 — глинистый минерал; 4 — сфера взаимодействия ионов

с особенностями их корневых систем. Так, на рис. 53 изображены корневые системы растений — локальных концентраторов олова и универсального индикатора оловянного оруденения, которые мы изучали совместно с А. А. Бабурным [1971] на участках оловянных месторождений. Оказалось, что общей особенностью корневых систем этих растений является преимущественно горизонтальное простираение основного центрального корня с многочисленными корневыми волосками, что дает возможность таким растениям вовлекать в сферу своего функционирования большие пространства в почвенном слое, несмотря на незначительную глубину их проникновения. Например, осока бледная имеет шнуровидные корневища длиной до 1,3 м, на каждом из которых находится до пяти живых, трех усохших и до шести остатков стеблей, расположенных в гумусовом горизонте почв. Корневые волоски короткие — до 7 см и равномерно размещены по всему корневищу.

Аналогичное строение имеют и корневые системы папоротника-кочедыжника и хлоранта японского, корневые волоски которых проникают на глубину 15—20 см почвенного слоя.

Весьма интересна корневая система у известного биоиндикатора оловянной минерализации, впервые установленного в Богемии, седмичника евро-

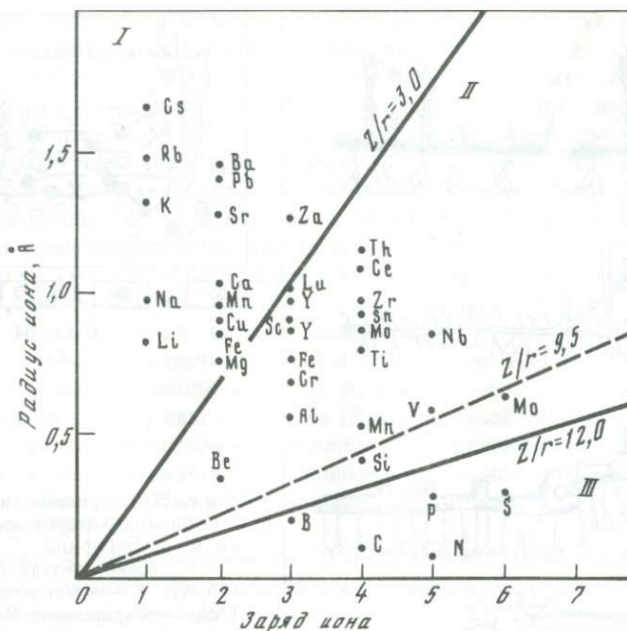


Рис. 55. Геохимическая специализация олова и его спутников в зависимости от ионного потенциала на диаграмме В. М. Гольдшмидта [Goldschmidt, 1954]

I — растворимые катионы, II — элементы—гидролизаты, III — комплексные растворимые ионы

пейского [Гинзбург, 1957]. Для этого растения характерно клубневидное корневище, лежащее в гумусовом горизонте на глубине 4—5 см. От корневища вверх отходят надземные стебли, а радиально в горизонтальной плоскости — 2—3 тонких корневых побега, так называемые столоны, длиной до 20—30 см, служащие для вегетативного размножения. К концу вегетационного периода на окончаниях столонов образуются новые клубеньки, от которых весной вырастают надземные стебли. От клубеньков отходят многочисленные тонкие корневые волоски длиной до 5 мм, выполняющие основную функцию минерального питания этого растения.

Травянистые растения, функционирующие под древесно-кустарниковым пологом и имеющие горизонтальную неглубокую корневую систему, поглощают олово в основном из гумусового горизонта почв и являются как бы вторичными индикаторами оловянной минерализации по сравнению с деревьями, которые первыми, благодаря своей глубокой корневой системе, поставляют олово с опадом в гумусовый и нижележащие почвенные горизонты. Поэтому чем больше у тех или иных травянистых растений корневых волосков, отходящих от основного горизонтального корня, тем лучше растения должны поглощать и концентрировать олово. Это важно потому, что каждый корневой волосок представляет собой своего рода биогеохимическую подсистему как часть общей системы почва—растения с точки зрения минерального питания.

На рис. 54 изображена модель взаимодействия корневой волоска и первичного минерала, в данном случае касситерита, через почвенный коллоид.

По этой модели процесс поглощения растением металла, а именно олова, идет в результате катионо-обменных реакций между корневыми волосками, выделяющими ионы водорода, и органо-минеральными коллоидами почв и глинистыми минералами, на поверхности которых «сидят» ионы олова. Следовательно, чем больше корневых волосков, тем лучше выражен процесс поглощения металла растением. Согласно этой гипотезе, касситерит должен сначала претерпеть внутрипочвенное выветривание, из его микрообломков должны высвободиться ионы олова и перейти в почвенный поглощающий комплекс, а затем в почвенный раствор, откуда через корневые волоски поступить в растение. В данном случае почвенно-поглощающий комплекс играет роль посредника между корневым волоском и касситеритом как первичным минералом. В том случае, когда корневой волосок поглощает олово из грунтовых вод, модель упрощается: коллоидный почвенно-поглощающий комплекс — как посредник в катионном обмене не участвует.

Надо отметить, что особенности миграции олова в зоне гипергенеза сказываются на его поглощении растениями. Как известно, важнейшими константами химических элементов в геохимии являются ионные радиусы и валентности, от которых зависит поведение ионов в водных растворах, а точнее, интегрального показателя — ионного потенциала — отношения валентности к ионному радиусу. Как видно из диаграммы (рис. 55), геохимическая специализация олова и его спутников обусловлена ионным потенциалом. Поэтому не случайно олово на диаграмме соседствует с четырехвалентными трудно мигрирующими и малодоступными для растений элементами — Ti, Zr, Th, Ce и др., поскольку в природе они находятся в составе исключительно устойчивых к гипергенным процессам минералов — касситерита, рутила, циркона, торийнита, монацита. Следовательно, биогеохимическое поглощение этих металлов тесно связано с особенностями химического выветривания содержащих их минералов. В нашем конкретном случае относительно невысокое содержание олова в растениях обусловлено исключительной устойчивостью касситерита к химическому выветриванию.

К ВОПРОСУ О БАРЬЕРАХ В НАКОПЛЕНИЯХ ОЛОВА РАСТЕНИЯМИ

В последние годы А. Л. Ковалевский [1971, 1978а, 1984] ввел в поисковую биогеохимию представление о барьерах поглощения химических элементов растениями и, как следствие, — о безбарьерных и барьерных биопоисках руд. Это представление было основано на физиологическом факторе растений, который в некоторых случаях полностью или частично подавляет поглощение металлов и препятствует формированию биоорелов рассеяния вследствие наличия у растений антиконцентрационных физиолого-биохимических барьеров против избыточных концентраций металлов в питающей среде — в почвах или в грунтовых водах. В других случаях такие барьеры отсутствуют, и растения в целом или их органы и части беспрепятственно накапливают рудные химические элементы в больших количествах, превышающих кларк в сотни и даже тысячи раз.

Особенно четко безбарьерность в накоплении металлов некоторыми частями растений показана А. Л. Ковалевским [1978б] на примере бериллия; в частности, были выявлены не только органы растений, но их локальные части (например, наружная часть коры деревьев), накапливаю-

**Группировка биологических объектов Дальнего Востока
по поисковой информативности на олово**

Группа биообъектов	Биологические объекты		
	Содержание Sn в золе, %	Номер	Количество
I. Сверхинформативная, безбарьерная	C_{\max} 0,1—1,0, превышает $C_{\text{фон}}$ в 100—1000 раз; КБП до 30—100	1—10	10
II. Высокоинформативная, безбарьерная	C_{\max} 0,01—0,1, превышает $C_{\text{фон}}$ в 10—100 раз; КБП до 5—16,5	11—41	31
III. Среднеинформативная, практически безбарьерная	C_{\max} 0,001—0,01, превышает $C_{\text{фон}}$ в 10 раз; КБП до 1—5	42—176	135
IV. Малоинформативная, фонобарьерная	C_{\max} 0,0001—0,0005, близки к $C_{\text{фон}}$ и ниже; КБП 0,2—0,3	177—212	36

Примечание. I. C_{\max} и $C_{\text{фон}}$ — максимальные и фоновые содержания олова в золе соответствующих объектов.

2. Номера биообъектов: 1 — орляк обыкновенный; 2 — водные мхи; 3 — полынь побегоносная; 4 — хвоя пихты белокорой; 5—8 — осоки: маньчжурская, уссурийская, мечевидная, пузыреватая; 9, 10 — зеленые мхи: политрихум обыкновенный и мним остроконечный;

11—13 — хвоя; ели аянской, кедра корейского, лиственницы даурской; 14—16 — ветви: ели аянской, березы даурской, спиреи березолистной; 17—22 — древесина: ели аянской, пихты белокорой, кедра корейского, березы каменной, осины обыкновенной, ивы Бредина; 23—28 — листья: клена желтого, ивы сухолюбивой, малины сахалинской, спиреи средней, спиреи березолистной, брусники; 29—30 — кора березы маньчжурской (береста) и липы амурской (луб); 31—33 — корни: чубушника тонколистного, рябинолистника рябинолистного, малины сахалинской; 34—41 — надземная часть трав, плаунов, мхов: кипрея узколистного, вики приятной, валерианы заенсейской, джефферсонии сомнительной, полыни жертвенной, осоки пузыреватой, плауна сплюснутого, хелодиума Бландова;

42 — хвоя кедрового стланика; 43—67 — листья: берез Миддендорфа, маньчжурской, даурской и ребристой, липы амурской, дуба монгольского, осины обыкновенной, кленов мелколистного и зеленокорого, ивы Бредина, шиповника даурского, жимолостей Максимовича и горбатой, чубушника тонколистного, актинидии коломикта, рябинолистника рябинолистного, рябины ольхолистной, лещин маньчжурской и разнолистной, рододендрона золотистого, багульника крупнолистного, леспедецы двуцветной, бузины сибирской, черемухи Максимовича, смородины бледноцветковой; 68—91 — ветви: пихты белокорой, кедра корейского, кедрового стланика, берез маньчжурской, ребристой и каменной, липы амурской, осины обыкновенной, кленов желтого, мелколистного и бородатого, граба сердцелистного ив Бредина и сухолюбивой, жимолостей Максимовича и горбатой, рябинолистника рябинолистного, малины сахалинской, спиреи средней, лещин маньчжурской и разнолистной, рододендрона мелколистного, леспедецы двуцветной, черемухи Максимовича; 92—101 — кора: ели аянской, пихты белокорой, кедра корейского, лиственницы даурской, кедрового стланика, берез даурской, ребристой и каменной, осины обыкновенной, маакни амурской; 102—114 — древесина: кедрового стланика, берез маньчжурской, даурской, ребристой, липы амурской, дуба монгольского, тополя душистого, кленов желтого, мелколистного и зеленокорого, бархата амурского, ясени маньчжурского, маакни амурской; 115—121 — корни: шиповника аглистого, жимолости Максимовича, элеутерококка колючего, аралии маньчжурской, спиреи средней, лещины разнолистной, леспедецы двуцветной; 122—124 — побеги однолетние: чубушника тонколистного, актинидии коломикты, лимонника китайского; 125—176 — надземная часть трав, мхов, лишайников, плаунов: дудник гладкий, вейник Лангсдорфа, линнея северная, земляника восточная, герань Максимовича, вика мышиная, гравилат алепский, клеверы люпиновидный и ползучий, подмаренник настоящий, кровохлебка аптечная, софора желтеющая, вероника сибирская, купена душистая, хвощ лесной, порезник жабрицевидный, шпороцветник вырезной, атрактилодес овальный, вальдштейния тройчатая, мерингия бокоцветковая, майник

щие этот металл до 0,2—0,5%. По отсутствию барьера в накоплении металлов А. Л. Ковалевский [1978а] делит биологические объекты на четыре группы: 1) безбарьерные (неограниченного накопления); 2) практически безбарьерные (гектофобарьерные) с высокими предельными концентрациями, превышающими фон в 30—300, в среднем в 100 раз; 3) декафобарьерные с предельными концентрациями, превышающими фон в среднем в 10 раз; 4) фобарьерные (пассивные к накоплению), предельные концентрации в которых близки к фону или не превышают нижние аномальные величины.

По нашему мнению, термин «безбарьерность» в смысле неограниченного беспредельного накопления растением или частью его органа (биообъекта) не совсем удачен. Дело в том, что у любого растения, органа или его части существует физиологический предел, выше которого растение уже не может поглощать тот или иной металл, в противном случае оно может вообще перестать существовать. Например, А. П. Виноградов [1965] отмечает, что в золе плаунов содержание Al может достигать 30%. Трудно предположить, чтобы, например, вышеупомянувший Ве, исходя из его безбарьерности, мог накапливаться в растениях в таких количествах даже при самых высоких его концентрациях в питающей среде.

Однако если исходить из относительного содержания того или иного металла в различных частях одного и того же растения с точки зрения поисковой информативности, то термин «безбарьерность» вполне уместен. С целью установления особенностей барьеров в поглощении олова органами дальневосточных растений мы сгруппировали биологические объекты, опробованные на оловорудных месторождениях по их поисковой информативности (табл. 43).

Прежде всего надо отметить, что обзор собственных материалов, отечественных и зарубежных данных говорит о том, что наибольшее содержание олова в золе растений не превышает 1%, да и то в единичных пробах орляка обыкновенного. По-видимому, эта величина или близкая к ней является физиологическим пределом поглощения данного металла независимо от его концентраций в почве на оловорудных залежах.

Кроме того, региональным (дальневосточным) геохимическим фоном олова в золе растений на оловорудных полях является величина 0,001%, что в 2 раза больше кларка (0,0005%). Содержание олова в пределах 0,001—1,0% и определяет информативность биообъектов при их опробовании — от сред-

двулистный, адокса мускусная, вороний глаз, кислица обыкновенная, чемерица черная, сосурица крупнолистная, ирис одноцветковый, горец птичий, мята даурская, патрэнция скабиозлистная, мискантус сахароцветковый, кохия веничная, одуванчик монгольский, красоднев желтый, полыни Аржи и узколистная, страусопер германский, кочедыжники мягкий, женский, красночерешковый и письменный, щитовники Линнея и буковый, папоротник луговой, осока гладконосная, сфагнум Руссова, хилокомнум блестящий, кладония альпийская, ягель, плауны пильчатый и можжевельниковый:

177—182 — листья: березы каменной, клена бородатого, ильма сродного, бархата амурского, маакки амурской, винограда амурского; 183—189 — ветви: лиственницы даурской, дуба монгольского, клена зеленокорого, ильма сродного, бархата амурского, ивы Радде, маакки амурской; 190—197 — кора: дуба монгольского, кленов желтого, мелколистного, бородатого и зеленокорого, ильма сродного, бархата амурского, ивы Бредина; 198—200 — древесина: лиственницы даурской, клена бородатого, ильма сродного; 201—212 — надземная часть трав: клитония удская, клопогон амурский, ландыш маньчжурский, чина низкая, лапчатка земляничная, шалфей сорный, многоножка обыкновенная, дурнишник зобатый, лабазник дланевидный, василистник китайский, хлорант японский, камыш трехгранный.

неинформативных до сверхинформативных, и такие биообъекты можно отнести к безбарьерным с точки зрения поглощения этого металла. Биообъекты с концентрациями олова ниже фона относятся к неинформативным и поглощение металла в них — фонобарьерное.

Анализ табл. 43 показывает, что сверхинформативных безбарьерных биообъектов с содержанием олова 0,1—1,0%, что превышает фон в 100—1000 раз, выявлено только 10, т. е. 4,7% от 212 видов и частей растений. Значительно больше биообъектов — 31 или 14,6% — относится к высокоинформативным безбарьерным, в которых олово содержится в пределах 0,01—0,1%, что превышает фон в 10—100 раз. Опробование их при проведении биопосков дает возможность выявлять четкие и контрастные биогеохимические аномалии олова. Наибольшее число биообъектов — 135 или 63,7% — относится к среднеинформативным, практически безбарьерным, содержащим олово в пределах 0,001—0,01%, т. е. примерно в 10 раз больше фона, и с достаточно высокими КБП 1—5. К малоинформативным, фонобарьерным и даже кларкобарьерным относится сравнительно небольшое число биообъектов — 36 (17,0%). Содержание в них олова меньше фона, а в ряде случаев даже и кларка, с КБП не выше 0,2—0,3. Опробование таких биообъектов при поисках неэффективно, а чаще всего нецелесообразно, особенно на стадии рекогносцировочных поисков.

Проведенная группировка биологических объектов по поисковой информативности на олово на основе безбарьерных биопосков дает возможность объяснить, почему в одном и том же растении обнаруживаются различные концентрации металла. Например, если хвоя пихты белокорой, содержащая до 0,1% Sn, относится к сверхинформативным биообъектам, то ветви этого дерева с содержанием Sn до 0,003% обладают только средней информативностью, и разница в концентрации указанных биообъектов превышает 30-кратный уровень. Иными словами, концентрация олова в хвое этого вида на два порядка выше, чем в ветвях. Аналогичная картина имеет место и у лиственницы даурской, хвоя которой относится к высокоинформативным безбарьерным объектам, а ветви — к малоинформативным фонобарьерным.

Надо отметить, что безбарьерность с высокой информативностью (в поисковом значении) накопления олова в хвое в целом характерна для деревьев — ели аянской, пихты белокорой, кедра корейского, лиственницы даурской, кедрового стланика. Высокой информативностью и безбарьерностью обладает древесина ели аянской, пихты белокорой, кедра корейского, березы каменной, осины обыкновенной, ивы Бредина.

Безбарьерной с высокой концентрацией олова в питающей среде является и кора деревьев, особенно ее отмершая наружная часть, например, береста берез маньчжурской и ребристой и луб липы амурской.

К безбарьерным или практически безбарьерным относятся листья дуба монгольского, кленов желтого и мелколистного, ивы сухолюбивой, малины сахалинской, спирей средней и березолистной, лещин маньчжурской и разнолистной, брусники и др.

Также безбарьерными являются и корни кустарников — чубушника тонколистного, рябинолистника рябинолистного, малины сахалинской, леспедецы двуцветной и др. Однако, несмотря на высокую информативность этих биообъектов, опробование их затруднено, а иногда и нецелесообразно, особенно при наличии на участках других безбарьерных биообъектов.

Большинство надземных частей травянистых растений относится к среднеинформативным, к почти безбарьерным биообъектам, за исключением некоторых видов осок, полыней, папоротников. Однако среди трав встречаются отдельные высокоинформативные виды безбарьерного поглощения олова, в частности, кипрей узколистный, вика приятная, валериана заенисейская, джеферсония сомнительная. Безбарьерными в накоплении олова являются зеленые мхи, лишайники, некоторые виды плаунов.

Фонобарьерными и даже кларкобарьерными являются свыше 15 травянистых биообъектов, которые не только не накапливают олово выше фоновых и кларковых величин, но по терминологии А. Л. Ковалевского [1978б], относятся к «биообъектам-деконцентраторам» по отношению к этому металлу. Представителями растений этой категории информативности и барьерности являются типичные дальневосточные виды — ландыш маньчжурский, василистник китайский, лапчатка земляничная, шалфей сорный, многоножка обыкновенная и др.

Таким образом, впервые на достаточно представительном фактическом материале показано, что накопление олова в дальневосточных биообъектах — растениях лесных ландшафтов (виды, органы и части органов), находящихся в пределах оловорудных полей и непосредственно рудных зон, относится преимущественно к безбарьерному типу поглощения. По-видимому, этим объясняется высокая информативность большинства биообъектов и почти полное отсутствие ложных биогеохимических аномалий олова; образуются лишь контрастные биоаномалии, непосредственно связанные с оловорудными телами. Следовательно, гипотеза А. Л. Ковалевского [1978б] об отнесении олова к группе элементов возможного безбарьерного поглощения подтверждается на новом фактическом материале, и биоаномалии этого металла могут успешно выявляться безбарьерными биогеохимическими поисками (ББП).

Установленные виды и части растений, безбарьерные и почти безбарьерные к концентрации олова, очень важны для опробования при биогеохимических поисках оловорудных месторождений. Эти биообъекты наиболее информативны для выявления биогеохимических аномалий и последующего выявления оловорудных тел.

Надо отметить, что опробование безбарьерных биообъектов может существенно увеличить глубинность биометода по сравнению с барьерными видами за счет повышенной контрастности биоаномалий олова.

Однако следует иметь в виду, что для окончательного подтверждения безбарьерности поглощения растениями и их органами металлов, в частности олова, необходимо провести экспериментальные исследования с дозированными питательными растворами, т. е. с заданными количествами подвижных форм олова в питательной среде. Только в этом случае установленные на статистической основе характеристики безбарьерного поглощения металла получат физиологическое обоснование и, следовательно, прямое доказательство этого природного явления в биогеохимии.

О БИОГЕННОСТИ ОЛОВА КАК ТЯЖЕЛОГО МЕТАЛЛА

По существующим представлениям, все химические элементы периодической системы Д. И. Менделеева, в зависимости от той роли, которую они играют в жизни растений, делятся на две группы: 1) элементы базипетального питания, выполняющие функцию строительного материала в клетках растения и 2) элементы акропетального поглощения, стимулирующие биохимические реакции [Белякова и др., 1972]. Олово входит в группу акропетального питания вместе с Ce, B, Sr, Ba, Ra, Al, Zn, Fe, Ti, Ge, Pb и U, т. е. находится в одной ассоциации элементов преимущественно 2-й и 4-й группы периодической системы. Считается, что эти металлы в высоких концентрациях вредны живым организмам, вызывают у них необратимые явления, а непосредственно у растений — тератологические изменения и тенденцию накопления в старых, главным образом вегетативных частях растений или корнях [Парибок, Кузнецова, 1963].

В. И. Вернадский еще в 1924 г. [1965] указывал, что «все химические элементы Менделеевской таблицы, по-видимому, закономерно охвачены живым веществом» (с. 234), тем не менее он относил Sn наряду с Be, Hg, Cu и другими к «очень ядовитым» металлам. Слабая изученность биогеохимии олова в то время не давала возможности ни опровергнуть, ни доказать такую точку зрения, и этот элемент априорно стал относиться к группе токсических тяжелых металлов биосферы.

Современные биогеохимические классификации элементов по их отношению к жизнедеятельности растений [Bowen, 1966; Fortescue, 1971; Левинсон, 1976; Бадалов, 1982] также относят Sn к очень ядовитым металлам вместе с Ag, Be, Cu, Hg, Co, Ni, Pb. Трудно объяснить, почему в эту ассоциацию ядовитых металлов попали, например, такие элементы, как Ag, Cu и Sn, характеризующиеся неодинаковой геохимической подвижностью, разными формами нахождения в почвах и различной биофильностью. Известно, что токсичность того или иного металла определяется формой нахождения его иона в питающей среде, доступной растениям. Даже при больших валовых содержаниях в почвах ядовитых металлов, находящихся в составе труднорастворимых силикатов и окислов, токсическое действие их будет проявляться слабо из-за ограниченного количества подвижных ионов. Кроме того, за счет внутренних контролирующих факторов растения поглощают металлы в количествах, не превышающих уровень токсичности [Левинсон, 1976].

Олово как тяжелый металл считают токсичным для растений С. Тиссен [1954], Г. А. Андрианова [1979], Р. Д. Дэвис и др. [Davis et al., 1978], однако убедительных доказательств в этом отношении они не приводят.

Отсутствие каких бы то ни было данных о токсичности олова в растениях не позволяет относить этот металл к группе ядовитых, тем более очень ядовитых.

Кроме того, как было показано выше, олово чрезвычайно широко распространено в разнообразных растениях практически во всех ландшафтно-климатических зонах земной поверхности. Причем содержание его в растениях достаточно высокое, особенно в безбарьерных информативных биообъектах, и олово не вызывает каких-либо явно выраженных необратимых явлений или тератологических изменений, т. е. тех, которые обычно возникают под влиянием настоящих токсических металлов. Так, А. А. Левинсон

[1976] указывает, что для очень ядовитых элементов, куда он относит и олово, содержание 1 г/т металла в форме, пригодной для усвоения, уже пагубно влияет на растения. Р. Д. Дэвис и др. [Davis et al., 1978] приводят сведения, что концентрации олова в питательном растворе в количестве 110 мг/кг являются уже токсичными для ячменя, где накапливается этот металл до 63 мг/кг на сухое вещество.

Однако по нашим данным растения, распространенные на оловорудных месторождениях и содержащие в золе до 0,1% олова, прекрасно развивались без всяких отклонений. В целом фитоденозы на зонах оловорудных минерализаций так же полно развиты, как и за пределами оловорудных тел, на них нет прогалин и «проплешин» (т. е. отсутствия растительности), характерных, например, для уранового оруденения. Все эти факты ставят под сомнение правильность отнесения олова к группе токсических металлов, и наоборот, свидетельствуют о его биогенности и физиологическом значении живых организмов.

ХИМИЧЕСКОЕ ВЫВЕТРИВАНИЕ (РАСТВОРЕНИЕ) КАССИТЕРИТА КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ БИОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ ОЛОВА

Известно, что касситерит является основным минералом оловянных руд, в том числе и россыпей [Таусон, 1961; 1977]. Исходя из изометрической структуры кристаллической решетки, геохимического состава, плотнейшей упаковки атомов в кристалле, высокой твердости (6—7 по шкале Мооса), значительного удельного веса (6,8—7,1) и других параметров, этот минерал ведет себя как один из самых устойчивых минералов в зоне гипергенеза в отношении процессов химического выветривания [Смирнов, 1947; Шило, 1981]. Тем не менее наличие гидрогеохимических и особенно биогеохимических ореолов рассеяния олова, установленных в последние годы на участках развития с существенно касситеритовой минерализацией, убедительно свидетельствует о том, что касситерит все же растворяется, т. е. подвергается химическому выветриванию в зоне гипергенеза. Этот процесс идет не только за счет почвенных растворов, но и под действием наиболее распространенного природного электролита — воды, которая, по мнению А. А. Саукова [1963], является универсальным растворителем.

Проведенные в 20—30-х годах лабораторные эксперименты по растворению касситерита и полученные результаты дали основание С. С. Смирнову [1947] сделать заключение о том, что «в зоне окисления касситерит практически не растворим даже в геологическом смысле и что во всех соответствующих случаях мы должны рассматривать природную двуокись олова как весьма инертное соединение. Вывод этот, находящийся чрезвычайно сильное подтверждение в факте специфической концентрации касситерита в россыпях, вряд ли нуждается в дальнейших комментариях» [Смирнов, 1947, с. 189].

Это заключение С. С. Смирнова и известная точка зрения А. Е. Ферсмана [1959] по поводу нерастворимости касситерита в зоне гипергенеза сыграли решающую роль. Поэтому последующие эксперименты по растворению касситерита проводились в условиях, отличающихся от стандартных, т. е. существующих в зоне гипергенеза, например при кипячении [Мицкевич, 1958] или при использовании концентрированных растворов серной кислоты

[Сорокин, 1956; Новороссова, Комарова, 1962; Назарова и др., 1970], или при высокой температуре [Сыромятников, 1961], и т. д.

Наиболее интересные, приближенные к природным условиям эксперименты провел В. Л. Барсуков [1974], показавший, что растворимость касситерита в воде, в слабокислых (HNO_3) и в слабощелочных (NaOH) растворах при температуре 25°C в интервале рН от 2 до 11 почти не зависит от рН, и только в щелочной среде с рН выше 11 растворимость возрастает и достигает $4,2 \cdot 10^{-7}$ моль/л. При этом образуется нейтральный гидроксокомплекс олова — $\text{Sn}(\text{OH})_4$.

В ряде экспериментов из-за их кратковременности реакции взаимодействия в системе раствор—касситерит, по-видимому, не достигают равновесия, поэтому не представлялось возможным оценить количество олова, перешедшего в раствор. Кроме того, отсутствовали данные по растворению касситерита в органических кислотах, обычных для почвенных растворов. Поэтому мы сочли необходимым провести экспериментальное моделирование растворения касситерита в лабораторных условиях.

В модельных опытах в качестве растворителей служили чистая вода и разбавленные растворы серной, щавелевой и лимонной кислот. Такие реагенты для проведения экспериментов были выбраны с тем, чтобы установить особенности растворения касситерита в кислой среде, господствующей в почвах гумидной зоны земной поверхности. Тем самым представлялась возможность оценить хотя бы в первом приближении внутрпочвенное химическое выветривание (растворение) касситерита в статических системах на основе заданных физико-химических параметров растворов при стандартных условиях, т. е. при температуре 25°C и давлении 1 ат. Кроме того, необходимо было сравнить агрессивность выбранных реагентов в унифицированных условиях эксперимента по отношению к касситериту, поскольку названные реагенты являются составной частью почвенных растворов [Ивашов, 1965, 1979а; Ивашов, Шардаков, 1983].

Исходное вещество — навески касситерита весом 1 г с размером зерен меньше 0,25 мм, т. е. фракции, пропущенные через сито с ячейками указанного диаметра, помещались в конические колбы с притертой пробкой и заливались 0,05 н-растворами указанных кислот, а также дистиллированной водой объемом по 250 мм. Два раза в день все четыре колбы взбалтывались в течение 5 мин для усиления процесса взаимодействия зерен касситерита с реагентами. Основным критерием степени агрессивности кислот и воды по отношению к касситериту было изменение кислотности среды, фиксируемое по данным измерения величины рН, а также количество растворенного и перешедшего в раствор в виде гидроксокомплекса этого металла — H_4SnO_4 .

Необходимо было установить, за какой период времени наступит устойчивое равновесие между твердой и жидкой фазами в каждом из четырех вариантов эксперимента и при каких значениях рН. Поэтому в задачу опыта не входило систематическое измерение величин рН через определенное время, с той или иной периодичностью. Измерение величин рН проводилось в опытах эпизодически, по мере наступления ожидаемого равновесия.

После постановки опытов измерение рН с помощью рН-метра 673 проводилось через день в течение месяца, однако изменения в значениях рН

растворов были незначительны, что свидетельствовало о медленном первоначальном взаимодействии указанных реагентов с касситеритом. Затем изменение величин рН проводилось через более длительные сроки по мере предполагаемого наступления равновесия.

Общая продолжительность эксперимента для каждого из четырех вариантов модельных опытов составила 1227 сут, хотя наступление устойчивого равновесия некоторых из указанных статических систем наступило значительно раньше. Однако окончание эксперимента планировалось после наступления устойчивого равновесия между твердой и жидкими фазами всех четырех вариантов эксперимента.

Отличие от аналогичных опытов других исследователей оригинальность нашего эксперимента по растворению касситерита заключалась в его длительности, которая гарантировала наступление полного равновесия между твердой и жидкой фазами, исходя из объема растворителя и веса навески. Этому способствовало также и систематическое взбалтывание препаратов в колбах с целью нарушения временного квазиравновесного состояния за счет образования на микрообломках касситерита возможных метастабильных соединений, которые могут эпизодически блокировать непрерывность процесса растворения.

Изучение динамики изменения величин рН фильтратов, образовавшихся в результате воздействия реагентов на касситерит, показало, что несмотря на отмеченную выше исключительную устойчивость этого минерала, подвергаясь химическому выветриванию, он все же разлагается. Об этом как раз и свидетельствуют изменения значений рН в результате протекающих химических реакций в статических системах касситерит—реагент, достаточно существенные во всех четырех вариантах модельных опытов (рис. 56). Как видно из диаграмм, диапазон изменения рН реагентов от начала опытов до наступления равновесия в фильтратах незначителен, что еще раз подчеркивает слабое воздействие на касситерит указанных химических соединений как органических, так и неорганических. Тем не менее во всех четырех вариантах эксперимента произошло химическое выветривание касситерита, и к концу модельных опытов со всеми реагентами касситерит вступил в устойчивое равновесие, но при различных значениях рН. В системах вода—касситерит, щавелевая кислота—касситерит равновесие наступило при рН=5 и в течение первой трети времени проведения эксперимента (общая продолжительность 1227 сут). При этом в варианте с водой изменение рН реагента (воды) по сравнению с его начальным значением, т. е. до начала опыта, шло в сторону понижения, а в случае с щавелевой кислотой — в сторону повышения при общей стабилизации системы в результате наступления слабокислой среды (рН=5).

С другими реагентами, т. е. с лимонной и серной кислотами, устойчивое равновесие наступило в первую половину длительности эксперимента, что достаточно четко отражают диаграммы изменения величин рН.

Общей особенностью эксперимента по химическому выветриванию касситерита является то, что устойчивое равновесие со всеми реагентами наступило в кислой среде, при рН от 1,5 до 5,0.

Изучение степени агрессивности указанных реагентов по отношению к касситериту показало, что чем раньше наступает устойчивое равновесие, тем слабее реагент с точки зрения его влияния на химическое выветривание этого минерала. Динамика растворения исходного количества

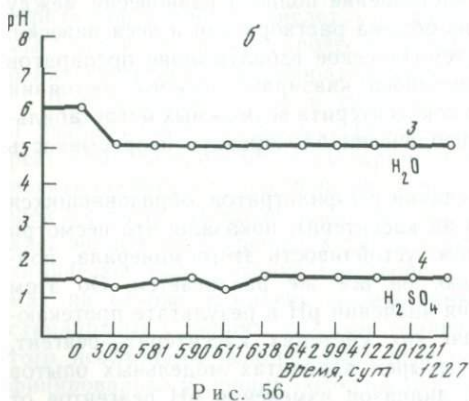
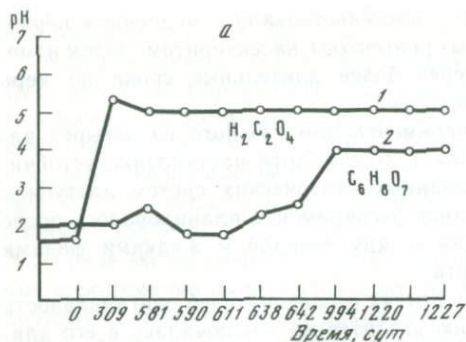


Рис. 56

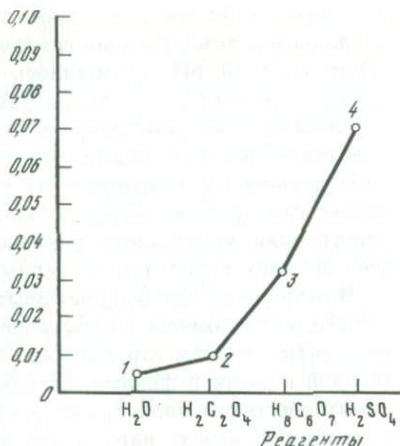


Рис. 57

Рис. 56. Диаграммы изменения величины рН фильтратов при растворении кристаллического касситерита в органических (а) и неорганических (б) средах (реагентах)

1 — щавелевая кислота; 2 — лимонная кислота; 3 — дистиллированная вода; 4 — серная кислота

Рис. 57. Диаграмма содержания минерального вещества в фильтрате при растворении кристаллического касситерита в зависимости от химического состава реагентов

1 — дистиллированная вода; 2—4 — 0,05 н-растворы кислот: 2 — щавелевой, 3 — лимонной, 4 — серной

касситерита под влиянием реагентов приведена в табл. 44 и на графике (рис. 57).

Оказалось, что наиболее слабо растворяет касситерит дистиллированная вода, поэтому не случайно, что этот реагент вступил в устойчивое равновесие с касситеритом в начале эксперимента (относительно его общей продолжительности). Однако, хотя дистиллированная вода и является наиболее слабым растворителем касситерита, тем не менее под ее воздействием растворилось и перешло в фильтрат 0,43% минерального вещества от всего количества навески касситерита; за время продолжительности эксперимента щавелевая кислота растворила 0,84, лимонная — 3,13, серная — 6,95%. Если агрессивность воды по отношению к касситериту принять за 1, то растворяющее действие щавелевой кислоты будет больше в 1,9, лимонной — в 7,3, серной — в 16,1 раза. Таким образом, экспериментально установленный ряд агрессивности этих реагентов по отношению к касситериту, т. е. по увеличению химического выветривания минерала под их влиянием, будет иметь вид: дистиллированная вода—щавелевая кислота—лимонная кислота—серная кислота. Экспериментальные иссле-

**Динамика растворения касситерита в виде навески 1 г
фракции меньше 0,25 мм в зависимости от химического состава реагентов**

Реагент	Вещество, перешедшее в раствор, г	рН исходных реагентов	Концентрация H_4SnO_4 в растворе	
			мг/л	моль/л
H_2O (дистиллированная вода)	0,0043	6,0	1,075	$10^{-5,24}$
$H_2C_2O_4$ (щавелевая кислота)	0,0084	1,5	2,075	$10^{-4,95}$
$H_8C_6O_7$ (лимонная кислота)	0,0313	2,0	7,825	$10^{-4,38}$
H_2SO_4 (серная кислота)	0,0695	1,5	17,375	$10^{-4,03}$

дования показали, что выбранные для модельного опыта реагенты являются достаточно контрастными, но все равно успешно растворяющими касситерит, хотя и в различной степени. Интересен тот факт, что разбавленный раствор серной кислоты оказался наиболее сильным растворителем даже по сравнению с органическими кислотами. Это весьма существенно для сульфидно-касситеритовой минерализации, при которой зона выветривания (окисления) всегда сопровождается образованием природной серной кислоты [Смирнов, 1955].

Кроме того, как следует из экспериментов, касситерит растворяется даже под влиянием такого слабого реагента, как дистиллированная вода. Поэтому установленные нами биогеохимические ореолы рассеяния на участках развития касситеритовой минерализации в условиях Дальнего Востока являются вполне естественными и свидетельствуют о растворимости касситерита и относительно хорошей миграции олова в зоне гипергенеза.

Надо отметить, что проведенные эксперименты по растворению касситерита и полученные результаты основаны на граничных условиях модельных опытов, а именно: при заданном объеме реагентов, их концентрации, навески касситерита в виде фракций определенного размера и времени функционирования закрытых статических физико-химических систем. В природных условиях зоны гипергенеза при постоянном подтоке растворителя (грунтовые и поровые воды, почвенные растворы и т. д.), т. е. в открытых динамических физико-химических системах, растворение касситерита несомненно идет интенсивнее, особенно с учетом геологического времени протекания гипергенных процессов. Поэтому можно предположить, что крупные оловорудные месторождения касситеритового состава в приповерхностных горизонтах земной коры были разрушены не только за счет механических (денудация, эрозия, абразия и т. д.) экзогенных, но и химических процессов, т. е. в результате растворения касситерита и последующей эволюции оловосодержащего минерального вещества в гипергенном цикле миграции [Ивашов, 1985а].

По-видимому, часть растворенного олова в составе гидроксокомплекса H_4SnO_4 , мигрировавшего в зоне гипергенеза, могла осаждаться в местах геохимических барьеров, дегидратироваться в процессе эволюции и превращаться в новообразованный вторичный касситерит в виде известного в при-

роде так называемого деревянистого оловянного камня [Смолянинов, 1955] и других минеральных разновидностей вторичного касситерита, таких, как суксит, варламовит, гидрокасситерит и т. д. [Герценберг, 1956; Вишневский, 1959].

В этом смысле образование вторичного касситерита в зоне гипергенеза аналогично формированию вторичных аморфных соединений кварца из растворов ортокремневой кислоты — H_4SiO_4 , т. е. в виде опала и халцедона, локализованных в современных корах выветривания и в почвах Приамурья и известных под названием «кремнеземистых присыпок» [Зимовец, 1967].

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования подтверждают процесс растворения первичного кристаллического касситерита в широком диапазоне значений рН природных сред вопреки существовавшему мнению об исключительной устойчивости этого минерала к химическим процессам выветривания.

Процесс химического выветривания касситерита ведет к высвобождению из этого минерала ионов олова, которые становятся доступными для растений, в результате чего формируются биогеохимические ореолы рассеяния олова на участках с существенно касситеритовой минерализацией.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ПОТОКОВ ОЛОВА И ЕГО СПУТНИКОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Описанные выше биогеохимические и биологические методы индикации оловянной минерализации, помимо чисто прикладного поискового значения при выявлении непосредственно оловорудных месторождений, важны и при оценке степени нагрузки на экосистемы тяжелых металлов — олова и его спутников.

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, особенно экосистем суши, тесно связано с процессами техногенеза, обусловленными хозяйственной деятельностью человека [Грушко, 1966; Глазовская, 1981; Солнцева, Касимов, 1979; Глазовский, 1982; Солнцева, 1982; Глазовская, Солнцева, 1984; Трофимов, Рагим-Заде, 1985]. Среди техногенных факторов особое место принадлежит геохимическим потокам минерального вещества, возникающим в экосистемах при поисках, разведке и разработке рудных месторождений [Ивашов, 1985а]. Поэтому не случайно в последние годы геохимические методы успешно применяются для решения ряда экологических задач и исследования антропогенных экосистем [Добровольский, 1980; Григорян, Сагет, 1980; Сагет и др., 1980]. Геохимическая экология как наука стала важным инструментом в оценке загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами [Ковальский, 1974; Брукс, 1982; Перельман, 1984; Израэль, 1984; Добровольский, Гришина, 1985].

Проведение геологоразведочных работ при вскрытии рудных тел поверхностными горными выработками — канавами, шурфами, траншеями и др. неизбежно приводит к разрыхлению приповерхностных горизонтов почвогрунтов и следовательно — к увеличению миграции минерального вещества. Особенно большие изменения происходят в экосистемах при проходке канав и других горных выработок с помощью взрывных работ. В этом случае возникают выбросы рудного вещества, которое рассеивается на десятки метров от рудной зоны. В результате на участках геологоразведочных работ образуются техногенные геохимические потоки тяжелых метал-

лов, формированию которых способствует мелкоручейковый поверхностный размыв разрыхленных пород под действием атмосферных осадков, особенно ливневых муссонных дождей, если говорить об экосистемах Дальнего Востока. Возникающие таким образом искусственные техногенные потоки минерального вещества по скорости их проявления более интенсивны, чем аналогичные природные процессы, происходящие в экосистемах без антропогенного воздействия.

Образующиеся повышенные содержания тяжелых металлов в компонентах экосистем на участках геологоразведочных работ являются, с одной стороны, показателями рассеяния минерального вещества и, следовательно, загрязнения окружающей среды, а с другой, — приводят к возникновению так называемых ложных геохимических аномалий металлов за пределами рудных зон, не связанных непосредственно с оруденением.

С целью оценки техногенного потока тяжелых металлов, обусловленного геологоразведочными работами, были проведены опытно-методические исследования с использованием геохимических методов — литогеохимического и биогеохимического — в зоне минерализации одного из оловорудных месторождений Комсомольского рудного района Дальнего Востока.

На площади касситерит-сульфидного оруденения, вскрытого канавами и шурфами, была заложена серия профилей, ориентированных вниз по склону. На каждом профиле через 20 м в точках наблюдения производилось опробование почвогрунтов и растений. В литогеохимических и биогеохимических пробах определялось содержание тяжелых металлов, и полученные результаты анализов методом генерализации интерпретировались по каждому профилю применительно к трем участкам: 1) выше по склону за пределами оруденения, 2) непосредственно над рудной зоной и 3) ниже по склону от рудной зоны, т. е. на техногенном потоке (шлейфе) минерального вещества.

Оказалось, что образованный под влиянием геологоразведочных работ техногенный поток тяжелых металлов распространяется вниз по склону от рудной зоны до 100 м. Возможно, поток протягивался бы и на большее расстояние, но в нижней части склона он отсекается долиной ключа.

Показательно содержание Sn и его спутников в разрыхленных почвогрунтах применительно к указанным выше трем участкам (с точки зрения геохимической экологии), %: Sn — 1) 0,003—0,005; 2) 0,3—0,4; 3) 0,002—0,008; Pb — 1) 0,01—0,05; 2) 0,1—0,5; 3) 0,02—0,05; Ag — 1) до 0,0001; 2) до 0,001; 3) 0,0001—0,003; Zn — 1) 0,01—0,05; 2) 0,02—0,06; 3) 0,01—0,03; As — 1) до 0,001; 2) 0,05—3,0; 3) 0,03—0,05; Cu — 1) 0,001—0,003; 2) 0,01—0,03; 3) 0,005—0,01.

Сравнение этих данных показывает, что за пределами рудной зоны, на участке выше по склону, содержание тяжелых металлов в почвогрунтах минимальное.

Наибольшие концентрации металлов отмечаются на участке непосредственно над оруденением, особенно — мышьяка, поскольку для рудной зоны минерализации характерно повышенное содержание арсенипирита — минерала этого химического элемента.

На техногенном шлейфе, т. е. на участке ниже по склону от рудной зоны, содержание металлов также достаточно высоко, хотя и меньше, чем на рудной зоне. Это свидетельствует о значительной степени рассея-

ния рудного вещества в техногенном потоке на основе определения содержания металлов в разрыхленных почвогрунтах.

Техногенный геохимический поток четко фиксируется и биогеохимически, т. е. путем определения тяжелых металлов в золе растений. При этом установлены существенные различия в содержании элементов в растениях применительно к трем указанным выше экологическим участкам, %: Sn — 1) 0,001—0,0005; 2) 0,03—0,04; 3) до 0,001; Pb — 1) 0,003—0,005; 2) 0,04—0,1; 3) до 0,001; Cu — 1) 0,002—0,003; 2) 0,01—0,02; 3) до 0,001; Zn — 1) 0,07—0,3; 2) 0,4—2,0; 3) 0,06—0,08; Ag — 1) 0,0001—0,0002; 2) 0,001—0,005; 3) 0,0003—0,0007.

Наибольшие концентрации тяжелых металлов отмечаются в золе растений над рудной зоной, минимальные (в пределах кларка) — на участке выше по склону от оруденения и промежуточные — на техногенном потоке, причем на всем его протяжении, начиная от рудной зоны и кончая долиной ключа, отсекающего техногенный шлейф минерального вещества.

Коэффициенты биологического поглощения (КБП) тяжелых металлов в растениях также являются четким критерием фиксации техногенного потока. Величины КБП на безрудном участке и на шлейфе соответственно: Sn — 0,5 и 1,0; Pb — 0,25 и 0,50; Zn — 2,0 и 16,0; Cu — 1,0 и 3,0; Ag — 2,0 и 10,0.

Сравнительные данные показывают, что значения КБП почти всех металлов, за исключением свинца, на участке техногенного потока больше 1. По-видимому, разрыхление верхней толщи почвогрунтов под влиянием геологоразведочных работ ведет к увеличению растворения рудных минералов, к высвобождению ионов-металлов и как следствие — к значительному поглощению их растениями.

Полученные результаты исследований имеют важное значение не только для оценки эколого-техногенного фактора в рассеянии металлов в процессе геологоразведочных работ, но и для поисковых целей, в частности для интерпретации литогеохимических и биогеохимических аномалий олова и его спутников в оловорудных районах. Поэтому геохимические методы могут успешно применяться для исследования техногенных потоков минерального вещества, возникающих в процессе геологоразведочных работ на оловорудных объектах.

Помимо техногенных потоков тяжелых металлов, связанных с горными выработками, биометоды индикации олова и его спутников могут найти самое широкое применение при оценке влияния на окружающую среду горнодобывающей оловянной промышленности — отвалов рудовмещающих пород из шахт и карьеров, отходов горно-обогатительных комбинатов (ГОК), хвостохранилищ обогатительных фабрик и т. д. Кроме того, биометодами, вследствие их высокой чувствительности, можно оценивать степень поглощения олова зоо- и фитocenозами, обитающими в поверхностных водах, а также растительным покровом, животным миром и человеком в районах горнодобывающих объектов.

Надо отметить, что влияние на экологию окружающей среды путем загрязнения тяжелыми металлами в процессе добычи и обогащения оловянных руд зависит от их вещественного состава. Например, при получении оловянных концентратов в процессе обогащения касситерит-сульфидных (полиметаллических) руд в отходах ГОК, в хвостохранилищах, в сточных промышленных водах и т. д. отмечаются повышенные содержания токси-

ческих элементов — As, Sb, Hg и других тяжелых металлов. При разработке же существенно касситеритовых руд токсических металлов в отходах производства практически нет. Примером такого безвредного предприятия с точки зрения загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами может служить комбинат «Хинганолово» на Дальнем Востоке, разрабатывающий мономинеральные касситеритовые руды, не содержащие примеси других тяжелых, тем более токсичных металлов.

Геохимическая экология в оловорудных районах может рассматриваться как новое, исключительно важное научное направление в оценке влияния техногенеза на окружающую среду [Ивашов, 1986а].

ГЛАВА 7

ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

При проведении биогеохимических поисков оловорудных месторождений необходимо учитывать не только природные ландшафтно-геохимические особенности территории, но и ряд факторов, связанных с оптимальными сроками выполнения этих работ, с рациональным опробованием биообъектов, с первичной обработкой биогеохимических проб, с разрешающими возможностями аналитических методов определения олова и его спутников в опробуемом материале и с другими аспектами поисковой биогеохимии. Только с учетом этих критериев разработка научных основ методов биоиндикации, проведение опытно-методических исследований, а затем и непосредственно поисков в производственном масштабе будут наиболее оптимальны и эффективны. Поэтому нами были проведены соответствующие исследования по методическим вопросам биогеохимической индикации оловянной минерализации.

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОЛОВА И ЕГО СПУТНИКОВ В РАСТЕНИЯХ

Выявление особенностей накопления олова в растениях в зависимости от сезона года важно для установления сроков отбора проб при проведении биогеохимических поисков. Мы провели специальные режимные опытно-методические биогеохимические исследования на оловорудном месторождении кварц-касситеритового типа, находящемся в зоне кедрово-широколиственных лесов Дальнего Востока.

Опробование биообъектов — кедр корейского, бархата амурского, элеутерококка колючего, аралии маньчжурской, березы ребристой, актинидии коломикта, страусопера германского, ивы Бредина, бузины Микеля, малины сахалинской, вейника Лангсдорфа, рябинолистника рябинолистного, осок — маньчжурской и ланцетной — проводилось в осенний и весенний периоды. В пробах осеннего (сентябрь) сбора в указанных видах установлено повышенное содержание Sn и его спутников — Pb, Zn, Cu, Mo, Ag и других

металлов, наиболее характерных для оруденения. Например, содержание Sn в золе осок достигает 0,1—0,3%, Zn и Pb в золе березы соответственно 2—3 и 0,2%. Степень концентрации Sn, Zn и Pb в золе этих растений в 10—100 раз выше фонового в почвах на месторождении и в 200—300 раз выше фонового в растениях.

Для сравнения сезонного изменения содержания металлов в растениях весной (май) следующего года было проведено повторное взятие проб из тех же растений и их органов, которые по результатам осеннего сбора характеризовались повышенными количествами металлов рудной зоны. Опробовались в основном молодые вегетирующие органы растений: листья, хвоя, ветви, побеги и надземная часть трав. Оказалось, что элементный состав золы растений, опробованных весной, значительно беднее осенних. Так, весной в начальной стадии вегетации органы растений практически не накапливают Sn, Be, Cr, т. е. их количества содержатся за пределами чувствительности анализа. В большинстве проб фоновые содержания V, Mn, Ag и Pb весной ниже, чем осенью. Zn и Mo обнаружены примерно в тех же количествах, и лишь фоновые содержания Cu и Ni более чем в 2 раза превышают фоновые содержания в осенних образцах. Весной в аномальных количествах в растениях накапливаются Mn, Ni, Cu и Zn. При этом аномальные содержания Cu в малине сахалинской в 20 раз, а Zn в березе ребристой в 3—5 раз ниже осеннего. Наибольшие содержания Ni и Mn примерно равны весеннему. В целом биогеохимические аномалии всех элементов весной нечеткие, в осенний же период контрастность их очень резкая.

Стрежаемость проб с максимальным содержанием металлов осенью значительно выше, чем весной. Так, осенью число проб с аномальным содержанием Zn составило 63, а весной лишь 18%, Cu соответственно 48 и 22%.

Особенно четко разница в накоплении металлов растениями видна на основе КБП (табл. 45) по осеннему и весеннему рядам биологического поглощения, элементы в которых расположены по убывающей энергии биологического накопления:

Осень: Zn > Cu > Mo > Sn > Pb > Ni > Ag > Mn > Be > V > Cr.

Весна: Zn > Ni > Mn > Pb > Cu > Mo > Ag > V.

Как видно, Mo, Zn, Cu, Sn и Pb, т. е. преимущественно металлы рудной зоны, наиболее интенсивно накапливаются осенью. Весной в первую очередь поглощаются наиболее жизненно важные микроэлементы — Zn, Ni, Mn и др., а Sn, Cr и Be еще не захватываются. Вероятно, это связано с тем, что в начальный период вегетации биогенные микроэлементы крайне нужны растениям, поскольку они, например, Zn, Ni, Mn, Cu, Mo и частично Pb, участвуют в окислительно-восстановительных реакциях при процессах ассимиляции и диссимиляции, входят в состав ферментов и витаминов, ускоряют рост и развитие растений [Власюк, 1969].

Поэтому биогеохимические поиски оловорудных месторождений, как и руд других тяжелых металлов, предпочтительнее проводить в позднелетний—осенний период, что согласуется с материалами других исследователей [Ткалич, 1959; Мицкевич, 1962; Тюрина и Щибрик, 1962; Грабовская, Астрахан, 1963; Поликарпочкин, Поликарпочкина, 1964; Васильева, Загребина, 1964; Удодов, Шварцева, 1969; Захаров, 1969а; Ковалевский, 1974а, б; Беус и др., 1976; Ehlin, 1982].

Изменение коэффициентов биологического поглощения ((КБП) металлов растениями в зависимости от сроков отбора проб

Элемент	Содержание в почвах, %	Весна		Осень	
		Содержание в растениях, %	КБП	Содержание в растениях, %	КБП
Be	0,003	Не обнаружено	—	0,001	0,3
V	0,030	0,001	0,02	0,010	0,2
Cr	0,030	Не обнаружено	—	0,003	0,1
Mn	0,600	0,800	1,3	0,700	1,1
Ni	0,003	0,006	2,0	0,006	2,0
Cu	0,010	0,010	1,0	0,200	20,0
Zn	0,030	0,600	20,0	3,000	100,0
Mo	0,001	0,0003	1,0	0,010	10,0
Ag	0,001	0,0001	1,0	0,001	1,0
Sn	0,060	Не обнаружено	—	0,300	5,0
Pb	0,008	0,010	1,2	0,020	2,5

С учетом материалов по опробованию в летний и позднейший периоды, полученных нами на других оловорудных месторождениях, следует сделать вывод о том, что биогеохимические поиски можно проводить в течение всего года, даже зимой, но дифференцированно, исходя из предполагаемого типа минерализации и, следовательно, тех или иных элементов-индикаторов. Например, при круглогодичных поисках полиметаллических руд биогеохимические аномалии нужно интерпретировать не только по основным металлам — Zn, Cu и Pb, но и по их спутникам — Ag, и особенно Sn, являющемуся четким биогеохимическим индикатором этого типа минерализации.

Видимо, в то же время, 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

Дождевые осадки влияют на содержание химических элементов в растениях двояко. Во-первых, они непосредственно вымывают (выщелачивают) химические элементы из органов (частей) растений. Во-вторых, имеет место косвенное их воздействие на поступление в растения металлов (ионов) через корневую систему вследствие разбавления почвенных растворов атмосферной нейтральной водой и изменения pH почвенной среды [Ткалич, 1959; Поликарпочкин, Поликарпочкина, 1964]. При биогеохимическом опробовании большой интерес представляет изучение непосредственного воздействия атмосферных осадков на выщелачивание химических элементов из растений, поскольку от этого зависят погодные сроки и время отбора проб.

Для оценки степени выщелачивания металлов из растений под влиянием

дождей в условиях муссонного климата Дальнего Востока мы провели специальные опытные режимные исследования на участке касситерит-грейзеновой минерализации. 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 была отобрана надземная часть. Всего было опробовано 25 видов растений: из деревьев — дуб монгольский и береза даурская, из кустарников — рододендрон амурский и леспедеца двуцветная, а также 21 вид трав. Второй этап биогеохимических исследований проведен 21 июня после интенсивного ливневого муссонного дождя с количеством осадков 30—40 мм, выпавших 20 июня. Биогеохимические пробы были отобраны из тех же растений в тех же точках наблюдения.

Влияние дождя было изучено по динамике содержания в растениях Be, Mo, Ti, Ni, Pb, Cu, Zn, Ba, Sr и Mn, т. е. по спутникам Sn. Изменения в содержании непосредственно олова уловить не удалось из-за слабой касситеритовой минерализации на участке и соответственно — низкой концентрации этого металла в растениях.

Сравнение содержания бериллия в растениях до и после дождя показывает, что этот элемент вымывается дождевыми осадками в значительных количествах как из древесных и кустарниковых растений и их органов, так и из трав. Например, после дождя бериллий не обнаружен в коре дуба монгольского, в листьях рододендрона амурского, в орляке, полыни Гмелина, сподиопогоне и ландыше. Стабильным оказалось содержание бериллия в листьях дуба, что, может быть, свидетельствует о значительном закреплении этого металла в листовом аппарате растения. Вполне вероятно, что эта стабилизация имеет относительный характер и обусловлена двумя факторами: 1) наименьшей подвижностью бериллия в листьях названного 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 содержание Be до дождя было 0,0005, в после — $< 0,0001\%$, т. е. уменьшилось 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 на поверхности этих растений Be, вымытого дождем из верхнего полога растительного покрова, особенно из деревьев, кустарников и подроста. Было вычислено среднее содержание Be во всех опробованных растениях и их органах до и после дождя. Оказалось, что эта величина в пробах первой партии 0,00028, второй — 0,00014%. Следовательно, можно утверждать, что сразу после интенсивного дождя (на вторые сутки) содержание Be 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, вероятно, 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 девяти 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 крон деревьев и кустарников.

Титан, хотя и относится к числу наиболее геохимически инертных химических элементов, также обнаруживает незначительную 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 отмечается несколько повышенное его содержание по сравнению с преддождевым периодом. Учитывая биогенность никеля, можно предполагать, что он интенсивно поглощается из почв деревьями и кустарниками вследствие благоприятных условий, 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, практически не выходящей 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, т. е. его содержание в них находится за пределами чувствительности анализа. Следует отметить повышенное содержание свинца после дождя в листьях и ветвях рододендрона амурского. Вероятно, атмосферные осадки, проникая в почву, благоприятствуют поглощению свинца корнями рододендрона вследствие изменения физико-химических параметров почвенной среды.

Медь, цинк определялись не во всех видах растений, 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, хотя характеризуются 100-процентной встречаемостью в растениях до и после дождя, но также склонны вымываться атмосферными осадками. Как правило, почти во всех видах растений содержание этих элементов меньше после дождя в 1,5—3 раза. Некоторое незначительное повышение содержания Ba, Sr и Mn в растениях, особенно в травах после дождя следует объяснять вторичным «заражением» трав этими элементами, вымытыми из древесно-кустарникового полога.

Таким образом, можно утверждать, что интенсивные дожди способны

выщелачивать из деревьев, кустарников и трав редкие и рассеянные химические элементы как биогенные (Mo, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr и др.), так и те, биогенность которых пока неясна (Be, Ti, Pb 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 [1959] по изучению им динамики содержания химических элементов в растениях в зависимости от атмосферных осадков.

Б. А. Колотов и др. [1965] выполнили специальные экспериментальные работы по вымыванию металлов искусственным дождеванием из листьев дуба монгольского, произрастающего на разных месторождениях. В воде, прошедшей через кроны дуба, они обнаружили тяжелые металлы, в том числе и олово, определенные дитизином (мкг/л): от 10—100 до 1000 на полиметаллическом месторождении, 15—20 на медном и до 2 на оловянном. Оказалось, что наибольшие содержания тяжелых металлов отмечаются в водах, промывших крону деревьев, произрастающих непосредственно над рудными телами.

Факты выщелачивания из растений микроэлементов под действием дождей установлены многими исследователями [Ковалевский, Чимитдоржиева, 1968; Поликарповичин, 1969; Захаров, 1969; Ковалевский, 1975; Н. В. Тукей, Н. Н. Тукей, 1962].

Касаясь механизма этого природного явления, Р. А. Мекленбург и др. [Mecklenburg et al., 1966] полагают, что главным фактором в этом процессе 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 жизненного цикла растений.

ВОЗМОЖНОСТЬ БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО ОПРОБОВАНИЯ СУХОСТОЯ

В пределах лесной и лесотундровой зон Сибири и Дальнего Востока, на перспективных с точки зрения оловянного оруденения территориях, встречаются участки, где широко развит сухойстой вследствие пожаров и других антропогенных факторов. Весьма часто сухойстой образуется на заболоченных равнинных участках — марях, особенно с прогрессирующим процессом заболачивания, что приводит к отмиранию древостоя; образуются сушины, состоящие из лиственницы даурской, ели аянской, пихты белокорой, ольхи, берез и других сухойстойных древесных и кустарниковых растений. Наш опыт биогеохимических исследований показывает, что в ряде случаев на профиле биогеохимического опробования и в отдельных точках наблюдения присутствуют лишь сухойстойные деревья с хорошо развитой корневой системой, которые приходится опробовать за неимением вегетирующих древесных и других видов. Поэтому изучение особенностей содержания олова и его спутников в сухойстой имеет важное практическое значение при проведении биогеохимических поисков оловорудных месторождений. Между тем этот вопрос не разработан ни в специальной литературе, ни непосредственно в Инструкции по геохимическим методам рудных месторож-

дений [1983], т. е. в наиболее доступных для геологов-поисковиков источниках, сведений по указанной тематике нет.

В связи с этим мы провели специальные исследования по отбору проб из сухих деревьев на некоторых участках с оловянной минерализацией, в частности касситерит-хлоритового (Приморье) и сульфидно-касситеритового (Приамурье) типов, одновременно там, где это было возможно, наряду с живыми растениями опробовался сухостой. Обработанные результаты показали, что в ряде случаев опробование частей сухих деревьев даже эффективнее за счет повышенного количества металлов и, следовательно, большей информативности.

О л о в о содержится в хвое сухой и вегетирующей ели аянской в одинаковом количестве — 0,001% (в пределах фона). В коре сухой ели содержание этого металла 0,003%, что в 3 раза больше, чем в коре живой ели, где оно не превышает 0,001%. Правда, содержание олова в ветвях (0,01%) и древесине (0,01%) вегетирующей ели больше, чем в сухом дереве соответственно 0,003% и 0,002%, но надо иметь в виду то, что эти виды опробованы в разных точках наблюдения: вегетирующий вид ели опробован над эпицентром рудного тела, а сушина — только в пределах экзогенного ореола рассеяния. В единичных пробах обнаружено олово в сушине кедра корейского с наибольшим содержанием в коре — 0,005%, в то время как в коре живого кедра в той же точке наблюдения количество олова не превышает 0,001%.

С е р е б р о присутствует в сухостое иногда даже в больших концентрациях, чем в живых растениях. Так, количество его в хвое сушины ели аянской достигает 0,0005%, 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 вегетирующего вида. Следовательно, можно сделать вывод о том, что сухая хвоя вследствие испарения из нее влаги представляет собою как бы аналог растительной пробы, уже подвергшейся обогащению, подобному «озолению», поэтому после настоящего озоления в ней произошло дополнительное обогащение по сравнению с хвоей живого растения. Содержание серебра в ветвях и древесине сухой и живой ели одинаковы и соответственно равны 0,0003 и 0,001%, что в 3—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 содержание серебра в древесине одинаково — 0,001%, что в 10 раз выше фона в растениях. Следовательно, серебро является четким биогеохимическим индикатором сульфидно-касситеритовых и оловянно-полиметаллических зон минерализации по содержанию его не только в живых хвойных деревьях (как указывалось выше), но и в сухостое, представленном также хвойными видами.

М о л и б д е н как биогенный и геохимически подвижный элемент обнаруживает даже большую склонность накапливаться в сухостое ели аянской по сравнению с вегетирующим видом. Наибольшее содержание его в хвое сушины ели 0,003%, а в живой хвое только 0,001%. В коре содержание молибдена одинаково — 0,0003%, а в древесине сухого елового дерева концентрация его достигает 0,001%, что в 3 раза больше, чем в живой ели, и в 10 раз больше фона (0,0001%) в растениях в целом.

Другие спутники олова также содержатся в сухостое в повышенных количествах. В коре хвойных сухих деревьев содержится, %: Pb — 0,005—0,02, Cu — 0,005, Zn — 0,03—0,1, Ni — 0,001—0,003, Ba — 0,5—3,0, Sr — 0,03—0,08, Ti — 0,02. В сухой древесине хвойных деревьев весьма характерно повышенное содержание Cu (0,01%).

Таким образом, приведенные материалы свидетельствуют о том, что содержание олова и сопутствующих микроэлементов (как биогенных, так и небιοгенных) в сухостое в ряде случаев даже выше, чем в живых древесных растениях, т. е. имеет место обогащение металлами сухих деревьев, сохранившихся в пределах рудной зоны. Этот природный процесс естественного обогащения вследствие высыхания деревьев аналогичен искусственному озолению проб живых растений с целью обогащения золы тяжелыми металлами. Поэтому биогеохимическое опробование сухостоя, представленного древесными видами, в частности хвойными, может дать положительные результаты при выявлении биогеохимических аномалий.

Следует подчеркнуть высокую информативность биообъектов частей сухих деревьев, характеризующихся безбарьерностью в накоплении олова и его спутников.

ЗНАЧЕНИЕ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Геохимия ландшафта как наука является одной из теоретических основ геохимических методов поисков, так как ее методические разработки включают различные разделы геохимии, в частности биогеохимию и учение о миграции химических элементов в зоне гипергенеза [Полынов, 1956; Перельман, 1966, 1977, 1979, 1982; Глазовская, 1964а, 1981; Снытко, 1978; Зырин, 1983; Раецкая, 1983].

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. [Глазовская, 1964а; Глазовская и др., 1961; Касимов, 1980; Перельман и др., 1982]. На основе этих данных представляется возможным выявить особенности миграции и накопления химических элементов в геохимическом ландшафте в пределах рудных узлов и месторождений и установить закономерности формирования экзогенных ореолов рассеяния рудных химических элементов, особенно олова: механических и солевых в современной коре выветривания и почвах, гидрохимических — в поверхностных и грунтовых водах, биогеохимических — в растениях и т. д. По существу ландшафтно-геохимические исследования в рудных районах с целью разработки научных основ геохимических методов поисков сводятся к установлению взаимоотношений в пространстве и во времени между вторичными ореолами рассеяния химических элементов, на основании чего становится возможным рекомендовать применение того или иного геохимического метода — литогеохимического, гидрогеохимического, биогеохимического и др. Ландшафтно-геохимические особенности местности

определяют выбор того или иного геохимического метода поисков или комплексирование разных методов.

Если говорить о возможности применения биогеохимического метода поисков оловорудных месторождений и его эффективности, то необходимо знать разрешающую возможность его в сравнении с другими геохимическими методами. На этот вопрос могут ответить только опытно-методические ландшафтно-геохимические исследования на ключевых участках в пределах регионов, где предполагается проведение геохимических, в том числе и биогеохимических поисков оловянных руд в конкретных ландшафтных условиях.

Можно выделить основные ландшафты, отражающие природно-климатическую зональность: 1) лесные, 2) степные, 3) пустынные, 4) тундровые. Каждый из них характеризуется определенной геохимической спецификой.

При биогеохимических поисках наибольший интерес представляют лесные ландшафты, которые с точки зрения геохимической миграции элементов А. И. Перельман [1966] и Н. И. Сафронов [1968] подразделяют на ландшафты тропических, северных хвойных и южных широколиственных лесов, сформированных и на силикатных, и на карбонатных породах.

В лесных ландшафтах тропиков из-за высокого температурного режима, повышенной влажности и кислой реакции вод происходит интенсивное химическое и биологическое выветривание пород и минералов. Устойчивые минералы — вольфрамит, касситерит, танталониобаты и другие — дают в основном россыпи, хотя выветривание их и высвобождение ионов металлов, а частности олова, способствует образованию биогеохимических ореолов.

Лесные ландшафты хвойных лесов северного полушария формируются в таких климатических условиях, где количество выпадающих осадков превышает их испарение, вследствие чего происходит весьма обильный водный сток. Тем не менее в этих ландшафтных обстановках образуются биогеохимические ореолы олова, особенно на карбонатном субстрате, в результате чего здесь возникают некоторые специфические черты миграции элементов. В частности, из-за повышенного содержания кальция реакция почв становится щелочной, а в таких условиях почвенные растворы способствуют растворению устойчивых окисных минералов, в том числе и касситерита.

Как было показано в обзоре, биогеохимические ореолы рассеяния олова образуются в ландшафтах широколиственных лесов, в степных, пустынных, а также лесотундровых и тундровых, развитых в Сибири и на Северо-Востоке СССР.

В целом оценка территории нашей страны по условиям применения биогеохимических методов поисков оловорудных месторождений на основе ландшафтно-геохимических исследований имеет большое научное и народнохозяйственное значение [Глико, 1968; Мицкевич, Сущик, 1981].

Исключительный интерес такие исследования представляют применительно к территории Дальнего Востока, которая в географическом отношении характеризуется специфическими чертами, обусловленными муссонным климатом, особенно в ее южной части. На огромной территории Дальнего Востока необходимо не только предварительно оценить условия применения биогеохимических методов поисков, исходя из региональных лесорастительных зон (тундры, лесотундры, хвойных лесов, хвойно-широколиственных лесов и лесостепи), но и провести с этой целью ландшафтно-геохимическое

районирование применительно к каждой из указанных ландшафтных зон. Научная и практическая необходимость решения этой большой проблемы диктуется тем, что обширный регион Дальнего Востока от Чукотки до Владивостока с севера на юг, и от Забайкалья до Тихого океана с запада на восток входит в состав уникального в металлогеническом отношении Тихоокеанского рудного пояса, где сосредоточены основные оловорудные месторождения и перспективные территории с оловянной минерализацией.

ОТБОР И ОБРАБОТКА БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОБ

Говоря об эффективности биогеохимических методов поиска оловянных руд, по сравнению, например, с литогеохимическим методом, необходимо иметь сравнительные данные по затратам времени на отбор и обработку биогеохимических проб. В связи с этим мы выполнили хронометрические работы по отбору одновременно биогеохимических и литогеохимических проб на оловорудном месторождении кварц-касситеритового типа Малого Хингана [Ивашов, 1976в]. Так, в точках наблюдения 19 и 32 (профиль 1) были отобраны пробы из надземных частей растений со следующими затратами времени, мин: вейник Лангсдорфа — 2,0; полынь побегоносная — 1,0; осока лесолюбивая — 1,5; кедр корейский (кора) — 0,5; кедр (древесина) — 1,0; липа амурская (листья) — 1,5; кипрей узколистный — 2,0; кочедыжник женский — 2,0; осока бледная — 3,0; береза ребристая (ветви) — 1,0.

Таким образом, для отбора разовых проб растений требуется от 0,5 до 3 мин, в среднем 1,55 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 из-за разного объема надземной массы этих двух видов осок.

Затраты времени на отбор одной литогеохимической пробы с глубины 40 см в связи с высокой щебнистостью опробуемых почв составили 10—12 мин. Следовательно, для отбора одной биогеохимической пробы требуется в 7—8 раз меньше времени, чем для отбора одной литогеохимической пробы в данных ландшафтных условиях. Учитывая, что при биогеохимических поисках с одной точки наблюдения следует для контроля отбирать две—три пробы из разных растений, можно утверждать, что на отбор биогеохимических проб времени будет затрачиваться в 4—5 раз меньше. При этом надо иметь в виду, что контрастность биогеохимических аномалий олова практически всегда выше, и последние будут четко отбивать эпицентры залегания рудных тел. Это в конечном счете положительно скажется на затратах средств и времени на вскрытие оруденения.

Следует отметить, что наши предварительные расчеты затрат по времени на биогеохимическое опробование по сравнению с литогеохимическим совпадают с исследованиями зарубежных авторов. Так, Р. Р. Брукс [Brooks, 1968] положительно оценивает перспективы применения биогеохимических методов поисков в условиях Новой Зеландии, поскольку они имеют определенные преимущества перед почвенным опробованием. Он указывает, что опробование деревьев и кустарников в 3 раза быстрее почвенного опробования.

Большие работы по внедрению в практику биогеохимических поисков в производственном масштабе выполнены ПГО «Бурятгеология». В частнос-

ти, 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 достигаются при опробовании крупных полигонов на закрытых ландшафтах.

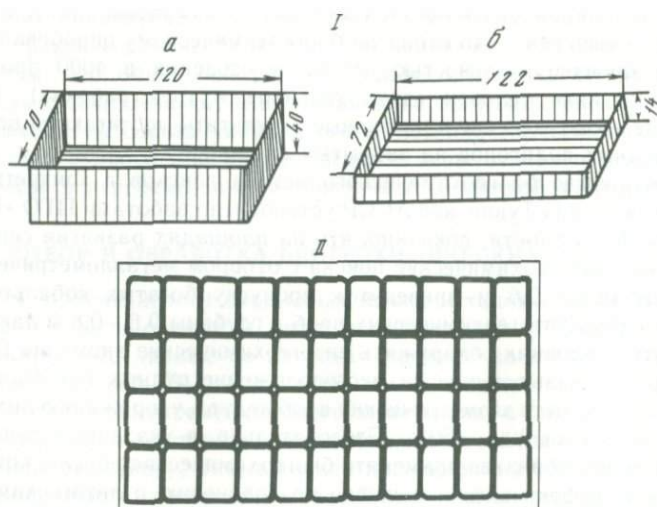
Преимущество биогеохимического метода поисков в конкретных ландшафтных условиях Тувинской АССР установлено работами ПГО «Краснояргеология». В частности, показано, что на площадях развития серых горнолесных почв литогеохимические поиски с отбором металлометрических проб с глубины менее 0,6 м приведут 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 Co, Ni, Cu, As, Pb и Zn, указывающие на местоположение рудных тел. Однако такие глубины отбора металлометрических проб ведут к удорожанию литогеохимических поисков на 300—460%. Следовательно, в указанных ландшафтных условиях целесообразнее применять биогеохимические поиски, которые оказываются и эффективнее и дешевле по сравнению с литогеохимическими, когда отбор проб нужно проводить из почвогрунтов с глубины 0,6—0,8 м [Захаров, 1969б].

Что касается затрат времени на обработку биогеохимических проб и подготовку их к спектральному анализу, то они в настоящее время также меньше, чем требуется на обработку и подготовку литогеохимических проб. Так, еще в 1964 г. В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина [1964] отмечали, что производительность озоления биогеохимических проб доведена до производительности обработки литогеохимических проб.

Большое значение для скорости подготовки проб к аналитическим работам имеют способы их озоления.

Л. И. Грабовская и Е. Д. Астрахан [1963] проводили озоление биогеохимических проб на двух противнях размером 40×40 см. Каждый противень имеет по 16 ячеек размером 5×20 см. Производительность этого способа сжигания до черной золы составляет 80 проб в день. В. В. Поликарпочкин и Р. Т. Поликарпочкина [1964] описывают способ, при котором высушенные и измельченные растительные пробы помещались в тигли и сжигались в муфельных печах до 20—30 проб в смену. Эти же исследователи описывают озолитель Е. А. Сергеева и озолительную печь В. И. Медведева, в которой можно сжигать до 150—200 проб в день. Д. П. Малюга [1963] озолял растительные пробы в алюминиевых чашках, которые ставились на керогаз, примус или непосредственно в костер. Используются другие полевые способы озоления проб биообъектов. Описываются различные печи и озолители, предложенные К. И. Жбановой и Э. Ф. Жбановым [1966], М. В. Солодянкиным и др. [1966], Е. П. Захаровым [1969б], А. Л. Ковалевским и О. М. Ковалевской [1969], позволяющие довести производительность озоления до 70—150 проб в день в расчете на одного лаборанта.

Однако существующие способы озоления имеют ряд недостатков: они требуют или измельчения и подсушки проб, или характеризуются невысокой производительностью, или используется громоздкое оборудование (печи, озолители и т. д.). Мы предложили более совершенный и производительный полевой способ озоления проб. Он заключается в сжигании растительных проб в медицинских стерилизаторах. Используются стерилизаторы, пред-



Р и с. 58. I. Внешний вид коробки (а) и крышки (б) медицинского стерилизатора, применяемого при озолении биогеохимических проб (размеры в мм). II. Схема расположения коробок стерилизаторов на противне из листового железа при озолении биогеохимических проб

ставляющие собой прямоугольную металлическую коробку со съёмной крышкой (рис. 58). Конструкция этого стерилизатора даёт возможность убирать из него приспособление для крепления шприца. Размеры пустой коробки $120 \times 70 \times 40$ мм, а крышки — $122 \times 72 \times 14$ мм, что позволяет загружать растительные пробы без дополнительного измельчения. На одной из сторон стерилизаторов металлическими метчиками выбиваются номера. Наполненные растительным материалом коробки ставятся на противень из листового железа толщиной 1 мм, а под ним разжигается костер. Размеры противня могут быть разными, но наиболее оптимальны такие, когда на противне можно сжигать до 100 проб одновременно. Прямоугольная форма коробок позволяет максимально использовать полезную площадь противня, располагая их в ряд, а незначительная толщина стенок (0,75 мм) обеспечивает быстрый нагрев и ускоренное горение проб. Крышками можно регулировать доступ кислорода к сжигаемым пробам.

Этот способ озоления исключает необходимость предварительной подсушки проб, поскольку при обычном горении костра сырые пробы успевают сгорать до черной золы за 1,5—2 ч. При возможности пробы перед сгоранием можно и подсушивать в естественных условиях. Содержание химических элементов в получающейся золе, как показал А. Л. Ковалевский [1966], не зависит от того, сжигаются пробы в сыром или сухом виде. После сгорания проб стерилизаторы убирают с противня, охлаждают в естественных условиях, а затем черную золу сыпают в бумажные пакеты из прочной бумаги (крафт) и сопровождают их необходимой документацией. Тигли с черной золой в муфельных печах доводятся до белой золы при температуре не свыше 450°C , чтобы сохранить некоторые летучие элементы.

В процессе сжигания проб в полевых условиях лучше пользоваться двумя противнями и набором стерилизаторов к ним, что даёт возможность

бригаде из трех человек сжечь до черной золы в смену до 400 проб, включая все подготовительные операции. Опыт показывает, что стерилизаторы могут выдерживать свыше 150 сеансов озоления. Затраты дров при этом не выше, чем при других полевых способах озоления.

Этот полевой способ сжигания проб из биообъектов до черной золы по сравнению с известными способами имеет много преимуществ: высокая производительность, простота, отсутствие необходимости измельчения проб, возможность сжигания проб без предварительного подсушивания, небольшая стоимость необходимого оборудования, его долговечность и простота конструкции. Важно, что в целом отбор и подготовка биогеохимических проб для спектрального анализа проще, дешевле и быстрее, чем литогеохимических проб.

Хотя в настоящее время описанные выше стерилизаторы изготавливаются предприятиями, выпускающими медицинское оборудование, изготовление аналогичных коробок с крышками могут без особых затрат освоить заводы, поставляющие геологоразведочное оборудование.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ БАЗЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЛОВА И ЕГО СПУТНИКОВ В БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОБАХ

В настоящее время аналитической основой определения олова и его спутников в биологических объектах является наиболее распространенный экспрессный эмиссионный спектральный анализ. При этом трудоемкость использования, чувствительность и воспроизводство определения концентрации элементов находится в зависимости от способа введения порошка в зону дугового разряда, т. е. используются метод просыпки и метод испарения из канала электрода, с применением приборов с большой дисперсией ДФС-8 и ДФС-13 [Бурдэ, Палагин, 1979]. Программы предусматривают в качестве общей и обязательной основы анализ методом просыпки 14 элементов с чувствительностью, %: Sn — $4 \cdot 10^{-5}$, W — $6 \cdot 10^{-4}$, Mo — $4 \cdot 10^{-5}$, Cu — $1 \cdot 10^{-5}$, Pb — $2 \cdot 10^{-4}$, Zn — $3 \cdot 10^{-4}$, Ag — $3 \cdot 10^{-6}$, As — $6 \cdot 10^{-3}$, Bi — $1 \cdot 10^{-4}$, Li — $2 \cdot 10^{-3}$, Co — $1 \cdot 10^{-4}$, P — $3 \cdot 10^{-2}$, Cr — $6 \cdot 10^{-4}$, Ni — $1 \cdot 10^{-4}$. Другие элементы определялись с чувствительностью, %: (V — $1 \cdot 10^{-3}$, Ti — $5 \cdot 10^{-4}$, Zr — $1 \cdot 10^{-3}$, Be — $1 \cdot 10^{-4}$, Sc — $3 \cdot 10^{-3}$, Y — $1 \cdot 10^{-3}$, Ga — $5 \cdot 10^{-4}$.

Эмиссионный спектральный анализ, исходя из его оперативности определения большинства элементов с достаточно высокой чувствительностью, дает вполне удовлетворительные результаты при биогеохимических поисках оловорудных месторождений [Гершман, Губанов, 1981]. Однако в ряде случаев, особенно при опытно-методических работах, требуется повышение чувствительности определения в биообъектах олова и его спутников. В этом случае большое значение имеет применение атомно-абсорбционного определения олова в биологических объектах, например, предложенный В. И. Ригиным [1979] метод беспламенного определения этого металла с электролитическим отделением и атомизацией в газовой фазе, а также ряд других методов [Атомно-абсорбционные ..., 1982].

Атомно-абсорбционная спектроскопия дает возможность определения многих элементов в одном образце растительных проб с высокой чувствительностью, например олова до 0,05 мкг/мл [Winefordner et al., 1975; West, 1979].

Большое значение при биогеохимических поисках имеет применение полевых рентгенорадиометрических методов анализа на олово [Соколов, 1976]. Эти методы, основанные на ядерно-физических параметрах исследуемого вещества с помощью переносной портативной аппаратуры, значительно повышают эффективность поисков за счет оперативности результатов.

Заслуживают внимания при проведении биопоисков методы определения металлов непосредственно в деревьях без традиционного отбора проб. Так, А. Л. Ковалевский и И. В. Томский [1980] определяли цинк во внешнем слое коры березы, лиственницы и сосны и в древесине торцов пней полевым рентгеновским анализатором БРА-6 на редкометальном месторождении. При фоновом содержании 0,003% была обнаружена локальная аномалия с концентрациями цинка 0,05—0,1%. Оказалось, что содержание цинка в коре живых деревьев и в древесине пней выше, чем на поверхности почвы, в 2—20 раз. Эти исследователи указывают также на возможность использования полевых рентгеновских анализаторов для экспрессных определений ряда металлов в золе растений, в частности, Sn, Zn, Pb, Cu, Mo, W, As, Nb и других элементов-индикаторов рудных месторождений.

Совершенствование аналитической базы при определении олова в биологических пробах, применение современных экспрессных полевых методов анализа с портативной аппаратурой, оперативная обработка аналитических данных с помощью вычислительной техники — все это ведет к более эффективному использованию методов биогеохимической индикации оловянного оруденения.

РАЗРЕШАЮЩИЕ ВОЗМОЖНОСТИ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ ОЛОВОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Одним из преимуществ биогеохимических поисков рудных месторождений вообще и оловорудных в частности является их глубинность вследствие проникновения корневых систем растений в почвогрунты. Как отмечалось выше, в этом отношении корни растений, благодаря максимальной глубине их проникновения, играют роль своего рода природного «бурильного» аппарата, указывают на рудные залежи под покровными отложениями мощностью до 50—90 м [Виноградов, 1954]. Естественно, таких глубин корни вряд ли достигают, но для накопления химических элементов в растениях существенное значение имеют грунтовые воды, дренирующие оруденение и выносящие за счет капиллярного подъема в приповерхностные горизонты зоны гипергенеза и почвы (т. е. к корням) олово и сопутствующие металлы в виде ионов или комплексных соединений, доступных для растений.

Вопрос об оптимальных условиях применения биогеохимических методов является одним из важных с точки зрения эффективности поисков. В первую очередь, имеются в виду такие условия, где применение других геохимических методов, например литогеохимического, не дает положительных результатов, или биогеохимические методы имеют определенное преимущество перед другими методами поисков.

Систематизируя опыт наших биогеохимических исследований на оловорудных полях и материалы других авторов, можно утверждать, что биогеохимические методы поисков оловянных руд на территории нашей страны целесообразно применять в следующих случаях: 1) для обнаружения слепых

оловорудных тел, сопровождающихся закрытыми первичными и вторичными литогеохимическими ореолами рассеяния олова и его спутников; 2) в районах с интенсивным выщелачиванием верхних горизонтов современной коры выветривания и почв, когда литогеохимическое опробование с глубин, рекомендуемых Инструкцией [1983], не эффективно; 3) на площадях с мощной, преимущественно элювиальной современной корой выветривания (автохтонные образования) со слабо выраженными или отсутствующими близповерхностными экзогенными ореолами рассеяния олова; 4) на территориях, покрытых аллохтонными наносами разного генезиса: аллювиальными, делювиальными, курумными, моренными, флювиогляциальными, эоловыми; 5) на заболоченных равнинных пространствах и дальневосточных марях; 6) в зоне многолетней мерзлоты; 7) при поисках в зимних условиях; 8) в ландшафтах пустынь и полупустынь; 9) в горных и высокогорных районах на площадях развития крупноглыбовых современных образований при отсутствии в приповерхностных слоях мелкозема.

Особое внимание на оценку условий применения биогеохимических поисков следует обратить на территории Сибири и Дальнего Востока, где имеются площади, перспективные на обнаружение оловорудных месторождений. Здесь встречаются почти все указанные выше ландшафтные обстановки (за исключением пустынь), где биопоиски оловянных руд могут дать положительные результаты, особенно в краевых частях межгорных мезозойско-кайнозойских впадин со значительной мощностью аллохтонного чехла рыхлых покровных отложений.

По ландшафтно-геоморфологическим особенностям оловоносных территорий Востока СССР, исходя из рационального применения комплекса поисковых методов, в том числе и биогеохимического, С. Ф. Лугов и др. [1979] выделяют два типа районов, относящихся к разным биоклиматическим зонам.

1. Северо-Восток СССР, где преобладают районы среднегорья и низкогогорья, расположенные в холодной зоне с развитием многолетней мерзлоты. Несмотря на слабое развитие процессов химического выветривания и преобладание физического выветривания, биогеохимические ореолы рассеяния олова здесь имеют место, и их можно с успехом использовать при поисках не только коренных, но и россыпных оловянных руд, что убедительно доказал В. М. Питулько [1977].

2. Приморье, Приамурье и Забайкалье — это также районы среднегорья и низкогогорья, расположенные в умеренно влажной зоне. Поэтому химические процессы выветривания здесь преобладают, и биогеохимические ореолы рассеяния олова выражены достаточно четко, что показано нами на многочисленных оловорудных месторождениях и рудопроявлениях Дальнего Востока, а сибирскими исследователями — на примере оловянных месторождений Забайкалья.

В пределах выделенных групп районов встречаются самые разнообразные ландшафты с наличием оловянного оруденения разного генетического типа, относящиеся к различным формациям — касситерит-кварцевой, касситерит-силикатной, касситерит-сульфидной. Поэтому представляется возможность широкого использования всех описанных выше методов биогеохимической индикации оловянной минерализации применительно к конкретным участкам поисков, в зависимости от их ландшафтных особенностей и генетического типа предполагаемого оруденения.

Опыт показывает, что в условиях Востока СССР биогеохимические методы поисков оловянных руд можно применять как автономно, так и в комплексе с другими геохимическими методами, особенно в горных районах с крупноглыбовыми склоновыми образованиями, на заболоченных территориях, в мерзлотных ландшафтах и в межгорных впадинах, заполненных аллохтонными рыхлыми отложениями.

Надо отметить, что биогеохимические поиски оловянного оруденения можно проводить и по открытым ореолам рассеяния, благодаря резкой контрастности возникающих биогеохимических аномалий олова, четко фиксирующих эпицентры залегания рудных тел по сравнению с малоконтрастными, значительно смещенными литогеохимическими аномалиями.

Исключительно большой интерес с точки зрения проведения биопоисков олова представляет зона БАМа, где, кроме обычных, широко развиты мерзлотные ландшафты. Поэтому здесь возможно успешное применение криобиогеохимического метода поисков.

ПРОГНОЗ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ТИПА ОЛОВЯННОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПО БИОГЕОХИМИЧЕСКИМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ ОЛОВА И ЕГО СПУТНИКОВ

Прогнозирование первичного оруденения, особенно его интенсивности и генетических особенностей по биогенным ореолам и аномалиям олова пока почти не разработано. Между тем вопрос этот имеет важное научное и прикладное значение. Как показывает наш опыт биогеохимических исследований, каждому генетическому типу оловянного оруденения свойственна своя ассоциация элементов-спутников олова, накапливающихся в биообъектах, отражающая первичный состав минерализации. Более того, контрастность биогеохимических аномалий олова и его спутников непосредственно свидетельствует об особенностях минерального состава оловянных руд и индикаторной роли сопровождающих оруденение металлов.

Например, высококонтрастные биогеохимические аномалии олова с высокими значениями КБП формируются на оруденениях с мелкозернистым и тонкодисперсным колломорфным касситеритом. Выявленные такие биоаномалии могут указывать на то, что первичное оруденение относится к кварц-касситеритовому или к касситерит-турмалиновому типу с присутствием в руде «деревянистого олова».

В других случаях достаточно контрастные биогеохимические аномалии олова, но с низкими значениями КБП, могут свидетельствовать об оруденении сульфидно-касситеритового типа с крупнозернистым касситеритом.

Однако наибольшую информативность несут геохимические ассоциации металлов в растениях-спутниках олова. Например, устойчивая ассоциация: Pb, Zn, Cu, Ag, Mo в биообъектах свидетельствует о сульфидно-касситеритовом, касситерит-полиметаллическом и касситерит-скарновом оруденениях. Однако появление в растениях дополнительных индикаторов металлов позволяет конкретизировать первичное оруденение. Так, дополнительные биоаномалии As свидетельствуют о сульфидно-станнино-касситеритовом типе оруденения, а биоаномалии Mn, Ga, частично Ni и Co — о касситерит-полиметаллическом.

Весьма характерно, что халькофильные металлы — Pb, Cu, Zn, Ag практически не дают биоаномалий на генетических типах оловянного оруденения

касситерит-силикатной формации. Зато здесь индикаторами в растениях выступают другие элементы: Li и Be указывают на касситерит-пегматитовый тип, Zr — на касситерит-грейзеновый; ассоциация: Y, Li, Ga, Be — на касситерит-редкометалльный, Ti, V, Mo — на касситерит-скарновый.

Высокие содержания в растениях Sc, Bi, W, Co свидетельствуют о касситерит-вольфрамит-турмалиновом типе минерализации.

Четко выраженные биоаномалии сульфидных металлов — Pb, Cu, Zn и Ag, а также Ba, Sr и Ti указывают на касситерит-хлоритовый тип минерализации.

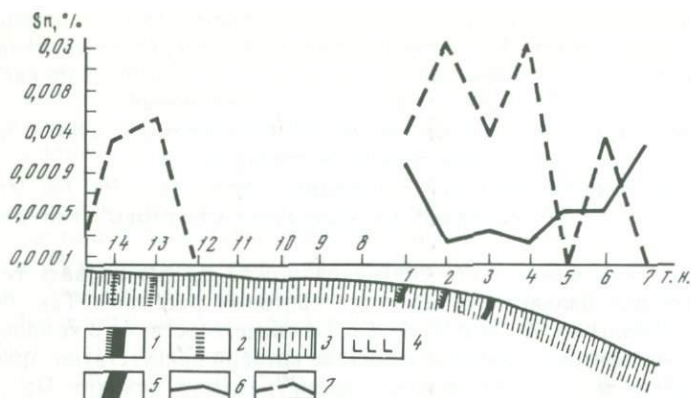
По биоаномалиям олова и его спутников можно прогнозировать генетический тип и минеральный состав касситеритовых россыпей. Так, биогеохимические ореолы Sn, Zr, Mo, W, Ti, Cr, La свидетельствуют о комплексной касситерит-шеелитовой россыпи, в составе которой присутствуют другие полезные компоненты — циркон, рутил, ильменит, хромит, монацит. Причем биогеохимические аномалии Mo на россыпях этого генетического типа связаны с химическим выветриванием молибденсодержащего шеелита.

Весьма интересная и специфичная биогеохимическая ассоциация металлов установлена в растениях на базальтах, где, кроме Sn, формируются биоореолы рассеяния главных для базальтов металлов — Ni, Ti, Mn, Sr, Ba. Поэтому, если в процессе поисков будут установлены биоаномалии отмеченных металлов в совместной ассоциации, то они естественно будут говорить о наличии на участке работ перекрытых залежей базальтоидов, содержащих акцессорную примесь самородного олова.

Таким образом, установленные первые предварительные сведения о возможности прогноза генетического типа первичного оловянного оруденения по биогеохимическим ореолам рассеяния олова и его спутников заслуживают внимания и дальнейшей разработки.

ОПЫТ ВЫЯВЛЕНИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ И РУДОПРОЯВЛЕНИЙ ОЛОВА

За последние годы получены многочисленные материалы по выявлению рудопроявлений и месторождений цветных, редких металлов и рассеянных химических элементов биогеохимическими методами как в нашей стране, так и за рубежом [Виноградов, 1954; Ткалич, 1959, 1970; Малога, 1963; Поликарпочкин, Поликарпочкина, 1964; Грабовская, 1965; К. И. Лукашев, В. К. Лукашев, 1967; Мицкевич, 1965, 1971; Талипов, 1966; Разин, Рожков, 1966; Захаров, 1969а; Ковалевский, 1974б, 1975б, 1984; Ковалевский, Ковалевская, 1979; Ивашов, 1976в; Скарлыгина-Уфимцева и др., 1976; Хокс, Уэбб, 1964; Левинсон, 1976; Вгоокс, 1972]. При этом оказалось, что вероятность обнаружения рудных тел биогеохимическими методами в ряде случаев выше, чем литогеохимическим, поскольку высоконтрастные биогеохимические аномалии в растениях фиксируют наличие оруденения и там, где оно может быть установлено литогеохимическим методом, и там, где применение литогеохимии бесполезно (т. е. в условиях заболоченных пространств с мощными торфяниками, рыхлых покровных образований, крупноглыбовых, курумообразных склоновых накоплений, в пустынях, а также во время проведения работ в зимний период и т. д.). Иными словами, если на перспективных участках, где возможно применение геохимических методов вообще, предположительно имеется та или иная рудная минерали-



Р и с. 59. Оловорудные жилы, зафиксированные с помощью биогеохимического метода на фланге основной рудной зоны сульфидно-касситеритового месторождения (профиль V)

1, 2 — оловорудные жилы: 1 — выявленные, 2 — предполагаемые; 3 — алевролитопесчаники; 4 — дайка порфирита; 5 — рудная жила, местоположение которой было известно до постановки биогеохимических поисков; 6, 7 — содержание олова: 6 — в почвах, 7 — в растениях

зация, то при биогеохимических поисках последняя будет безусловно отражена биогенными ореолами рассеяния и биогеохимическими аномалиями внутри них.

Не является исключением и оловорудная минерализация, которая, как показывает наш опыт, также фиксируется биогеохимическими аномалиями [Ивашов, 1976в]. Однако несомненно важное прикладное значение имеют биоаномалии олова, неизвестные до постановки поисковых работ и выявленных автономно биогеохимическими методами. Такие исследования мы также проводили и получили положительные результаты.

Так, при биогеохимических исследованиях на касситерит-станнино-сульфидном месторождении (Южное Приморье) по профилю V (рис. 59) в т.н. 1 и 2 мы выявили неизвестные 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 выявленных биогеохимических аномалий, 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%. 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 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 при чувствительности анализа 0,0001%. При этом в данных точках биогеохимические аномалии выявились по древесному растению, имеющему глубокую корневую систему, которая позволяет поглощать ионы олова не только из почв, но и непосредственно из окисленных руд. Поэтому есть все основания предполагать, что данная биогеохимическая аномалия 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 мы выявили дополнительные сульфидно-касситеритовые рудопоявления, зафиксированные биогеохимическими аномалиями с контрастностью от 3 до 30 единиц. Совершенно очевидно, что литогеохимия с чувствительностью анализа на олово 0,001% дала на этом участке отрицательные результаты. Отсюда можно сделать вывод, что изучение в настоящее время флангов известных оловорудных месторождений Дальнего Востока с помощью литогеохимического метода в ряде случаев дает отрицательные оценки прироста запасов руд, особенно глубоко залегающих от поверхности рудных тел, и на перспективных по геологическим соображениям участках (продолжение рудоносных структур, развитие экранирующих пород и т. д.) использование литогеохимических методов может привести к отрицательной оценке результатов поиска. Следовательно, бытующее в настоящее время у геологов-поисковиков мнение об универсальности литогеохимического метода поиска 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.

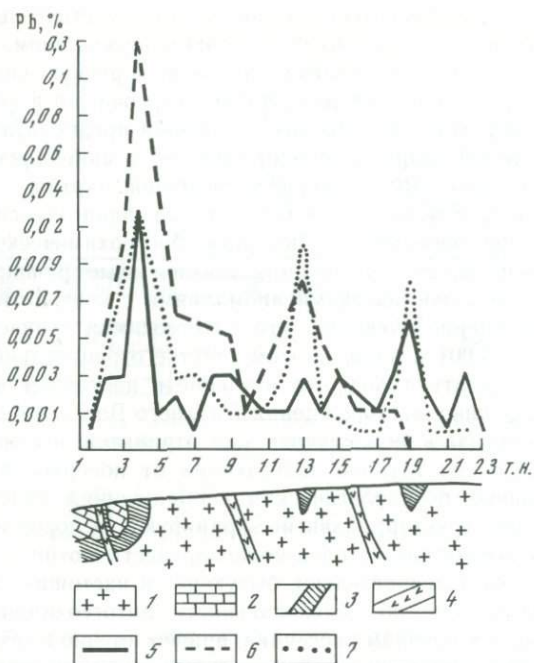
Как отмечалось выше, неизвестные оловорудные жилы были зафиксированы нами с помощью биогеохимического метода и на других объектах.

Так, оловорудная жила была установлена в т.н. 1 по биогеохимическому профилю на рудопоявлении касситерит-скарнового типа, т. е. на фланге основной рудной зоны, наличие которой до проведения биогеохимических исследований не предполагалось (рис. 26). Жила, перекрытая аллохтонными образованиями мощностью до 2 м, выявлена по биоаномалиям в растениях не только Sn, но и его спутников — Pb, Cu, Ni, Ti, V, Cr и др.

Также на фланге касситерит-грейзенового месторождения были установлены неизвестные биоаномалии олова, находящиеся на расстоянии до 400 м от основной зоны оруденения (т.н. 21 и 28), и предполагаемые рудные жилы перекрыты озерно-аллювиальными отложениями мощностью до 3 м (см. рис. 28). Весьма характерно, что олово установлено только в древесине и ветвях березы даурской от 0,003 до 0,01%, обладающей хорошо выраженной корневой системой. Помимо олова, также по пробам из березы установлены биоаномалии его спутников — Be, Zr, Mo, Pb.

По биогеохимическим аномалиям Sn и его спутникам — Pb, Cu, Zn, W, Bi, Be, Sc, Co и Ag установлено залегание рудной жилы на рудопоявлении касситерит-вольфрамит-турмалинового типа минерализации (см. рис. 31). Хотя на данном объекте формируются открытые ореолы рассеяния металлов, но из-за крупноглыбового элювио-делювия значительной мощности и вследствие отсутствия мелкозема для отбора литогеохимических, а также шлиховых проб применение других геохимических методов поисков, в частности литогеохимического, затруднено.

Данные по установлению рудопоявлений по биогеохимическим анома-



Р и с. 60. Биогеохимические аномалии свинца на известном (т. н. 4) и предполагаемых (т. н. 13, 19) рудных телах полиметаллического месторождения

1 — граниты; 2 — мрамор; 3 — скарны; 4 — дайки кварцевых порфиров; 5—7 — кривые содержания свинца: 5 — в ветвях чубушника тонколистного, 6 — в древесине аралии маньчжурской, 7 — в надземной части страусопера германского

лиям на флангах основного рудного тела были получены нами в Южном Приморье, на одном из полиметаллических месторождений (рис. 60). Здесь на профиле, заданном вкрест простираения рудной зоны, в т.н. 13 и 19 (кроме основного рудного тела в т.н. 4) были выявлены дополнительные контрастные биогеохимические аномалии по свинцу, соответствующие рудным жилам, не отраженным на поисковой карте разведочной партии. Предполагаемые рудные жилы являются продолжением основных рудоносных структур данного месторождения. При этом следует отметить то обстоятельство, что над основным рудным телом (т.н. 4) биогеохимические аномалии контрастны и четко выражены по всем трем видам растений, но наиболее резкая аномалия образована аралией маньчжурской. На выявленных рудопроявлениях аномалии наиболее четки по папоротнику-страусоперу германскому, содержащему в золе до 0,009% Pb, контрастность же достигает 9 единиц. Обнаруженные биогеохимическим методом рудопроявления в т.н. 13 и 19 были одновременно зафиксированы и литогеохимическими аномалиями с наибольшим содержанием Pb до 0,02% (при фоне по горизонту ВС — 0,01%). Однако контрастность их (2 единицы) значительно ниже контрастности биогеохимических аномалий.

Следует отметить, что на данном месторождении Sn обнаружен в ветвях ивы Радде, в листьях мааки амурской и в ветвях чубушника тонко-

листного с содержанием 0,0005—0,001% только непосредственно над известным рудным телом (т.н. 4) и над предполагаемыми рудными жилами (т.н. 13, 19). Следовательно, несмотря на акцессорное содержание Sn в рудах, оно оказалось хорошим биоиндикатором пирротин-галенит-сфалеритовой минерализации.

Таким образом, полученный опыт установления неизвестных рудопроявлений на флангах рудных тел касситерито-станнино-сульфидного, касситерит-грейзенового, касситерит-вольфрамит-турмалинового и полиметаллического месторождений по биогеохимическим аномалиям свидетельствует о том, что биопоиски можно с успехом применять для фиксации не только крупных оловорудных залежей, но и маломощных и относительно глубоко-залегающих рудопроявлений, которые не улавливаются литогеохимическим методом в таких условиях, где последний, казалось бы, должен был бы установить надрудную литогеохимическую аномалию. Это еще раз свидетельствует о том, что если имеется оловорудная минерализация в определенных ландшафтных условиях, пригодных для применения биогеохимического метода, она бесспорно будет зафиксирована биогеохимическими ореолами рассеяния. При этом надо всегда помнить одно важное обстоятельство, заключающееся в том, что сущность биогеохимического метода поисков рудных месторождений вообще и оловорудных в частности — метода, к которому ряд геологов-производственников до сих пор относится скептически, — можно опорочить, если биогеохимический метод применять формально или на заведомо бесперспективных, безрудных площадях. Поиски рудных месторождений, в том числе и биогеохимические, прежде всего искусство, и руду можно обнаружить в земной коре лишь там, где она есть.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В СССР наиболее крупные разрабатываемые месторождения олова касситерит-сульфидной и касситерит-силикатной формации и перспективные рудные площади находятся на востоке страны, в пределах Тихоокеанского рудного пояса. Поэтому наибольшую актуальность разработка научных основ методов биогеохимической индикации оловянной минерализации приобретает в условиях Дальневосточного региона. Здесь имеются самые различные генетические типы оловянного оруденения и, следовательно, есть возможность широкого проведения опытно-методических биогеохимических исследований в разнообразных природных горно-геологических и ландшафтно-геохимических условиях.

Наш многолетний опыт разработки научных основ и практических приемов биогеохимической индикации оловянной минерализации позволяет сделать следующие выводы.

1. Любой генетический тип касситеритового оруденения сопровождается биогеохимическими ореолами и биоаномалиями олова и сопутствующих металлов, несмотря на исключительную устойчивость касситерита к процессам химического выветривания в зоне гипергенеза.

2. Биогеохимические методы более чувствительны к индикации олова даже по открытым ореолам рассеяния, не говоря уже о закрытых ореолах, т. е. погребенных под рыхлыми отложениями (по сравнению с литогеохимией за счет озоления и, следовательно, обогащения биогеохимических проб).

3. Биогеохимия точнее фиксирует местоположение эпицентров оловорудных жил на крутых залесенных склонах по сравнению с литогеохимией, и при масштабе поисков 1 : 2 000 эта точность по сравнению с литогеохимией повышается на 80—100 м.

4. Опытными исследованиями на оловорудных месторождениях Востока СССР показано, что олово не дает ложных биогеохимических аномалий, не связанных с оруденением, даже на существенно касситеритовых типах оруденения.

5. Применение биометодов индикации оловянной минерализации может быть успешным как на стадии рекогносцировочной оценки перспектив того или иного региона, т. е. при выявлении рудных зон, так и на стадии детальных поисков — при выявлении отдельных рудных тел и жил на перспективных участках и флангах оловорудных месторождений. В этом смысле благодаря высоким индикаторным свойствам биогеохимия олова приобретает новый важный практический аспект — дает возможность провести

ревизию известных, но старых, заброшенных, малоперспективных с точки зрения литогеохимии площадей, опоскорованных много лет назад. Это позволяет заново оценить перспективы обнаружения новых оловорудных месторождений биогеохимическими методами, в первую очередь на территории Сибири и Дальнего Востока, в пределах Тихоокеанского рудного пояса.

6. Для биогеохимического опробования на участках поисков пригоден практически любой органический материал биологического происхождения, т. е. флористической или фаунистической природы, независимо от его состояния, т. е. живых или отмерших организмов и продуктов их метаболизма. Однако при этом необходимо учитывать информативность и безбарьерность биообъектов в поглощении и накоплении олова.

7. Разработанное новое научное направление в поисковой геохимии — индикация оловянного оруденения биогеохимическими и биологическими методами — дает возможность широко внедрять в практику биопоиски и открывать новые оловорудные месторождения на территории нашей страны.

8. Оловорудная минерализация успешно фиксируется биогеохимическими методами не только непосредственно по олову, но и по его спутникам — элементам-индикаторам применительно к тому или иному генетическому типу оруденения.

9. Установленный широкий диапазон содержания олова в растениях во всех ландшафтно-климатических зонах земной поверхности свидетельствует о высокой биофильности олова как тяжелого металла и указывает, возможно, на его неизвестные до сих пор биогенные функции в живых организмах.

10. Некоторые растения, например мхи и лишайники, можно использовать как тест-объекты для оценки состояния загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, особенно при добыче оловянно-полиметаллических руд, содержащих примеси токсичных тяжелых металлов — As, Hg, Sb, Pb, Cd и др.

11. Впервые установлено содержание олова в растениях, распространенных на базальтовых массивах, которые считаются «стерильными» с точки зрения оруденения. Тем не менее присутствие в этих породах рассеянного акцессорного самородного олова резко сказывается на значительном поглощении этого металла растениями, в результате чего были выявлены новые, неизвестные до сих пор черты биогеохимии олова.

Проведенные исследования и полученные результаты имеют важное научно-методическое и прикладное значение для выявления общих закономерностей в геохимии и биогеохимии олова в зоне гипергенеза и биосфере. Установленные растения-концентраторы олова значительно расширяют диапазон применения биопоисков оловянных руд разного генетического типа в пределах не только Дальнего Востока, начиная от лесотундры Крайнего Северо-Востока и кончая широколиственными лесами Южного Приморья, но и других регионов страны, а также за рубежом. Кроме того, разработанные методы биогеохимической индикации оловянной минерализации найдут широкое применение в оценке состояния и прогноза изменения окружающей среды под влиянием техногенных потоков оловосодержащего минерального вещества.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеева-Попова Н. В.* Элементарный химический состав растений Приполярного Урала, произрастающих на разных горных породах // Ботан. журн. 1970. Т. 55, № 9. С. 1304—1315.
- Алексеева-Попова Н. В.* Содержание химических элементов в растениях Полярного Урала в связи с проблемой серпентинитовой растительности: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1972. 24 с.
- Алексеевко В. А., Войткевич Г. В.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1979. 312 с.
- Алексеевко В. А., Хованский А. Д., Клевцов С. Ф.* Особенности применения биогеохимических методов при поисках редких элементов в условиях сухих степей // Изв. вузов. Геология и разведка. 1976. № 10. С. 94—101.
- Алещукин Л. В.* Влияние подзолисто-иллювиального и болотного процесса на содержание и распределение микроэлементов в почвах района Порос-озеро (Карелия) // Геохимия ландшафтов древних массивов. М.: Моск. фил. Геогр. о-ва СССР. 1976. С. 25—34.
- Алещукин Л. В., Поляков А. Н.* Геохимические особенности ландшафта конечных моренных гряд Калининской области // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. 1969. № 1. С. 114—118.
- Андреанова Г. А.* Биогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых // Тр. Биогеохим. лаб. Ин-та геохимии и аналит. химии АН СССР. 1979. Вып. 17. С. 163—170.
- Антропова Л. В.* Геохимические поиски глубокозалегающих рудных месторождений по металлоорганическим формам нахождения элементов // Геохимические методы поисков рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1982. Ч. 2. С. 157—160.
- Атанасов А. Н.* Биогеохимические (ботанические) методы поисков полезных ископаемых // Природа. С., 1957. Вып. 10, кн. 7. С. 20—21.
- Атомно-абсорбционные методы анализа минерального сырья. М.: ВИМС, 1982. 100 с.
- Бабичка И.* Золото в организмах // Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Изд-во иностр. лит. 1954. С. 373—426.
- Бабурин А. А.* Особенности распределения корневых систем травянистых растений в хвойно-широколиственных лесах Дальнего Востока в связи с биогеохимическими поисками рудных месторождений // Биогеохимия зоны гипергенеза. М.: Наука, 1971. С. 104—118.
- Бадалов С. Т.* Геохимические циклы важнейших рудообразующих элементов. Ташкент: Фан. 1982. 168 с.
- Бакиров А. Г., Малахов А. А., Матвеев В. С.* Да, биофизический метод существует // Геология руд. месторождений, 1976. № 4. С. 116—120.
- Барсуков В. Л.* Основные черты геохимии олова. М.: Наука, 1974. 150 с.
- Барсуков В. Л., Григорян С. В., Овчинников Л. Н.* Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Наука, 1981. 318 с.
- Барсуков В. Л., Дурасова Н. А., Кравцова Р. Ц.* Изучение распределения олова в вулканических породах Исландии и Срединно-Атлантического подводного хребта // Магмообразование и его отражение в вулканическом процессе. М.: Наука, 1977. С. 161—173.
- Баумштейн Р. А., Кунцица В. И., Волосиков Р. Н.* Условия ведения и методика геохимических поисков в Читинском Прибайкалье // Повышение эффективности геохимических методов поисков в зоне БАМ. Новосибирск: Наука, 1981. С. 57—63.

- Башаркевич И. Л., Костин Ю. П., Мейтов Е. С.* Средние содержания малых химических элементов в ископаемых углях // VIII Междунар. конгр. по орган. геохимии: Тез. докл. М.: Наука, 1977. Т. 1. С. 104—105.
- Безверхний М. П., Щекин Б. М., Червяков Б. Е.* Опыт применения геохимических методов поисков редкометалльных месторождений в Забайкалье // Вестн. науч. информ. Забайк. отд. Георг. о-ва СССР. Чита, 1965. С. 57—59.
- Белякова Е. Е., Васильева Н. Н., Гравовская Л. И.* Методические указания по геологической съемке масштаба 1:50 000. // Биогеохимические и геоботанические исследования. Л.: Недра, 1972. Вып. 11. 280 с.
- Белякова Е. Е., Резников А. А., Крамаренко Л. Е.* Гидрохимический метод поисков рудных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 268 с.
- Белякова Е. Е., Резников А. А., Крамаренко Л. Е.* Гидробиохимические процессы и их роль в миграции элементов в зоне гипергенеза // Материалы к совещанию по геохимии гипергенеза. Минск: Наука и техника, 1964. С. 88—90.
- Берегиллова В. В.* Характеристика экзогенных ореолов рассеяния танталосных апогранитов в условиях таежных ландшафтов // Сов. геология. 1967. № 6. С. 110—123.
- Берегиллова В. В.* Вторичные [экзогенные] литогеохимические ореолы рассеяния месторождений тантала // Геохимические поиски эндогенных месторождений элементов (на примере тантала). М.: Недра, 1968. С. 144—183.
- Беус А. А., Гравовская Л. И., Тихонова Н. В.* Геохимия окружающей среды. М.: Наука, 1976. 248 с.
- Беус А. А., Григорян С. В.* Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1975. 280 с.
- Биогеохимические и геоботанические исследования. Л.: Недра, 1972. 280 с.
- Болотников А. Ф., Кравченко Н. С., Крутов Н. К.* Магматизм и рудоносность Баджальского района. Хабаровск: Кн. изд-во, 1975. 321 с.
- Большаков А. П., Дьякова Н. И., Птушко Л. И.* К фитогеохимии ртути // Биогеохимия растений. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. С. 183—189.
- Бордон В. Е., Заржицкий Г. Ф., Матрунчик Л. И.* О методике и результатах биогеохимических и гидрогеохимических поисков рудных полезных ископаемых в пределах БССР // Применение ландшафтно-геохимических методов исследований в Прибалтике и Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1972. С. 16—22.
- Бордон В. Е., Заржицкий Г. Ф., Матрунчик Л. И.* О биогеохимических методах поисков в условиях лесного и болотно-лесного ландшафтов Белоруссии // Вопросы применения геохимии ландшафта при поисках рудных месторождений. Алма-Ата: КазИМС, 1973. С. 131.
- Боровик С. А., Ратынский В. М.* Олово в углях Кузнецкого бассейна // ДАН СССР. 1944. Т. 45, № 3. С. 128—129.
- Брукс Р. Р.* Загрязнение микроэлементами // Химия окружающей среды. М.: Химия, 1982. С. 371—413.
- Бурдэ Б. И., Палагин А. В.* Геохимические исследования при геологосъемочных работах в зоне БАМ // Новое в методике и организации геохимических поисков. М.: ИМГРЭ, 1979. С. 25—36.
- Бурксер Е. С.* Биогеохимические исследования на Украине // Геол. журн. 1953. № 1. С. 78—80.
- Бурксер Е. С., Мицкевич Б. Ф.* Геохимические методы поисков редких элементов // ДАН УССР. 1960. № 3. С. 349—352.
- Былино Л. В., Заржицкий Г. Ф., Бордон В. Е.* и др. Применение геохимических методов при поисках полезных ископаемых на территории Прибалтики и Белоруссии // Сов. геология. 1972. № 4. С. 124—127.
- Вадковская И. К., Качан Л. М., Жук М. З.* Тяжелые металлы в растительности Белорусского Полесья // Материалы техногенно-геохимического изучения ландшафтов Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1981. С. 48—57.
- Василенко В. П., Бурого А. И.* Применение геохимических методов при поисках оловянного и вольфрамового оруденения на территории Приморского края // Геохимические методы при поисках месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во 1975. С. 23—25.
- Васильев Н. Е., Скрипченко А. Ф.* Концентрация микроэлементов олова, свинца, цинка, меди, марганца, никеля и бария лесной растительностью на оловорудном месторождении (Западный Сихотэ-Алинь) // Микроэлементы в растениях Дальнего Востока. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1972. С. 66—73.

- Васильева Н. Н., Грабовская Л. И., Загребина Н. Л., Белякова Е. Е. Химический (элементарный) состав растений // Биогеохимические и геоботанические исследования. Л.: Недра, 1972. С. 72—154.
- Васильева Н. Н., Загребина Н. Л. Опыт применения биогеохимического метода при поисках месторождений полезных ископаемых в равнинных и высокогорных условиях // Материалы к совещанию по геохимии зоны гипергенеза. Минск: Наука и техника, 1964. С. 92—93.
- Вебб И. С. Обзор достижений США в области геохимических поисков и рекомендации по геохимии для будущих работ в Великобритании // Геохимические методы поисков рудных месторождений: Пер. с англ. Л.: ВИТР, 1958. С. 26—55 (Методика и техника разведки; Сб. 13).
- Вербицкий В. П. Возможности использования наледей при поисках месторождений полезных ископаемых // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Магадан: Кн. изд-во, 1980. № 25. С. 24—25.
- Вернадский В. И. Биосфера, Л.: Науч.-техн. изд-во, 1926. 146 с.
- Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 375 с.
- Виноградов А. П. Геохимия живого вещества, Л.: Изд-во АН СССР, 1932. 67 с.
- Виноградов А. П. Химический элементарный состав организмов и периодическая система Д. И. Менделеева // Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР. 1935. Вып. 3. С. 5—30.
- Виноградов А. П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой // Микроэлементы в жизни растений и животных. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С. 7—20.
- Виноградов А. П. Поиски рудных месторождений по растениям и почвам // Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР 1954. Вып. 10. С. 3—27.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 237 с.
- Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555—571.
- Виноградов А. П. Об уровнях содержания микроэлементов в растениях в связи с их систематическим положением // Агрохимия. 1965. № 8. С. 20—31.
- Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. 216 с.
- Виноградов А. П., Малюга Д. П. Биогеохимические методы поисков рудных месторождений // Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1957. С. 290—300.
- Витвицкий Г. Н. Климат // Южная часть Дальнего Востока. М.: Наука, 1969. С. 70—96.
- Вишневский А. С. К минералогии и геохимии олова в зоне гипергенеза // Геол. журн. АН УССР. 1959. Т. 19, вып. 1. С. 26—36.
- Власюк П. А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений. Киев: Наук. думка, 1969. 516 с.
- Войнар А. И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Высш. шк., 1960. 544 с.
- Волосиков Р. Н., Напартэ В. А. Опыт биогеохимического опробования в горно-таежных мерзлотных ландшафтах Забайкалья // Геохимические методы при поисках месторождений олова, вольфрама, ртути. Владивосток: Кн. изд-во, 1975. С. 202—203.
- Воробьев Д. П. Дикорастущие деревья и кустарники Дальнего Востока. Л.: Наука, 1968. 277 с.
- Воробьев С. А., Шваров Ю. В. Программы для обработки геохимических данных на микрокалькуляторах. М.: Недра, 1984. 103 с.
- Гаврилов В. И., Малямин Н. Е. Опыт применения шлихо-геохимического метода опробования на Дальнем Востоке. М.: ВИЭМС, 1975. С. 7—13. (Экспресс-информ. ВИЭМС. Геология. Методы поисков и разведки месторождений металлических полезных ископаемых; № 2).
- Гаврилов В. И., Онихимовский В. В. О золоте и олове в базальтах // ДАН СССР. 1978. Т. 239, № 6. С. 1434—1436.
- Гаев А. Я., Шаповров И. А. Опыт применения биогеохимического метода поисков медноколчеданных руд в районе Тарньерского месторождения // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: Перм. политех. ин-т, 1970. С. 213—216.

- Галецкий Л. С., Викторова Н. А. Сравнительная оценка эффективности различных геохимических методов в условиях северо-западной части Украинского щита // Литогеохимические поиски рудных месторождений по их гипергенным ореолам и потокам рассеяния: Материалы к 1-й темат. сес. Междв. Совета по пробл. «Научные основы геохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых». Алма-Ата: КазИМС, 1968. С. 57—58.
- Геология и минеральные ресурсы Японии. М.: Изд-во иностр. лит. 1961. 287 с.
- Геохимические методы поисков рудных месторождений: Библиогр. указ. лит. (1925—1963 гг.). М.: Наука, 1967. Вып. 2: Биогеохимические поиски. 96 с.
- Герасимовский В. И., Борисенко Л. А. О содержании олова в эффузивных породах рифтовых зон Восточной Африки // Геохимия. 1971. № 2.
- Герценберг Р. О коллоидной теории происхождения месторождений олова Боливии и о некоторых минералах этих месторождений // Минерал. сб. Львов. геол. об-ва 1956. № 10. С. 50—67.
- Гершман Д. М., Губанов В. А. Полуколичественный спектральный анализ при региональных геохимических исследованиях: (Методические рекомендации). Л.: ВСЕГЕИ. 1981. 65 с.
- Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных и редких металлов. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 300 с.
- Гинзбург И. И., Росман Г. И., Муканов К. М. Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов. М.: Недра, 1966. 296 с.
- Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964а. 230 с.
- Глазовская М. А. О биологическом круговороте элементов в различных ландшафтных зонах (на примере Урала) // Физика, химия, биология и минералогия почв СССР. М.: Наука, 1964б. С. 148—157.
- Глазовская М. А. Теория геохимических ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков рассеяния и анализу способности природных систем к самоочищению // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состоянии экосистем. М.: Наука, 1981. С. 7—41.
- Глазовская М. А., Макунина А. А., Павленко И. А. и др. Геохимия ландшафтов и поиски полезных ископаемых на Южном Урале. М.: Изд-во МГУ, 1961. 183 с.
- Глазовская М. А., Солнцева Н. П. Теория и методы геохимии ландшафтов в приложении к оценке состояния и картографированию загрязненных территорий // Использование геохимических методов при изучении загрязнения окружающей среды. М.: ИМГРЭ, 1984. С. 3—17.
- Глазовский Н. Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных систем. М.: Наука, 1982. С. 7—28.
- Глико О. А. Ландшафтные условия и применение поисковых методов // Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1968. Т. 1: Поиски. С. 278—322.
- Говоров И. Н. Геохимия рудных районов Приморья. М.: Наука, 1977. 252 с.
- Гольдшмидт В. М. Петерс К. О накоплении редких элементов в каменных углях // Сборник статей по геохимии редких элементов. М.; Л.: ГОНТИ. 1938. С. 41—53.
- Горкун В. Н., Радионова Р. И., Федорченко В. И., Шилов В. Н. О распределении некоторых малых элементов в лавах северной части хребта Вернадского на острове Парамушир (Курильские острова) // Петрохимические особенности молодого вулканизма. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 89—103.
- Гравовская Л. И. Особенности концентрации редких элементов растениями и их использование при биогеохимических поисках // Материалы к совещанию по геохимии гипергенеза. Минск: Наука и техника, 1964. С. 94—95.
- Гравовская Л. И. Биогеохимические методы поисков. М.: Госгеолком СССР, 1965.
- Гравовская Л. И. Биогеохимические ореолы рассеяния месторождений тантала // Геохимические поиски эндогенных месторождений редких элементов (на примере тантала). М.: Недра, 1968. С. 183—231.
- Гравовская Л. И., Астрахан Е. Д. Биогеохимические и геоботанические исследования при поисках редкометалльных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 64 с.
- Гравовская Л. И., Кузьмина Г. А. Опыт применения биогеохимического метода при поисках редкометалльных месторождений в районе развития сплошной многолетней мерзлоты // Вопросы прикладной геохимии. М.: Недра, 1971. Вып. 2. С. 98—108.

- Григорян С. В., Морозов В. И. Вторичные литохимические ореолы при поисках скрытого оруденения. М.: Наука, 1985. 239 с.
- Григорян С. В., Саег Ю. Е. Геохимические методы при решении некоторых экологических задач // Сов. геология. 1980. № 11. С. 94—108.
- Гринберг Г. А., Гамянин Г. Н., Одинокова В. М. Распределение олова, свинца, золота в позднемеловых магматических породах юго-западной части Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Вулканогенные и интрузивные формации Приморья. Новосибирск: Наука, 1976. С. 122—123.
- Гришко Я. М. Влияние производственной деятельности человека на миграцию токсических элементов в наружных слоях земной коры // Введение в геосистему. М.: Наука, 1966. С. 57—70.
- Дегенс Э. Т. Геохимия осадочных образований. М.: Мир, 1967. 299 с.
- Добровольский В. В. Особенности распределения малых элементов в почвах и растениях Устюрта // Почвоведение. 1961. № 3. С. 65—70.
- Добровольский В. В. Ландшафтно-геохимические особенности нагорных тундр Кольского полуострова // Там же. 1963а. № 2. С. 25—32.
- Добровольский В. В. Распределение рассеянных химических элементов между почвообразующей породой, почвой и растительностью в условиях Подмосквья // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. 1963б. № 3. С. 193—198.
- Добровольский В. В. Ландшафтно-геохимические особенности Кольского полуострова и их значение для поисковых работ // Сов. геология. 1964. № 3. С. 81—93.
- Добровольский В. В. География почв с основами почвоведения. М.: Просвещение, 1968. 350 с.
- Добровольский В. В. Аккумуляция редких и рассеянных химических элементов растительностью некоторых зональных ландшафтов СССР // Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л.: Наука, 1969. С. 51—56.
- Добровольский В. В. Некоторые черты геохимии и минералогии плейстоценовых континентальных отложений Болгарии // Геохимия ландшафтов и подземных вод. Краснодар: Кубан. ун-т, 1977. С. 52—68.
- Добровольский В. В. Тяжелые металлы: загрязнение окружающей среды и глобальная геохимия // Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 3—12.
- Добровольский В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 272 с.
- Добровольский Г. В., Гришина Л. А. Охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1985. 224 с.
- Добровольский В. В., Ржаксинская М. В. Ландшафтно-геохимическая зональность северного склона Большого Кавказа // Геохимия ландшафта. М.: Наука, 1967. С. 125—140.
- Добровольский В. В., Ржаксинская М. В. Влияние ландшафтно-геохимических условий на состав микроэлементов в растительном покрове вертикальных поясов северного склона Кавказа // Теоретические вопросы фитоиндикации. Л.: Наука, 1971. С. 193—196.
- Добровольский Г. В., Урусевская И. С. География почв. М.: Изд-во МГУ, 1984. 415 с.
- Дурасова Н. А. Особенности распределения олова в породах оловорудных районов Сихотэ-Алиня и экспериментальное извлечение его из силикатных расплавов: Автореф. дис... канд. геол.-минерал. наук. М., 1970. 29 с.
- Егорова И. С. Биогеохимические поиски медно-никелевых и оловянных руд в Енисейском и Яно-Индигирском районах // Геохимические поиски в областях криогенеза. Л.: НИИГА, 1970. С. 69—73.
- Ермекбаев А. Е. Результаты биогеохимических исследований на Туюкском рудном поле Северного Тянь-Шаня // Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. С. 183—186.
- Ермекбаев А. Е., Берембеков К. Б. Опыт проведения биогеохимической съемки в условиях песчаных пустынь Южного Прибалхашья // Там же. С. 171—174.
- Ермекбаев А. Е., Спасский Н. В., Берембеков К. Б., Баратов Г. Д. Методика и результаты проведения биогеохимической съемки в условиях песчаных пустынь Южного Прибалхашья // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1966. Т. 1. С. 247—248.
- Ермолаев М. М., Березкина Г. А., Грачев А. Ф. и др. Геохимия ландшафтов юго-восточного Зауралья. Л.: Изд-во ЛГУ, 1966. 183 с.

- Жбанов Э. Ф., Аносова Г. Б., Смирнов Г. И. Гидрогеохимические поиски на площадях, перекрытых эоловыми отложениями // Геохимические методы поисков рудных месторождений в Сибири и на Дальнем Востоке. Новосибирск: Наука, 1978. С. 83—87.
- Жбанов Э. Ф., Жбанова К. И., Солодянкин М. В. Результаты опытно-методических исследований по биогеохимическому методу поисков в Бурятской АССР // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ: Бурят. КНИИ СО АН СССР, 1966. Т. 1. С. 233—234.
- Жбанова К. И., Жбанов Э. Ф. Печь для озолота биогеохимических проб // Разведка и охрана недр. 1966. № 10. С. 54—55.
- Жукова Р. И., Загоскина Е. И. Особенности вторичных ореолов рассеяния и применение металлотметрических съемок на территории Восточной Сибири и Забайкалья // Геохимические методы поисков месторождений золота по вторичным ореолам рассеяния. Чита: Забайк. фил. Геогр. о-ва СССР, 1973. С. 58—60.
- Загоскин В. А., Шиманский А. А. Вторичные лито- и биогеохимические ореолы рассеяния на редкометалльных пегматитовых месторождениях // Ореолы рассеяния месторождений Восточной Сибири. М.: Наука, 1971. С. 127—140.
- Загребина Н. Л. Особенности распределения химических элементов в растениях Западного Тянь-Шаня // Теоретические вопросы фитоиндикации. Л.: Наука, 1971. С. 198—205.
- Загузин В. П., Загузина Т. А., Погребняк Ю. Ф. Биогеохимические поиски руд вольфрама и молибдена // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1980. № 7. С. 144—148.
- Закиров К. З., Риш М. А., Ездаков В. И. Накопление микроэлементов в растениях, произрастающих в условиях рудного поля // Узб. биол. журн. 1959. № 1. С. 15—26.
- Захаров Е. П. Изменение содержания микроэлементов в растениях, произрастающих на кобальтовом месторождении // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969а. С. 85—86.
- Захаров Е. П. К методике биогеохимического метода поисков кобальтовых руд в условиях Тувинской АССР // Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969б. С. 157—170.
- Захаров Е. П. О возможности поисков кобальтовых руд по соку березы *Betula vehgisosa* // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969в. С. 87—88.
- Захаров Е. П. Поиски кобальтовых руд по объемному весу золы растений // Там же. 1969г. С. 88—89.
- Зимовец Б. А. Почвенно-географические процессы муссонно-мерзлотных ландшафтов. М.: Наука, 1967. 168 с.
- Зубков В. С., Легейдо В. А. Распределение олова в юрских эффузивах Центрального Забайкалья // Геохимия. 1982. № 8. С. 1145—1151.
- Зырин Н. Г. Задачи и перспективы развития учения о микроэлементах в почвоведении // Биологическая роль микроэлементов. М.: Наука, 1983. С. 149—154.
- Ибламинов Р. Г., Кропачев А. М. Микроэлементы в сфагновых мхах верховых болот Северного Урала // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1966. Т. 1. С. 257—258.
- Иванов А. В., Гончаров А. Ф., Сливко Е. Н. и др. Микроэлементы в наледных солях Восточного Саяна // Наледи Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1981. С. 185—191.
- Иванов В. В. Геохимия рассеянных элементов в гидротермальных месторождениях. М.: Недра, 1966. 399 с.
- Иванов Г. И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.
- Иванов О. П. О возможности применения биогеохимического метода поисков сульфидных жил, перекрытых многолетне-мерзлыми рыхлыми отложениями // Учен. зап. ЦНИИОлово. Новосибирск, 1967. № 3. С. 51—54.
- Иванова А. М., Куликов Ю. С., Егорова И. С. Ландшафтно-геохимические критерии при оценке перспектив оловоносности (на примере восточной части кряжа Полоусного) // Геохимические поиски в областях криогенеза. Л.: НИИГА, 1970. С. 73—77.
- Иванова А. М., Куликов Ю. С., Егорова И. С. Геохимические ландшафты Яно-Индигирского района. Л.: Недра, 1974. 169 с.

- Иванчиков В. П.* Оценка вторичных ореолов рассеяния на основе ландшафтно-геохимического картирования (Центральный Казахстан): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук Алма-Ата, 1975. 22 с.
- Ивашов П. В.* К методике поисков ртутных месторождений в горно-таежных условиях // Разведка и охрана недр. 1961. № 6. С. 38—39.
- Ивашов П. В.* О биологических факторах выветривания пород и минералов // Вопросы географического изучения Дальнего Востока. Хабаровск: Кн. изд-во, 1965. С. 135—142.
- Ивашов П. В.* Акцессорные химические элементы в песках среднеюрских континентальных отложений Вятско-Камской впадины Русской платформы // Литология и полез. ископаемые. 1966. № 6. С. 137—141.
- Ивашов П. В.* Геохимические особенности формирования современной коры выветривания и почв на бруситовом массиве (Малый Хинган) // Физико-географические и ландшафтно-геохимические исследования в южной части Дальнего Востока. М.: Наука, 1975а. С. 93—106.
- Ивашов П. В.* Геохимия олова в современной коре выветривания кислых эффузивов юга Дальнего Востока // Изв. вузов. Геология и разведка. 1975б. № 10. С. 55—60.
- Ивашов П. В.* Минералогия и геохимия современной коры выветривания и почв, сформированных на кислых интрузивных породах юга Дальнего Востока // Физико-географические и ландшафтно-геохимические исследования в южной части Дальнего Востока. М.: Наука, 1975в. С. 106—136.
- Ивашов П. В.* О находке аутигенного пирита в элювиально-глеевом горизонте почв на базальтах Борисовского плато (Южное Приморье) // Там же. 1975г. С. 137—146.
- Ивашов П. В.* Особенности химического состава вод, дренирующих эффузивные массивы юга Дальнего Востока // Ресурсы и химический состав природных вод Дальнего Востока. Хабаровск: Кн. изд-во, 1975д. С. 96—103.
- Ивашов П. В.* Содержание микроэлементов в почвах, сформированных на базальтовых массивах // Микроэлементы в СССР. 1975е. Вып. 16. С. 18.
- Ивашов П. В.* Основные глобальные техногенные факторы нарушения природного равновесия в биосфере Земли // Охрана природы и рациональное использование природных ресурсов. Хабаровск: Кн. изд-во, 1976а. С. 203—206.
- Ивашов П. В.* Особенности механического состава современной коры выветривания и почв на гранитных массивах Дальнего Востока // Почвы Дальнего Востока: (Тез. докл. Сов.-Яп. симпози.). Хабаровск: Кн. изд-во, 1976б. С. 44—45.
- Ивашов П. В.* Теоретические основы биогеохимического метода поисков рудных месторождений (применительно к территории Дальнего Востока). Новосибирск: Наука, 1976в. 272 с.
- Ивашов П. В.* Данные о содержании серебра в растениях юга Дальнего Востока в связи с биогеохимическими поисками руд // Геохимические поиски месторождений цветных металлов. Красноярск: ПГО «Красноярскгеология», 1977. С. 97—98.
- Ивашов П. В.* Минералогический состав элювиально-глеевых почв на базальтах Борисовского массива // Изменение почвенного покрова Дальнего Востока в результате сельскохозяйственного использования и мелиорации. Уссурийск: Примор. с.-х. ин-т, 1978а. С. 109—112.
- Ивашов П. В.* Никель, кобальт, хром в бурых лесных почвах на ультраосновных породах юга Дальнего Востока // Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. Ивано-Франковск, 1978б. С. 196—197.
- Ивашов П. В.* Геохимия олова в бурых лесных почвах Дальнего Востока. // Тез. докл. 14-го Тихоокеан. Междунар. науч. конгр.: Комитеты СД — география и экосистемы Тихоокеанских островов. М.: Наука, 1979а. С. 154—155.
- Ивашов П. В.* Особенности гидрогеохимии вод, дренирующих массивы кислых эффузивов юга Дальнего Востока // Проблемы региональной гидрогеохимии. Л.: ВГО СССР, 1979б. 49 с.
- Ивашов П. В.* Особенности механического состава мелкозема бурых лесных почв на гранитной коре выветривания юга Дальнего Востока // Выветривание и почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1979в. С. 63—75.
- Ивашов П. В.* Микроэлементы в бурых лесных почвах на серпентинитовом массиве юга Дальнего Востока // Микроэлементы в СССР. 1980а. Вып. 21. С. 28.
- Ивашов П. В.* Физико-химические свойства почв, сформированных на аллювии базальтовых массивов // Глеевые процессы и физико-химические свойства почв юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980б. С. 37—42.

- Ивашов П. В.* Микроэлементы в продуктах внутрипочвенного выветривания горных пород // Микроэлементы в СССР. 1981а. Вып. 22. С. 21.
- Ивашов П. В.* Морфология и геохимия выветривания обломков андезита в бурых горно-таежных почвах Нижнего Приамурья // Тез. докл. делегат. съезда почвоведов СССР. Тбилиси: Изд-во АН ГССР, 1981б. Кн. 4. С. 157—158.
- Ивашов П. В.* Распределение олова в мелкоземе бурых лесных почв // Микроэлементы в СССР. 1981в. Вып. 22. С. 21.
- Ивашов П. В.* Биогеохимическая индикация оловянной минерализации разного генетического типа // Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: ИМГРЭ, 1982а. Т. 1. С. 64—67.
- Ивашов П. В.* Геохимия олова в бурых лесных почвах Дальнего Востока // Почвы островов и приокеанических регионов Тихого океана. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982б. С. 161—169.
- Ивашов П. В.* Геохимия четвертичных элювиально-делювиальных образований на гранитных массивах Дальнего Востока // Тез. докл. 11-го Междунар. конгр. ИНКВА. М., 1982в. Т. III. С. 149—150.
- Ивашов П. В.* Микроэлементный состав лугово-глеевых почв Приамурья // Микроэлементы в СССР. 1982г. Вып. 23.
- Ивашов П. В.* Оценка биогеохимических аномалий олова в зависимости от генетического типа оруденения (на месторождениях Приморья и Приамурья) // Методы разработки и оценки перспектив геохимических аномалий и аномальных площадей. Магадан: ПГО «Северовостокгеология», 1982д. С. 133—134.
- Ивашов П. В.* Возможность использования лесной подстилки в качестве разновидности биогеохимического метода поиска оловорудных месторождений на Дальнем Востоке // Микроэлементы в СССР. 1983а. Вып. 24. С. 16.
- Ивашов П. В.* Классификация биогеохимических и биологических методов поисков оловорудных месторождений // Геохимия литогенеза и осадочных формаций Урала. Пермь: Перм. политехн. ин-т, 1983б. С. 35—36.
- Ивашов П. В.* Возможность использования данных о накоплении олова в растениях для биогеохимических поисков оловорудных месторождений // Микроэлементы в СССР. 1984а. Вып. 25. С. 7—8.
- Ивашов П. В.* Фитофеноиндикация оловорудной минерализации на Дальнем Востоке // Фенологическая индикация и фенопрогнозирование. Л.: ВГО СССР, 1984б. С. 27—28.
- Ивашов П. В.* Перспективы применения биогеохимического метода поисков оловянных руд на восточном участке зоны БАМ // Развитие и размещение производительных сил и транспортное обеспечение Дальневосточного экономического района на период до 2005 г. Хабаровск: Кн. изд-во, 1984в. С. 28—30.
- Ивашов П. В.* Значение географо-экологических факторов при планировании строительства промышленных и гражданских объектов в зоне БАМ // Географические исследования для целей планирования, проектирования, разработки и реализации комплексных программ. Л.: ВГО СССР, 1985а. С. 137—138.
- Ивашов П. В.* Биогеохимические исследования с целью установления особенностей накопления олова и его спутников в почвах и в растениях на оловянном оруденении // Микроэлементы в СССР. 1985б. Вып. 26. С. 22—23.
- Ивашов П. В.* Микроэлементный состав луговых глеевых почв Среднеамурской равнины // Микроэлементы в антропогенных ландшафтах Дальнего Востока. Владивосток, 1985в. С. 47—62.
- Ивашов П. В.* Экспериментальное моделирование системы касситерит-вода // Подземные воды и эволюция литосферы. М.: Наука, 1985г. Т. 2. С. 291—293.
- Ивашов П. В.* Безотходное освоение оловорудных месторождений — основа оптимизации охраны окружающей среды в оловодобывающих районах // Оптимизация, прогноз и охрана природной среды. М.: ВГО СССР, 1986а. С. 122—124.
- Ивашов П. В.* Опыт выявления биогеохимической аномалии олова в закрытом районе Дальнего Востока // Повышение эффективности геохимических методов поисков в таежных районах. Иркутск.: Ин-т геохимии им. А. П. Виноградова СО АН СССР. 1986б. С. 213—214.
- Ивашов П. В., Шардаков А. Н.* Экспериментальное выветривание кристаллических пород, жильного кварца и песчаника фульвокислотами бурой лесной почвы // Процессы почвообразования и превращения элементов в почвах с переменным режимом увлажнения. Владивосток, 1983. С. 137—143.
- Израэль Ю. А.* Экология и контроль состояния природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 560 С.

- Ильин В. Б. Элементный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. 129 с.
- Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983. 192 с.
- Кайманов В. Н., Паюнина Э. И., Файнгольд В. М. О возможности применения биогеохимического метода для поисков вольфрама // Биологические науки. Алма-Ата, 1974. Вып. 1. С. 23—25.
- Канищева Л. И. Геология оловорудных месторождений турмалинового типа Приморья. М.: Наука, 1977. 96 с.
- Каравайко Г. И., Кузнецов С. И., Голомзик А. И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд. М.: Наука, 1972. 248 с.
- Карбух Д. В. Биогеохимические исследования в районе трех штатов // Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Изд-во иностр. лит., 1954. С. 461—484.
- Касимов Н. С. Геохимия ландшафтов зон разломов. М.: Изд-во МГУ, 1980. 120 с.
- Квятковский Е. М. Литохимические методы поисков эндогенных рудных месторождений. Л.: Недра, 1977. 190 с.
- Кириохин В. А., Гуревич В. И., Павлов А. Н. К гидрохимическим поискам оловянно-полиметаллических месторождений в Мяочанском хребте // Зап. ЛГИ. 1965. Т. 48, вып. 2. С. 63—68.
- Кист А. А. Биологическая роль химических элементов и периодический закон. Ташкент: Фан, 1973. 65 с.
- Китаев И. В. Распределение некоторых редких элементов в углях Буреинского и Тырминского бассейнов // Вопросы литологии и геохимии вулканогенно-осадочных образований юга Дальнего Востока. Владивосток, 1971. С. 193—207.
- Китаев И. В., Китаева Н. И. К вопросу о формах содержания малых элементов в углях и углистых породах // Геохимия и петрохимия осадочных комплексов Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 17—33.
- Ковалевский А. Л. О введении поправок на различное поглощение химических элементов видами растений при биогеохимических поисках // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ: Бурят. фил. СО АН СССР, 1966. Т. 1. С. 271—272.
- Ковалевский А. Л. О физиологических барьерах поглощения химических элементов растениями // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1971. С. 134—144.
- Ковалевский А. Л. Биогеохимические поиски молибденовых месторождений // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1974а. № 12. С. 105—122.
- Ковалевский А. Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. М.: Недра, 1974б. 144 с.
- Ковалевский А. Л. Биогеохимические поиски полиметаллических месторождений // Сов. геология. 1975а. № 2. С. 108—121.
- Ковалевский А. Л. Особенности формирования рудных биогеохимических ореолов. Новосибирск: Наука, 1975б. 116 с.
- Ковалевский А. Л. Безбарьерные биогеохимические поиски руд и их возможности // Вопросы прикладной геохимии и петрографии. Киев: Наук. думка, 1978а. С. 3—14.
- Ковалевский А. Л. К выбору объектов опробования при биогеохимических поисках бериллия // Геохимия. 1978б. № 8. С. 1239—1248.
- Ковалевский А. Л. Особенности биогеохимических поисков вольфрамовых месторождений // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1978в. № 4. С. 113—127.
- Ковалевский А. Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1984. 172 с.
- Ковалевский А. Л., Ковалевская О. М. О возможности использования полевых методов озоления проб растений при биогеохимических поисках // Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. С. 252—265.
- Ковалевский А. Л., Ковалевская О. М. Биогеохимические поиски бериллиевых месторождений. Новосибирск: Наука, 1979. 192 с.
- Ковалевский А. Л., Чимитдоржиева Г. Д. О подвижных формах химических элементов в растениях // Микроэлементы в Сибири. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1968. Вып. 6. С. 48—66.
- Ковальский В. В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 300 с.
- Ковальский В. В., Боровик-Романова Т. Ф. Значение бабочек в биогенной миграции

- химических элементов и элементарный состав их различных таксономических групп // Биогеохимическое районирование — метод изучения экологического строения биосферы. М.: Наука, 1978. С. 175—186. (Тр. Биогеохим. лаб.; Т. 15).
- Ковальский В. В., Петрунина Н. С.* Геохимическая экология и эволюционная изменчивость растений // ДАН СССР. 1964. Т. 159, № 5. С. 1175—1178.
- Ковда В. А.* Очерки природы и почв Китая. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 456 с.
- Ковда В. А.* Основы учения о почвах. М.: Наука, 1973. Кн. 1. 448 с.; Кн. 2. 468 с.
- Ковда В. А.* Биосфера, почвы и их использование. М.: Наука, 1974. 129 с.
- Ковда В. А.* Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 264 с.
- Ковда В. А., Ливеровский Ю. А., Сун Да-Чен.* Очерк почв Приамурья // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1957. № 1. С. 91—106.
- Кожара В. Л.* Литохимические и биогеохимические поиски в мерзлотных ландшафтах // Разведка и охрана недр. 1964. № 3. С. 13—19.
- Колесников Б. П.* Очерк растительности Дальнего Востока. Хабаровск: Кн. изд-во, 1955. 104 с.
- Колосов И. И.* Поглотительная деятельность корневых систем растений. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 388 с.
- Колотов Б. А., Киселева Е. А., Рубейкин В. З.* К вопросу о вторичном рассеянии рудных месторождений // Геохимия. 1965. № 7. С. 878—880.
- Колотов В. А., Рубейкин В. З., Малоглавец В. Г.* Гидрогеохимические поиски в условиях Приморского края (основные положения и методические рекомендации). Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1970. 226 с.
- Коржинский А. Ф., Францкая Е. В.* О «запретной» ассоциации минералов в базальтах Восточных Саян // ДАН СССР. 1955. Т. 104, № 2. С. 291—293.
- Кочубей А. В.* Выступление на Первом Всесоюзном совещании по геохимическим методам поисков рудных месторождений // Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1957. С. 409—410.
- Крамаренко Л. Е.* Микробиологический метод поисков сульфидных руд. М.: ВИЭМС, 1974. 53 с.
- Крамаренко Л. Е.* Геохимическое и поисковое значение микроорганизмов подземных вод. Л.: Недра, 1983. 182 с.
- Крамаренко Л. Е., Призренова И. И., Тебенькова Р. И.* Роль биогенного фактора в формировании ореолов рассеяния молибденового месторождения Шалгия // Информ. сб. ВСЕГЕИ. 1959. № 8. С. 109—116.
- Красников В. И.* Современное состояние и ближайшие задачи прикладной геохимии // Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1957. С. 17—29.
- Кренделев Ф. П., Погребняк Ю. Ф., Цыренова А. А.* Биогеохимические ореолы по соку березы на Озерном полиметаллическом месторождении (Забайкалье) // Геология и геофизика. 1978. № 8. С. 129—133.
- Крицук Н. И.* О роли сорбции в формировании элювиально-делювиальных ореолов рассеяния // Учен. зап. ЛГИ. 1963. Т. 45, вып. 2. С. 25—30.
- Кропачев А. М.* Факторы миграции и осаждения малых (акцессорных) элементов в зоне гипергенеза. Пермь: Перм. ун-т, 1973. 156 с.
- Кропачев А. М., Брагина Л. А.* Низинные торфяники — концентраторы микроэлементов // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1966. Т. 1. С. 126—127.
- Крылова В. В.* Группировка оловорудных месторождений для поисковых целей // Изв. вузов. Геология и разведка. 1972. № 3. С. 70—75.
- Кузина К. И.* Возможность использования растений при поисках месторождений бора // Теоретические вопросы фитоиндикации. Л.: Наука, 1971. С. 205—208.
- Кузнецов С. И., Иванов М. В., Ляликова Н. Н.* Введение в геологическую микробиологию. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 240 с.
- Кульская О. А., Бродис Л. М., Бурксер Е. С.* Акцессорные редкие и рассеянные элементы в торфах Украины // Вопросы геохимии, минералогии и петрографии. Киев: Изд-во АН УССР, 1963. С. 67—79.
- Куприянов А. Е., Дулепов В. И., Ермашкевич В. П.* Опыт ландшафтно-геохимических исследований на ртутных месторождениях и рудопроявлениях Дербезского рудного поля (Северо-Западный Кавказ) // Геохимия ландшафтов и подземных вод. Краснодар: Кубан. ун-т, 1977. С. 68—79.
- Куренцова Г. Э.* Растительность Приханкайской равнины и окружающих предгорий. М.: Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 140 с.

- Куренцова Г. Э. Растительный покров Приуссурийской части Среднего Амура. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1965. 72 с.
- Кухаренко А. А. Минералогия россыпей. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 319 с.
- Кэнон Х. Л., Клейнхемпль Ф. Дж. Ботанические методы, применяемые для поисков урана // Геология атомных сырьевых материалов. М.: Госгеолтехиздат, 1956. С. 681—686.
- Лаврик Н. И., Василенко В. П., Ченцов Н. П., Бураго А. И. Состояние и перспективы дальнейшего развития геохимических методов поисков в Приморье // Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1980. С. 108—112.
- Лапаев Г. П. О возможности использования бриогеохимического метода при поисках месторождений олова и вольфрама // Геохимические методы при поисках месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 203—204.
- Лапаев Г. П. Опыт бриогеохимических поисков золота на закрытой территории // Методы разведки и оценки перспектив геохимических аномалий и аномальных площадей. Магадан: ПГО «Северостокгеология», 1982. С. 109—110.
- Лапаев Г. П., Степанова Н. А. Водные мхи как объект геохимического опробования // Бриолихенологические исследования высокогорных районов и Севера СССР. Апатиты: Кол. фил. АН СССР, 1981. С. 45—46.
- Левашов А. А. Определение толщины наилка на поймах рек // Метеорология и гидрология. 1983. № 11. С. 112—113.
- Левинсон А. Введение в поисковую геохимию. М.: Мир. 1976. 500 с.
- Лежнева Н. Д. Биогеохимические исследования на рудопроявлении олова в Зирабулакских горах // Зап. узб. отд-ния Всесоюз. минерал. о-ва. 1980. № 33. С. 138—140.
- Леонова Л. Л., Легейдо В. А. Фазовые распределения олова в четвертичных вулканитах Камчатки и Курильских островов // Геохимия. 1975. № 10. С. 1452—1458.
- Летунова С. В., Ковальский В. В. Геохимическая экология микроорганизмов. М.: Наука, 1978. 147 с.
- Ливеровский Ю. А. Почвы // Южная часть Дальнего Востока. М.: Наука, 1969. С. 159—206.
- Ливеровский Ю. А., Рубцова Л. П. Таежные почвы Приамурья // Генезис и география почв. М.: Наука, 1966. С. 140—156.
- Лисицына Н. А. Вынос химических элементов при выветривании основных пород. М.: Наука, 1973. 230 с.
- Лиштван И. И., Король Н. Т., Крештапова В. Н., Марков В. Д. О составе органического и минерального вещества торфяных отложений // VIII Междунар. конгр. по орган. геохимии: Тез. докл. М.: Наука, 1977. Т. 1. С. 21—22.
- Ловринг Т. С. Работы секции геохимической разведки геологической службы США // Геохимические методы поисков рудных месторождений: Пер. с англ. Л.: ВИТР, 1958. С. 17—25. (Методика и техника разведки; Сб. 13).
- Лугов С. Ф. Сырьевая база и развитие оловянной промышленности СССР, научные основы поисков и оценки месторождений олова // Минеральное сырье. М.: Недра, 1975. Вып. 24. С. 18—35.
- Лугов С. Ф., Бакулин Ю. И., Василенко В. П. и др. Рациональный комплекс методов при поисках и оценке оловорудных месторождений на Востоке СССР // Сов. геология. 1979. № 5. С. 56—65.
- Лукашев В. К. Геохимические индикаторы процессов гипергенеза и осадкообразования. Минск: Наука и техника, 1972. 218 с.
- Лукашев В. К. Геохимия ландшафтов Белоруссии и Эстонии // Геохимические исследования и поиски полезных ископаемых в Белоруссии и Прибалтике. Минск: Наука и техника, 1977. С. 5—39.
- Лукашев В. К., Лукашев К. И. Использование и эффективность геохимических методов поисков в Белоруссии // Геохимические методы поисков рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1984. Ч. 1. С. 179—188.
- Лукашев В. К., Судов Б. А. Геохимия ландшафтов Белоруссии и Эстонии // Геохимические исследования и поиски полезных ископаемых в Белоруссии и Прибалтике. Минск: Наука и техника, 1977. С. 5—59.
- Лукашев К. И., Кузнецов В. А., Лукашев В. К. Геохимическое изучение земной коры. Минск: Наука и техника, 1977. 176 с.

- Лукашев К. И., Лукашев В. К. Геохимические поиски элементов в зоне гипергенеза. Минск: Наука и техника, 1967. Кн. 1. 378 с.; Кн. 2. 298 с.
- Лукашев К. И., Лукашев В. К. Геохимия зоны гипергенеза. Минск: Наука и техника, 1975. 424 с.
- Лядикова Н. Н. Роль бактерий в окислении сульфидных медно-никелевых руд Кольского полуострова // Микробиология. 1961. Т. 30, вып. 1. С. 135—140.
- Лядикова Н. Н. Роль микроорганизмов в образовании и разрушении сульфидов в рудных месторождениях // Геология руд. месторождений. 1970. № 1. С. 63—73.
- Маданов П. В., Иванова Е. И. Содержание молибдена в некоторых почвах и растениях Волжско-Камской лесостепи // Учен. зап. Казан. ун-та. 1954. Вып. 114, кн. 1: Биология. С. 177—180.
- Майоров Н. Ф. О методике анализа проб растительной подстилки при биогеохимической съемке // Зап. ЛГИ. 1963. Т. 45, вып. 2. С. 107—113.
- Максимов М. М. Тысячелетие открытия // Геология руд. месторождений. 1970. № 5. С. 108—112.
- Макунина Г. С. О биогеохимическом методе поисков медноколчеданных месторождений на Среднем Урале // Геохимия. 1972. № 10. С. 1302—1306.
- Макунина Г. С. Металлы в техногенных горных ландшафтах // Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 58—63.
- Малюга Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений: (Принцип и практика поисков). М.: Изд-во АН СССР, 1963. 264 с.
- Манская С. М., Дроздова Т. В. Геохимия органического вещества. М.: Наука, 1964. 316 с.
- Мармо В. Биогеохимические исследования в Финляндии // Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Изд-во иностр. лит., 1954. С. 443—460.
- Материков М. П. Закономерности размещения и геолого-генетические группы оловянных месторождений СССР. М.: Недра, 1974. 144 с.
- Махинин В. А. Дальневосточное геологическое управление // Геохимические поиски рудных месторождений: (Основные результаты и направления дальнейших работ в геологических организациях Советского Союза). М.: Недра, 1969. С. 69—75.
- Махинин В. А. Геохимические методы поисков оловянных месторождений на Дальнем Востоке // Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений. М.: Недра, 1971. Вып. 6. С. 62—63.
- Мицкевич Б. Ф. Миграция олова в зоне гипергенеза // Докл. УССР. 1958. № 2. С. 213—216.
- Мицкевич Б. Ф. Опыт применения биогеохимического метода поисков на Украине // Бюл. науч.-техн. информ. 1962. № 1(35). С. 31—33.
- Мицкевич Б. Ф. Геохимические методы поисков и условия их применения на Украине и в Молдавии. Киев: Наук. думка, 1965. 128 с.
- Мицкевич Б. Ф. Опыт разработки и перспективы развития биогеохимического метода поисков на Украине // Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. С. 53—58.
- Мицкевич Б. Ф. Геохимические ландшафты Украинского щита. Киев: Наук. думка, 1971. 175 с.
- Мицкевич Б. Ф. Геохимические ландшафты Украинского щита и поиски рудных месторождений по вторичным ореолам и потокам рассеяния: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Киев, 1972. 60 с.
- Мицкевич Б. Ф. Условия применения геохимических методов поисков на Украине // Геохимические методы поисков рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1981. Ч. 1. С. 188—191.
- Мицкевич Б. Ф., Комский М. М. Об активной роли растений в процессах выветривания / Биогеохимия растений. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. С. 39—42.
- Мицкевич Б. Ф., Суцкич Ю. Я. Основы ландшафтно-геохимического районирования. Киев: Наук. думка, 1981. 176 с.
- Назаров А. Г. Геохимия высокогорных ландшафтов. М.: Наука, 1974. 200 с.
- Назарова А. С., Барсукова З. С., Быков В. П., Дубинина Л. С. Зависимость некоторых свойств оловянного камня от условий его образования // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1970. № 6. С. 101—106.
- Некрасов И. Я. Геохимия олова и редких элементов Верхояно-Чукотской складчатой области. М.: Наука, 1966. 379 с.
- Несветайлова Н. Г. Поиски руд по растениям. М.: Недра, 1970. 97 с.
- Нечаев Ю. А., Финкель Б. С. Микроэлементы в некоторых торфяниках Пермской области // Бюл. науч.-техн. информ. 1963. № 6(50). С. 14—15.

- Никулин Н. Н.* К вопросу об определении глубины формирования оловорудных тел по концентрации индия в касситеритах // Генетические типы, условия образования и закономерности размещения месторождений олова и вольфрама Советского сектора Тихоокеанского рудного пояса. Владивосток: ДВНЦ СО АН СССР, 1966. С. 101—102.
- Никулин Н. Н.* Микроэлементы в касситеритах — индикаторы оценки оловорудных объектов // Минералогические критерии оценки рудоносности. Л.: Недра, 1981. С. 110—118.
- Новиков Н. П.* Некоторые особенности накопления микроэлементов растительностью юго-востока Московской области // Ландшафтно-геохимические исследования. М.: Моск. фил. Георг. о-ва СССР, 1973. С. 21—22.
- Новороссова Л. Е., Комарова Г. Н.* О растворимом олове в рудах Джалиндинского месторождения и растворимости касситерита в кислотах // Геология руд. месторождений. 1962. № 1. С. 122—125.
- Овсянникова Л. Б., Дворников А. Г.* Использование биогеохимических ореолов рассеяния халькофильных элементов при поисках ртутных, золоторудных и свинцово-цинковых месторождений в Центральном Донбассе // Вопросы применения геохимии ландшафта при поисках рудных месторождений. Алма-Ата: КазИМС, 1973. С. 107—108.
- Овчинников Л. Н.* Проблемы прикладной геохимии // Вестн. АН СССР. 1983. № 1. С. 110—117.
- Озеров И. М.* Станнометрия как поисковый метод // Разведка недр. 1937. № 24. С. 52—56.
- Округин А. В., Олейников Б. В., Лескова Н. В.* Первые находки самородного олова и цинка в траппах Сибирской платформы // Бюл. НТИ Якут. фил. СО АН СССР. Якутск, 1978. Апрель. С. 27—29.
- Онихимовский В. В.* Геология промышленных типов оловянных месторождений Приамурья // Геология и металлогения Приамурья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1977. С. 18—85.
- Онихимовский В. В., Бакулин Ю. И.* Металлоносность базальтов Комсомольского оловорудного района // Вопросы магматизма и тектоники Дальнего Востока. Хабаровск: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 83—87.
- Онихимовский В. В., Гаврилов В. И.* Оловорудные пояса Земли. М.: Наука, 1979. 126 с.
- Онихимовский В. В., Гаврилов В. И.* Промышленные типы оловорудных формаций // Изв. вузов. Геология и разведка. 1981. № 7. С. 56—70.
- Онихимовский В. В., Гаврилов В. И.* Проблемы геологии и металлогении олова. М.: Наука, 1982. 220 с.
- Осипова Г. А.* Коллоидный касситерит в оловорудных типах месторождения Дубовского (Кавалеровский район) // Минералогия и генезис месторождений Приморья и Приамурья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 74—82.
- Осипова Г. А.* Геохимический метод прогнозирования оловорудных месторождений. М.: Наука, 1980. 148 с.
- Остроменцкий Н. М., Косов Б. М., Овчинников Д. И.* Оценка месторождений при поисках и разведках. М.: Недра, 1966. Вып. 2.: Олово. 260 с.
- Павлов Г. А., Кизяковский И. И., Ундзенков Б. А.* Результаты металлотрических работ на территории Малого Хингана // Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1957. С. 211—214.
- Палагин А. В., Вольский А. С., Бурдэ Б. И. и др.* Геохимические поиски в Амурской области // Перспективы комплексного развития производительных сил Амурской области. Благовещенск: Хабар. кн. изд-во, 1982. Ч. 1. С. 61—63.
- Парибок Т. А., Алексеева-Попова Н. В.* Сравнительное исследование содержания микроэлементов в растениях тундры и лесотундры // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1966. Т. 1. С. 191—193.
- Парибок Т. А., Алексеева-Попова Н. В., Норин Б. Н.* Содержание микроэлементов в растениях лесотундры // Ботан. журн. 1967. № 1. С. 13—23.
- Парибок Т. А., Кузнецова Г. Н.* Поступление и распределение микроэлементов в растениях в зависимости от температуры почвы // Экспериментальная ботаника. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. Вып. 16. С. 27—48.
- Перельман А. И.* Геохимия эпигенетических процессов. М.: Недра, 1965. 272 с.
- Перельман А. И.* Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1966. 392 с.
- Перельман А. И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972. 288 с.

- Перельман А. И. Биокосные системы Земли. М.: Наука, 1977. 160 с.
- Перельман А. И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1979. 424 с.
- Перельман А. И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 152 с.
- Перельман А. И. Теоретические аспекты техногенной миграции // Методы изучения техногенных геохимических аномалий. М.: ИМГРЭ, 1984. С. 3—8.
- Перельман А. И., Борисенко Е. Н., Касимов Н. С. и др. Геохимия ландшафтов рудных провинций. М.: Наука, 1982. 262 с.
- Петраченко Е. Д., Сахно В. Г. Особенности распределения олова и типы изменений в базальтово-липаритовой ассоциации Курильской островной дуги // Геодинамика вулканизма и гидротермального процесса. Петропавловск-Камчатский: ДВНЦ АН СССР, 1974. 151 с.
- Питулько В. М. Экспресс-флорометрический метод поисков рудных месторождений в мерзлотных районах // Колыма. 1971. № 3.
- Питулько В. М. Поиски и оценка оловянного оруденения по комплексным гипергенным ореолам в условиях Крайнего Севера // Геохимические методы при поисках месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1975. С. 159—160.
- Питулько В. М. Вторичные ореолы рассеяния в криолитозоне. Л.: Недра, 1977. 198 с.
- Побединцева И. Г. Местная миграция микроэлементов в лесостепных и степных ландшафтах Оренбургской области в связи с геохимическими поисками // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1967. № 6. С. 90—95.
- Побединцева И. Г. Микроэлементы в почвах восточной части Оренбургской области // Микроэлементы в ландшафтах Советского Союза. М.: Изд-во МГУ, 1969. С. 25—46.
- Погребняк Ю. Ф., Толочко В. В., Сусленкова Р. М. О возможности поисков месторождений свинцово-цинковых руд по содержаниям этих элементов в соке березы // Геохимические поиски месторождений цветных металлов. Красноярск, 1977. С. 103—104.
- Поликарпочкин В. В. О выщелачивании элементов из растений и его роли для геохимии элементов в биосфере // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969а. С. 69—70.
- Поликарпочкин В. В. Применение биогеохимических методов поисков рудных месторождений в условиях Сибири // Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969б. С. 9—22.
- Поликарпочкин В. В. Применение биогеохимических методов поисков рудных месторождений в условиях Сибири // Ореолы рассеяния месторождений восточной Сибири. М.: Наука, 1971. С. 214—230.
- Поликарпочкин В. В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния месторождений олова, вольфрама и ртути // Геохимические методы при поисках месторождений олова, вольфрама и ртути. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1975. С. 10—12.
- Поликарпочкин В. В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния. Новосибирск: Наука, 1976. 408 с.
- Поликарпочкин В. В. Особенности вторичных ореолов и потоков рассеяния олова, вольфрама и ртути // Геохимические основы поисков и прогнозирования рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1978. С. 142—150.
- Поликарпочкин В. В. Стратегия геохимических поисков рудных месторождений // Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1980. С. 21—28.
- Поликарпочкин В. В., Ломоносов И. С., Евдокимова В. Н. и др. Результаты геохимических съемок с обработкой данных методом многомерных полей // Геохимические методы поисков рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1982. Ч. 2. С. 4—24.
- Поликарпочкин В. В., Поликарпочкина Р. Т. Биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых. М.: Наука, 1964. 107 с.
- Поликарпочкин В. В., Поликарпочкина Р. Т., Абрамов И. И. Ореолы рассеяния в растениях на рудных месторождениях Восточного Забайкалья // Вопросы геохимии изверженных горных пород и рудных месторождений Восточной Сибири. М.: Наука, 1965. С. 242—270.
- Поликарпочкин В. В., Фидилпова Л. А., Константинова И. М. Вторичные ореолы и потоки рассеяния полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья //

- Геохимические поиски месторождений цветных металлов. Красноярск, 1977. С. 143—147.
- Полынов Б. Б. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 751 с.
- Попов Г. Биогеохимические методы и возможности их применения при поисках полезных ископаемых // Природа (НРБ). 1980. Вып. 29, № 5. С. 54—55.
- Поскотин Д. Л., Юшков Ю. Н., Юринский Н. А., Снегирев А. Д. О биогеохимических поисках медноколчеданных и редкометалльных месторождений на Урале // Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. С. 42—52.
- Постнов И. С. Ландшафтно-геохимические исследования в районах южной окраины Яно-Индигирской низменности // Геохимические поиски в областях криогенеза. Л.: НИИГА, 1970. С. 90—93.
- Радкевич Е. А. Металлогенические провинции Тихоокеанского рудного пояса. М.: Наука, 1977. 176 с.
- Раецкая Ю. И. Применение микроэлементов на промышленных животноводческих комплексах // Биологическая роль микроэлементов. М.: Наука, 1983. С. 138—143.
- Разин Л. В., Рожков И. С. Геохимия золота в коре выветривания и биосфере золоторудных месторождений куранахского типа. М.: Наука, 1966. 254 с.
- Ранкама К. Об использовании следов элементов при решении некоторых проблем прикладной геологии // Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Изд-во иностр. лит., 1954. С. 427—442.
- Ратнер Е. И. Питание растений и жизнедеятельность их корневых систем. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 104 с.
- Ратынский В. М. Концентрация редких элементов органическим веществом в процессе торфоглеобразования // VIII Междунар. конгр. по орган. геохимии: Тез. докл. М., 1977. Т. 1. С. 141—142.
- Рожаксинская М. В. Рассеянные химические элементы в почвах и растениях Восточного Приэльбрусья // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. 1965. № 2. С. 37—43.
- Ригин В. И. Атомно-абсорбционное определение олова в воде и биологических объектах с электролитическим отделением и атомизацией в газовой фазе // Журн. аналит. химии. 1979. Вып. 34, № 8. С. 1569—1573.
- Розанов Б. Г. Почвенная номенклатура на русском и иностранном языках; (Рекомендации к материалам X Междунар. конгр. почвоведов). М.: Наука, 1974. Кн. 1. 483 с.; Кн. 2. 273 с.
- Розанов Б. Г. Основы учения об окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1984. 372 с.
- Рудич К. Н. О некоторых особенностях базальтов вулкана Балаган-Тас // Бюл. вулканол. станции. 1972. № 48. С. 78—79.
- Руслева Г. Г., Белоголова Г. А. Биогеохимические поиски с опробованием лесной подстилки, мхов и древесных пород // Особенности геохимических ореолов в зоне гипергенеза. Газово-солевые ореолы: Тез. докл. Якутск: Якут. фил. СО АН СССР, 1979. С. 47—48.
- Рыжов О. В. Некоторые закономерности формирования биогеохимических аномалий в пределах месторождения Соболиное (Комсомольский район) // Проблемы охраны окружающей среды. М., 1983. С. 48—58. Деп. в ВИНТИ.
- Рябцева К. М. Геохимические особенности растительности высотных поясов Хибинских гор // Учен. зап. МГПИ им. В. И. Ленина. 1968. № 261. С. 20—29.
- Сабинин Д. А. Физиологические особенности питания растений. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 512 с.
- Сает Ю. Е. Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений. М.: Наука, 1982. 168 с.
- Сает Ю. Е., Башаркевич И. Л., Смирнова Р. С., Фридман Г. А. Геохимическая оценка влияния отходов на окружающую среду городов // Геохимические методы мониторинга. Минск: Наука и техника, 1980. С. 34—46.
- Сает Ю. Е., Игумнов Н. Я., Несвижская Н. И. Геохимические поиски эндогенных месторождений бора по вторичным ореолам рассеяния. М.: Наука, 1973. 136 с.
- Сауков А. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Изд-во МГУ, 1963. 248 с.
- Сауков А. А. Геохимия. М.: Наука, 1975. 480 с.
- Сафронов Н. И. К вопросу об «ореолах рассеяния» месторождений полезных ископаемых при поисках и разведке // Проблемы сов. геологии. 1936. № 4. С. 302—323.
- Сафронов Н. И. Выступление на Первом Всесоюзном совещании по геохимическим

- методам поисков рудных месторождений // Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1957. С. 423—425.
- Сафронов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений: (Метод. руководство). Л.: ОНТИ ВИТР, 1967. 204 с.
- Сафронов Н. И. Ореолы и потоки вторичного рассеяния месторождений // Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1968. Т. 1: Поиски. С. 179—196.
- Сафронов Н. И., Соловов А. П. Применение спектрального анализа при поисках и разведках оловорудных месторождений // Разведка недр. 1935. № 24. С. 24—27.
- Сергеев Е. А. Применение капельного анализа в разведке полезных ископаемых // Там же 1936. № 12. С. 27—29.
- Симаненко В. П. Вулкано-плутонические комплексы северной части Самаргинского рудного района (Приморье): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Владивосток, 1977. 20 с.
- Симорин А. М. Биогеохимический метод поисков полезных ископаемых // Колыма, 1956. № 10. С. 35—37.
- Скарлыгина-Уфимцева М. Д., Березкина Г. А., Черных В. Б. Некоторые особенности биогеохимии растений Буруктальского гипербазитового массива (Южный Урал) // Изв. ВГО. 1970. № 5. С. 459—465.
- Скарлыгина-Уфимцева М. Д., Березкина Г. А., Черных В. Б. О миграции элементов, сопутствующих никелево-кобальтовому орудению на примере Буруктальского месторождения (Южный Урал) // Вестн. ЛГУ. 1971. № 6. С. 124—134.
- Скарлыгина-Уфимцева М. Д., Черных В. Б., Березкина Г. А. Биогеохимические особенности медноколчеданных месторождений Южного Урала. Л.: Изд-во ЛГУ, 1976. 151 с.
- Славина Г. П. О возможности использования микроорганизмов при поисках рудных месторождений // Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1957. С. 302—305.
- Смирнов С. С. Зона окисления оловорудных месторождений // Геология олова. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. С. 181—214.
- Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. 3-е изд. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1955. 327 с.
- Смолянинов Н. А. Практическое руководство по минералогии. М.: Госгеолтехиздат, 1955. 432 с.
- Снытко В. А. Геохимические исследования метаболизма в геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 149 с.
- Соколов Л. С. Применение полевых рентгенорадиометрических методов анализа на цезий, олово, барий при геохимических поисках // Некоторые примеры использования геохимических методов при прогнозировании и поисках скрытого орудения. М.: ИМГРЭ, 1976. С. 86—96.
- Солнцева Н. П. Корреляционный анализ при изучении геохимии горно-таежных ландшафтов в нормальном геохимическом поле и на рудопроявлениях вольфрама // Микроэлементы в ландшафтах Советского Союза. М.: Изд-во МГУ, 1969. С. 204—247.
- Солнцева Н. П. Геохимическая устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам (принципы и методика изучения, критерии прогноза) // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С. 181—216.
- Солнцева Н. П., Касимов Н. С. Геохимические барьеры в ландшафтах и техногенез // Охрана природы окультуренных ландшафтов. Тарту, 1979. (Тр. по охране природы; № 2).
- Соловов А. П. Основы теории и практики металлотрических съемок. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1959. 270 с.
- Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 295 с.
- Солодянкин М. В., Жбанов Э. Ф., Жбанова К. И. Методика полевого озонения флюориметрических проб // Материалы по геологии и полезным ископаемым Бурят. АССР. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1966. Вып. 10. С. 230—233.
- Сорокин И. П. Растворимость касситерита в кислотах // Тр. Всесоюз. ин-та золота и редких металлов (ВНИИ-1 МЦМ СССР). 1956. Разд. 6, вып. 5. С. 18—19.
- Сотникова С. И. Геохимия ландшафтов речных долин Южных Мугоджар (на примере долины р. Кундузды) // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1970. № 4. С. 104—107.

- Сотникова С. И. Геохимические особенности ландшафтов речных долин сухих степей, приуроченных к зонам разломов (на примере долины р. Шетиргиз в Южных Мугоджарах) // Изв. ВГО. 1971. Т. 103, № 5. С. 457—463.
- Сотникова С. И. Геохимия луговых и болотных ландшафтов зоны сухих степей (на примере Южных Мугоджар): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ. 1972. 32 с.
- Сочеванов Н. Н., Матвеев В. С. Биофизический метод в геологических исследованиях // Геология руд. месторождений, 1974. № 8. С. 77—85.
- Судов Б. А. Опыт применения биогеохимического метода для поисков полиметаллических руд в различных ландшафтных условиях Эстонской ССР // Вестн. ЛГУ. Геология. География. 1964. № 24. С. 106—114.
- Судов Б. А. Методика геохимических поисков полиметаллических руд на территории северной Эстонии в зависимости от ландшафтных условий: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 1966. 21 с.
- Сукачев В. Н. Избранные труды. Л.: Наука, 1972. Т. 1: Основы лесной типологии и биогеоценологии. 419 с.
- Сыромятников Ф. В. Экспериментальное исследование явлений растворимости минералов и их классификация // Минеральное сырье. М.: Госгеолтехиздат, 1961. Вып. 2. С. 144—163.
- Тайсаев Т. Т. Особенности поглощения микроэлементов даурской лиственницей, произрастающей над различными горными породами // Биогеохимия растений. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. С. 177—182.
- Тайсаев Т. Т. Геохимические ландшафты и районирование Витимского плоскогорья по условиям геохимических поисков: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Иркутск, 1974. 29 с.
- Тайсаев Т. Т. Применение торфогеохимического метода при поисках колчеданно-полиметаллических и молибденовых месторождений // Геохимические поиски месторождений цветных металлов. Красноярск: Кн. изд-во, 1977. С. 130—135.
- Тайсаев Т. Т. Геохимия таежно-мерзлотных ландшафтов и поиски руд. Новосибирск: Наука, 1981. 137 с.
- Талипов Р. М. Биогеохимические поиски полиметаллических и медных месторождений в условиях Узбекистана. Ташкент: Фан, 1966. 105 с.
- Талипов Р. М. Некоторые особенности накопления микроэлементов в растениях различных рудных объектов // Узб. геол. журн. 1980. № 2. С. 14—19.
- Талипов Р. М., Карабаев К. К. Золото в фитосфере золоторудных проявлений Узбекистана // Новое в методике геохимических поисков. М.: ИМГРЭ, 1978. С. 72—79.
- Талипов Р. М., Карабаев К. К., Ахунходжаева Н. Некоторые результаты биогеохимических исследований в Северном Тамдытау (Западный Узбекистан) // Геология и рудоносность Узбекистана. Ташкент: Фан, 1971. С. 197—203.
- Талипов Р. М., Хатамов Ш. О распределении микроэлементов в растениях Тамдынских гор (Центральные Кызылкумы) // Узб. геол. журн. 1974. № 1. С. 23—27.
- Тараканова Е. И. О микроэлементах в торфяниках Среднего Урала и Западного Зауралья // Литология и полез. ископаемые. 1968. № 2. С. 136—140.
- Тарасов В. Н. Бурятское геологическое управление // Геохимические поиски рудных месторождений: (Основные результаты и направления дальнейших работ в геологических организациях Советского Союза). М.: Мингео СССР, 1969. С. 87—92.
- Таусон В. О. Наследство микробов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 148 с.
- Таусон Л. В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 232 с.
- Таусон Л. В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 1977. 279 с.
- Таусон Л. В. Геохимия сегодня и завтра // Наука в СССР. 1983а. № 1. С. 69—72.
- Таусон Л. В. Современные проблемы геохимии // Вестн. АН СССР. 1983б. № 5. С. 89—96.
- Таусон Л. В., Захаров М. Н. Геохимические особенности калиевых щелочных базальтоидов Приаргунья // Геохимия. 1974. № 3. С. 380—386.
- Тестов В. И. О биогеохимических поисках мусковитоносных пегматитов. // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1966. Т. 1. С. 277—279.
- Тиссен С. Геохимические и фитобиологические связи в свете прикладной геофизики //

- Геохимические методы поисков рудных месторождений. М.: Изд-во иностр. лит., 1954. С. 325—372.
- Ткалич С. М. Опыт исследования растений в качестве индикаторов при геологических поисках и разведках // Вестн. Дальневост. фил. АН СССР. 1938. № 32(5). С. 3—25.
- Ткалич С. М. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений // Материалы совещания геологов Восточной Сибири и Дальнего Востока по методике геолого-съемочных и поисковых работ. Чита: Кн. изд-во, 1956. С. 86—101.
- Ткалич С. М. Практическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 52 с.
- Ткалич С. М. Биогеохимические аномалии и их интерпретация // Материалы по геологии и полезным ископаемым Иркутской области. Иркутск: Кн. изд-во, 1961. Вып. 3(30). С. 4—47.
- Ткалич С. М. Некоторые общие закономерности содержания химических элементов в золе растений // Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ: Бурят. фил. СО АН СССР, 1969. С. 83—90.
- Ткалич С. М. Фитогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых. Л.: Недра, 1970. 176 с.
- Тойка М. А. Содержание микроэлементов в шунгитовых почвах Карелии // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ: Бурят. фил. СО АН СССР, 1966. Т. 1. С. 102—103.
- Томищн А. Т. О содержании микроэлементов у некоторых видов совок (Noctuidae) на рудных месторождениях // Изв. Сиб. отд-ния АН СССР. Биол. науки. 1971. Вып. 1, № 5. С. 89—94.
- Трофимов С. С., Рагим-заде Ф. К. Проблемы оптимизации техногенных экосистем Сибири // Техногенные экосистемы. Организация и функционирование. Новосибирск: Наука, 1985. С. 3—12.
- Тюрина Г. И., Шибрик В. И. Опыт биогеохимического изучения участка полиметаллического месторождения // Материалы по геологии и полезным ископаемым Центрального Казахстана. М.: Госгеолтехиздат, 1962. Вып. 2. С. 44—48.
- Удодов П. А., Рассказов Н. М., Шварцев С. Л. Области применений и задачи гидрогеохимических поисков рудных месторождений // Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1980. С. 47—59.
- Удодов П. А., Шварцева Н. М. Режимные биогеохимические наблюдения на участке кварцево-сульфидной минерализации // Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. С. 84—85.
- Усенко С. Ф., Чеботарев М. В. Геология и оловоносность Приамурья. М.: Недра, 1973. 236 с.
- Федотов А. И. Некоторые черты комплексных золото-касситеритовых россыпей и связь их с источниками питания // Дальность переноса золота при формировании россыпей. Якутск: Якут. фил. СО АН СССР, 1977. С. 59—61.
- Федчин Ф. Г. Особенности структуры, магматизма и оловоносности Хингано-Олонойского прогиба. М.: Наука, 1964. 152 с.
- Ферсман А. Е. Геохимия. Л.: Госхимтехиздат, 1934. Т. 1. 324 с.
- Ферсман А. Е. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1953. Т. 2. 768 с.
- Ферсман А. Е. Периодический закон Менделеева в геохимии // Избр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1958. Т. 4. С. 23—103.
- Ферсман А. Е. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1959. Т. 5. 859 с.
- Флеров Б. Л. Применение оловометрической съемки при поисках коренных месторождений олова // Редкие металлы. 1935. № 1. С. 31—39.
- Флеров Б. Л. К методике поисков коренных месторождений олова // Сов. геология. 1938. № 10. С. 63—81.
- Хокс Х. Е., Уэбб Дж. С. Геохимические методы поисков минеральных месторождений. М.: Мир, 1964. 487 с.
- Холодов В. Н. Галлий // Металлы в осадочных толщах. благородные металлы. Радиоактивные, рассеянные и редкоземельные элементы. М.: Наука, 1966. С. 229—249.
- Хоскинг К. Ф. Г. Проблемы применения геохимических методов поисков в Корнуэлле, Англия // Геохимические поиски. М.: Мир, 1973. С. 90—108.
- Хрусталева М. А. Тяжелые металлы в ландшафтах бассейна Можайского водо-

- хранилища // Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 73—80.
- Чернявский Ю. А., Талалов В. А., Талипов Р. М., Манзелинов Н. И. Опыт проведения и результаты биогеохимической съемки в Центральных Кызылкумах // Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: ИМГРЭ, 1982. Т. 4. С. 44—46.
- Черныхов В. Б. Некоторые биогеохимические особенности растительного покрова Южно-Гайского медноколчеданного месторождения (Южный Урал) // Биогеохимия растений. Улан-Удэ. Бурят. кн. изд-во, 1969. С. 151—153.
- Чистякова Н. И., Маршукова Н. К. Поведение серебра в зоне гипергенеза оловорудных месторождений по данным локального рентгено-спектрального анализа // Геохимия. 1978. № 12. С. 1882—1888.
- Чухров Ф. В., Ермилова Л. П., Каленчук Г. Е., Никитина И. Б. К фитогеохимии некоторых регионов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1981. № 7. С. 86—100.
- Чухров Ф. В., Ермилова Л. П., Чуриков В. С., Каленчук Г. Е. К вопросу об основах фитогеохимического метода поисков сульфидных руд в степной части Казахстана // Там же. 1978. № 3. С. 5—28.
- Шахова Е. Г. Применение литометаллометрии, флорометаллометрии и торфометаллометрии при поисках месторождений редкометалльных гранитных пегматитов натролитивного типа. Л.: ВИТР, 1958. С. 5—25.
- Швецов П. Ф. Криогенные геохимические поля на территории многолетней криолитозоны // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 1. С. 46—51.
- Шило Н. А. Основы учения о россыпях. М.: Наука, 1981. 383 с.
- Шмидт Н. Г., Еремеев А. Н., Соловов А. П. Существует ли биофизический метод поисков рудных месторождений? // Геология месторождений. 1975. № 5. С. 88—96.
- Шербина В. В. Скандий // Металлы в осадочных толщах. Черные металлы. Цветные легкие металлы. М.: Наука, 1964. С. 440—444.
- Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов. Пушкино, 1976. 179 с.
- Эпштейн Е. Ф. Флорогеохимический метод поисков месторождений полезных ископаемых (флорометаллометрия) // Изв. Днепропетров. горн. ин-та им. Артема. 1948. Т. 20. С. 3—23.
- Юсупов Р. Г., Талипов Р. М. Результаты биогеохимических исследований в районе Кураминских гор Узбекской ССР // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1966. Т. 1. С. 245—246.
- Юсупов Р. Г., Талипов Р. М. О некоторых особенностях распределения микроэлементов в растениях в районе Кураминских гор Узбекской ССР // Биогеохимические поиски рудных месторождений. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1969. С. 112—121.
- Ярмишко В. Т., Демьянов В. А. Строение корневых систем древесных пород в горах Севера Сибири // Ботан. журн. 1983. Т. 68, № 9. С. 1225—1235.
- Яхонтова Л. К., Нестерович Л. Г. Роль бактерий в гипергенном процессе на рудных месторождениях // Минерал. журн. 1982. Вып. 4, № 1. С. 3—9.
- Amaral L. M. Relacoes de afinidade da flora comos depositos mineralizados // I Semin. brasil. sobre tecn. explor. geol., Pocos de Caldas, 24-28 maio, 1976. Porto Alegre, S.a. P. 69—71.
- Asami T. The Ichi and Maruyama Riber basins: Soil pollution by cadmium, zinc, lead and copper discharged from Ikano Mine // Heavy metal pollution in soils of Japan. Tokyo: Jap. Sci. Soc. press, 1981. P. 125—136.
- Barakso J. H., Gower J. A. Geochemical prospecting for tin // West. Miner. 1973. Vol. 46, N 2. P. 37—44.
- Björklund A. Sources and reduction of metal content variation in biogeochemical prospecting // Bull. Geol. Surv. Finl. 1971. N 251. P. 1—42.
- Bloss F. D. Geochemical prospecting in the southeastern states // Southeast. Geol. 1960. Vol. 1, P. 33—38.
- Bose S. K. Recent advances in geochemical prospecting in India for metalliferous ores // Indian Miner. 1964. Vol. 18, N 1. P. 55—59.
- Bowen H. J. M. Trace elements in biochemistry. L.: Acad. press, 1966. 234 p.
- Bradshaw P. M., Stoyel A. J. Exploration for blind orebodies in S. W. England by the use of geochemistry and fluid inclusions // Trans. Inst. Mining and Met. 1968. Vol. 77, N 10. P. 144—152.
- Brooks R. R. Biogeochemical methods of prospecting // Austral. Mining. 1968. Vol. 60, N 9. P. 81—83.

- Brooks R. R.* Bryophytes as a guide to mineralization // *N. Z. J. Bot.* 1971. Vol. 9. P. 674—677.
- Brooks R. R.* Biogeochemistry and geobotany in mineral exploration. N. Y.: Harper and Row, 1972. 292 p.
- Brooks R. R.* Indicator plants for mineral prospecting — a critique // *J. Geochem. Explor.* 1979a. Vol. 12, N 1. P. 67—78.
- Brooks R. R.* Advances in botanical methods of prospecting for minerals. 2; Advances in biogeochemical methods of prospecting // *Geophys. and geochem. search for met. ores proc. explor. 77: Intern. symp., Ottawa, 1977. Ottawa, 1979b.* P. 397—410.
- Brooks R. R.* Biological methods of prospecting for gold // *J. Geochem. Explor.* 1982. Vol. 17, N 2. P. 109—122.
- Brooks R. R., Lyan G. L.* Biogeochemical prospecting for molybdenum in New Zealand // *N.Z.J. Sci.* 1966. Vol. 9. P. 706—718.
- Brooks R. R., Iee J., Jaffre T.* Some New Zealand and New Caledonian plant accumulators of nickel // *J. Ecol.* 1974. Vol. 62, N 9. P. 493—499.
- Brooks R. R., Trow J. M., Bolviken B.* Biogeochemical anomalies in Fennoscandia: A study of copper, lead and nickel levels in *Melandriune Dioicum* and *Viscaria Alpina* // *J. Geochem. Explor.* 1979. Vol. 11, N 1. P. 73—87.
- Brundin N.* Method of locating metals and minerals in the ground. Pat. 2158980 (US), 1939. May 16.
- Bryner L. C., Anderson R.* Microorganisms in leaching sulfide minerals // *Ind. and Eng. Chem.* 1957. Vol. 49, N 10. P. 1721—1724.
- Buck L. J.* Association of plants and minerals // *J. N. Y. Bot. Garden.* 1949. Vol. 50, N 600. P. 265—269.
- Buck L. J.* Shrub aids in determining extent of ore body. N. Y., 1953. 10. p. (*Geol. Surv. Bull. A*; N 1000-A).
- Bundtzen T. K.* Alaskas strategic minerals // *Alaska Geogr.* 1982. Vol. 9, N 4. P. 52—63.
- Canney F. C., Cannon H. L., Cathrall J. B., Robinson K.* Autumn colour, insects, plant disease and prospecting // *Econ. Geol.* 1979. Vol. 74, N 7. P. 1673—1676.
- Cannon H. L.* Botanical prospecting for ore deposits // *Science.* 1960. Vol. 132, N 3427. P. 591—598.
- Cannon H. L.* Use of plant indicators in groundwater surveys, geologic mapping and mineral prospecting // *Taxon.* 1971. Vol. 20, N 2/3. P. 227—256.
- Cannon H. L., Shacklette H. T., Bastron H.* Metal absorption by *Equisetum* (horstaie). N.Y., 1968. 21 p. (*Geol. Surv. Bull. A*; N 1278).
- Chapman R. M., Shacklette H. T.* Geochemical exploration in Alaska // *Geol. Surv. Profess. Pap. B.* 1960. N 400. P. 104—107.
- Chilinska H.* Zastosowanie metod geochemicznych i ich przrgrud cyny w Gorach Izerskich // *Prz. Geol.* 1963. Vol. 11, N 4. S. 200—205.
- Chowdhury A. N., Bose B. B.* Role of humus matter in the formation of geochemical anomalies // *Proc. Austral. Inst. Mining and Met. Spec. Iss.* 1971. Vol. 11. P. 410.
- Cole M. M.* The use of vegetation in mineral exploration in Australia // *Proc. Austral. Inst. Mining and Met.* 1965. Vol. 6. P. 1429—1458.
- Cole M. M.* Biogeographical, geobotanical and biogeochemical investigations connected with exploration for nickel-copper ores in the hot, wet summer dry winter savanna woodland environment // *Inst. Mining and Met.* 1971. Vol. 71, N 10. P. 199—209.
- Cole M. M., Le Roex H. D.* The role of geobotany, biogeochemistry and geochemistry in mineral exploration South West Africa and Botswana: A case history // *Trans. Geol. Soc. S. Afr.* 1978. Vol. 81, N 3. P. 277—317.
- Correll R. L., Taylor R. G.* A geochemical-geobotanical study of the Siberia tin-copper lode in the Emuford district of the Herbertin tin field, North Queensland, Australia // *Proc. Australas. Inst. Mining and Met.* 1975. N 255. P. 7—13.
- Dahm K. P., Beuge R., Bräuer H., Bernstein K. H.* Metodik der Untersuchung primärer geochemischer Anomalien von verdeckten Erzlagerstätten im Erzgebirge // *Ztschr. angew. Geol.* 1968. Bd. 14, N 7. S. 355—362.
- Davis R. D., Beckett P. H. T., Wollan E.* Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley // *Plant and Soil.* 1978. Vol. 49, N 2. P. 395—408.

- Davy R.* Geochemical prospecting for tin // *Amdel Bull.* 1972. N 14. P. 33—52.
- Debnam A. H.* Biogeochemical prospecting investigations in the Northern Territory, 1954 // *Bull. Bur. Miner. Resour. Geol. and Geophys.* 1955. Vol. 43. P. 1—24.
- Degens E. T., Williams E. G., Keith M. L.* Environmental studies of carboniferous sediments. 1: Geochemical criteria for differentiating marine from fresh-water shales // *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 1957. Vol. 41, N 11. P. 24—27.
- Duncan D. W., Drummond A. D.* Microbiological leaching of prophyry copper type mineralization: Post-leaching observations // *Canad. J. Earth Sci.* 1973. Vol. 10, N 4. P. 476—484.
- Dunn C. E.* The biogeochemical expression of deeply buried uranium mineralization in Saskatchewan, Canada // *J. Geochem. Explor.* 1981. Vol. 15, N 1/3. P. 437—452.
- Duvigneaud P.* The vegetation of Katanga and its metalliferous soils // *Bull. Soc. roy. bot. Belg.* 1958. Vol. 90. P. 127—286.
- Egginton P. A.* One aspect of the drainage problem in biogeochemical prospecting // *Pap. Geol. Surv. Canada A.* 1983. N 88. P. 343—346.
- Ehlin P. O.* Seasonal variations in metal contents of birch // *Geol. fören. Stockholm förhandl.* 1982. Bd. 104, N 1. S. 63—67.
- Fortescue J. A. C.* Biogeochemistry, plant growth and the environment // *CIM Bull.* 1971. Vol. 64. P. 77—82.
- Gandhi S. M., Aswathanarayana U.* A possible base-metal indicator plant from Mamandur, South India // *J. Geochem. Explor.* 1975. Vol. 4. P. 247—250.
- Gargulak M.* Study of secondary aureoles of Sb-mineralization in Spissko—Gemerske rudohrie by the method of moving correlation coefficients // *Symp. geochem. endogenous and exogenous process.* Bratislava, 1983. P. 272—281.
- Goldschmidt V. M.* Über die Anreicherung seltener Elemente in Steinkohlen // *Nachr. Akad. Wiss. Göttingen. II Math.-phys. Kl.* 1933. Bd. 3. S. 38.
- Goldschmidt V. M.* Distribution of chemical elements in minerals and rocks // *Chem. Soc. J.* 1937. Vol. 4. P. 48—53.
- Goldschmidt V. M.* *Geochemistry.* Oxford: Clarendon, 1954. 731 p.
- Green J.* Abundances and distribution of elements // *Cal. Douglas Adv. Res. Lab. Res. Commun.* 1969. N 91. P. 1—80.
- Groves R. W., Steveson B. G., Steveson E. A., Taylor R. C.* Geochemical and geobotanical studies of the Emuford district of the Herberton tin field, North Queensland, Australia // *Trans. Inst. Mining and Met. B.* 1972. N 81. P. 127—137.
- Hale M.* Regional geochemical atlas // *Roy. School. Mines J.* 1979. N 29. P. 13—22.
- Hall J. S., Both R. A., Smith F. A.* Comparative study of rock, soil and plant chemistry in relation to nickel mineralization in the Pioneer area, Western Australia // *Proc. Australas. Inst. Mining and Met.* 1973. N 247. P. 11—12.
- Hallas L., Means J. C., Cooney J. J.* Methylation of tin by estuarine microorganisms // *Science.* 1982. Vol. 215, N 4539. P. 1505—1507.
- Harbaugh J. W.* Biogeochemical investigations in the Tri-State district // *Econ. Geol.* 1950. Vol. 45, N 6. P. 548—567.
- Hornbrook E. H. W.* The development and use of biogeochemical prospecting methods for metallic mineral deposits // *Canad. Mining. J.* 1969. Vol. 90, N 4. P. 108—109.
- Hosking K. F. G.* Applied geochemistry in Cornwall // *Trans. Roy. Soc. Cornwall.* 1959. Vol. 18. P. 309—356.
- Hosking K. F. G.* The distribution of Sn, Cu, Zn, Be and P in the stream sediments of the Lands End Peninsula, Cornwall // *Camborne School. Mines Mag.* 1964. Vol. 64. P. 15—32.
- Hosking K. F. G.* The search for tin // *Mining Mag.* 1965. Vol. 113, N 6. P. 448—461.
- Howard-Williams C.* The ecology of *Becium homblei* in Central Africa with special reference to metalliferous soils // *J. Ecol.* 1970. Vol. 58. P. 745—764.
- Hsu L. C., Galli P. E.* Origin of the scheelite-powellite series of minerals // *Econ. Geol.* 1973. Vol. 68, N 5. P. 681—696.
- Hummel C. L., Chapman R. M.* Geologic and economic significance of some geochemical results obtained from stream sediment samples near Nome, Alaska // *Geol. Profess. Pap. B.* 1960. N 400. P. 30—33.
- Ivashov P. V.* Specific geochemical features of organic matter from continental Jurassic sediments of the Russian Platform // *8th Intern. congr. organic geochem.* Moscow, 1977. P. 107—108.
- Ivashov P. V.* Geochemistry of tin the brown forest soils of the Far East // *Abstr.*

- Rep. Pacif. sci. Congr. USSR: XIV P. S. C. Moscow; Khabarovsk, 1979. P. 156—157.
- Ivashov P. V.* Geochemistry of Quaternary eluvium and deluvium formations on the Far Eastern granite masses // Abstr. rep. XI INQUA Congr. Moscow 1982. Vol. 3. P. 149—150.
- Iwaschow P. W.* Die Geochemie der mitteljurassischen Sande im Nordosten der Russischen Plattform // Ztschr. angew. Geol. 1967. Bd. 13, H. 9. S. 477—480.
- Iwashow P. W.* Biogeochemische Prozesse bei Bildung von Sideriterzen // Geologie. 1968. H. 3. S. 298—310.
- Jaffre T., Brooks R. R., Lee J., Reeves R. D.* *Sebertia acuminata*: A nickel accumulating plant from New Caledonia // Science. 1976. Vol. 193, N 5. P. 579—580.
- Kaewbaidhoon S.* Problems of applying geochemical methods in finding tin deposits in Thailand // 2nd techn. conf. tin, Bangkok, 1969. Bangkok, 1971. Vol. 2. P. 441—452.
- Kato T.* The Jkuno-Akenobe metallogenetic province, Japan // J. Geol. and Geogr. 1927. Vol. 5, N 3. P. 121—133.
- Kato T.* Some characteristic features of the ore deposits of Japan related genetically to the Late Tertiary volcanic activity, Japan // Ibid., 1928. Vol. 6, N 1/2. P. 31—48.
- Kauranne L. K.* Pedogeokemiallisesta malminetsihnästä // Geologi. 1958. N 10. S. 6—7.
- Kauranne L. K., Lindberg E.* Heavy metal analysis of humus in prospecting // Bull. Commiss. geol. Finl. 1961. N 196. P. 455—472.
- Kokkola M.* Application of humus to exploration // Prosp. areas Glaciat, Terrain. Pap. symp., Helsinki, 1977. L., 1977. P. 104—110.
- Koksoy M., LeRooy L. W.* Trace elements in lichens — a possible geochemical exploration tool (Abstr.) // Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. 1962. N 68. P. 92—93.
- Krendelew F. P., Pogrebnyak J. F.* The concentrations of nonferrous and rare elements in the birch sap as the indications of the hidden deposits // Meth. geochem. prosp. Intern. symp. Ostrava, Sept., 1979. Prague, 1979. P. 146—148.
- Kronberg B. J., Brown J. R., Fyfe W. S.* et al. Distributions of trace elements in Western Canadian coal ashes // Fuel. 1981. Vol. 60, N 1. P. 59—63.
- Lee J., Brooks R. R., Reeves R. D.* et al. Plant soil relationships in New Caledonian: Serpentine flora // Plant and Soil. 1974. Vol. 46. P. 675—680.
- LeRooy L. M., Koksoy M.* The lichen — a possible plant medium for mineral exploration // Econ. Geol. 1962. Vol. 57, N 1. P. 107—111.
- Lindner M.* Biochemiczne metody poszukiwawcze // Prz. geol. 1960. Wol. 8, N 9. S. 477.
- Lounamaa J.* Trace elements in plants growing wild on different rocks in Finland: A semiquantitative spectrographic survey // Vonamo. 1956. Vol. 29, N 4. P. 1—196.
- Loering T. G., Hedall J. A.* The use of Sagebush (*Artemisia*) as a biogeochemical indicator of base-metal deposits in Precambrian rocks of West-Central Colorado // J. Geochem. Explor. 1983. Vol. 18, N 3. P. 205—230.
- Madgwick J. C., Ralph B. J., Sadler W. R.* Sulphide oxidizing bacteria of copper porphyry ore // Proc. Australas. Inst. Mining and Met. 1981. N 279. P. 37—40.
- Malhoira P. D.* Geochemical prospecting for ore deposits // Indian Mining J. 1957. Vol. 5, N 10. P. 76—81.
- Marmo V.* Geochemical and biogeochemical prospecting // Geologi. 1953. N 5. S. 2—3.
- Marmo V.* Use of ground waters and plant ashes in prospecting for ore // Tutkimusrap. Geol. tutkimuslait. 1958. N 61. S. 55—120.
- Matula I.* Use of biogeochemical methods for prospecting for deposits in the Spissko Gemersky region (in Slovak) // Miner. slovac. 1973. Vol. 5. P. 21—27.
- McLeod I. R.* Tin // Austral. Miner. Ind. 1982. N 18. P. 256—266.
- Mecklenburg R. A., Tukey H. B., Morgan J. V.* Mechanism for the leaching of calcium from foliage // Plant Physiol. 1966. Vol. 41, N 4. P. 610—613.
- Millman A. P.* Biogeochemical investigations in areas of copper-tin mineralization in South-West England // Geochim. et cosmochim. acta. 1957. Vol. 12. P. 85—93.
- Mitchell R. L.* Trace elements in soils and factors that affect their availability // Bull. Geol. Soc. Amer. 1972. Vol. 83. P. 1069—1076.
- Mitra S.* Mercuriometric investigation for base metal exploration and analytical techniques // Proc. Indian. Acad. Sci. A. 1970. Vol. 36, N 4. P. 191—210.
- Moort J. C., Russell D. W.* Comparative value of soil, decayed organic material and vegetation analysis in Western Tasmania // Meth. geochem. prospect. Intern. Symp., Ostrava, Sept., 1979. Prague, 1979. P. 156—165.

- Mulligan R.* Tin in stratabound massive sulphide deposits // *Met. assoc. acid magm. Intern. geol. correl. program. symp., Karlovy Vary, 1974. Prague, 1978. Vol. 3. P. 439—446.*
- Nandi M. M., Sant B. R.* Bioleaching of Bakha, Mosaboni, Chitradurga and Khetri copper ores // *Vishdakarma, 1980. Vol. 21, N 1. P. 12—13.*
- Nicolas D. J., Brooks R. R.* Biogeochemical prospecting for zinc and lead in the Te-Aroha region of New Zealand // *Proc. Australas. Inst. Mining and Met. 1969, N 231. P. 59—66.*
- Nicolls O. W., Provan D. M. J., Cole M. M., Tooms J. S.* Geobotany and geochemistry in mineral exploration in the Dugald River area, Cloncurry district, Australia // *Trans. Inst. Mining. and Met. 1965. Vol. 74. P. 695—799.*
- Nielsen J. S., Brooks R. R., Boswell C. R., Marshall N. J.* Statistical evaluation of geobotanical and biogeochemical data by discriminant analysis // *J. Appl. Ecol. 1973. Vol. 10. P. 251—258.*
- Palmquist S., Brundin N.* Swedish prospecting Co, P. M. angående wär geokemiska prospekterings method. Malmö. 1939. P. 58—64.
- Pelisek J.* The occurrence of the micro-element tin in West Moravian soils // *Sb. geol. věd. TG. 1942. Roč. 17. S. 46—49.*
- Peng N. A.* Geochemical prospecting in the Kutu area of Pahang, Malaysia // 2nd techn. conf. on tin, Bangkok, 1969. Bangkok, 1971. Vol. 2. P. 453—466.
- Pokorny J.* Geochemical prospecting for ores in the Bohemian massif, Czechoslovakia // *Geochemical explorations, 1974. Amsterdam etc., 1975. P. 77—83.*
- Presant E. W.* Geochemistry of iron, manganese, lead, copper, zinc, arsenic, antimony, silver, tin and cadmium in the soils of the Bathurst area, New Brunswick // *Bull. Geol. Surv. Canad. 1971. Vol. 174. P. 87—93.*
- Quin B. F., Brooks R. R., Boswell C. R., Painter J. A. C.* Biogeochemical exploration for tungsten at Barrytown, New Zealand // *J. Geochem. Explor. 1974. Vol. 3. P. 43—51.*
- Rankama R.* Some recent trends in prospecting: Chemical, biochemical and geobotanical methods // *Mining and Met. 1947. Vol. 28, N 486. P. 282—284.*
- Rattigan J. H.* Geochemical ore grades and techniques in exploration for tin // *Proc. Australas. Inst. Mining. and Met. 1963. N 207. P. 137—151.*
- Reilly C.* Accumulation of copper by some Zambian plants // *Nature. 1967. Vol. 215, N 8. P. 667—668.*
- Riddell J. E.* Geochemical dispersion patterns in soils of Mount New Brunswick // *Proc. symp. geochem. prosp. Ottawa, Apr., 1966. Ottawa, 1967. P. 233—248. (Geol. Surv. Canada Pap.; N 66).*
- Rodrigues B. J. J.* Prospecção geoquímica // *Rev. brasil. quim. 1960. Vol. 50, N 295. P. 39—55.*
- Rodvanec M.* Soil geochemical prospection in the Medzev—Prakovce—Kosice triangle area // *Symp. geochem. endogenous and exogenous process. Bratislava, 1983. P. 256—271.*
- Sainsbury C. L., Hamilton J. C., Hufjan C.* Geochemical cycle selected trace elements in the Sn-W-Be district, Western Seward Peninsula, Alaska: A reconnaissance survey // *Geol. Surv. Bull. F. 1968. N 1242. P. 1—42.*
- Salmi M.* Prospecting for bog z covered ore by means of peat investigations // *Bull. Commiss. geol. Finl. 1955. N 169.*
- Salmi M.* Peat and bog plants as indicators of ore minerals in Vihanti ore field in Western Finland // *Bull. Commiss. geol. Finl. 1956. N 175.*
- Sant B. R.* Microbial oxidation of iron pyrites // *Metals and Miner. Rev. 1981. Vol. 20, N 4. P. 79—80.*
- Santra D. K., Bose S. K.* Pathfinders in geochemical and biogeochemical prospecting for copper in Turamdih area, Singhbhum copper belt, Bihar // *Rec. Geol. Surv. India. 1982. Vol. 111, N 2. P. 87—104.*
- Schaw W. H. R.* Studies in biogeochemistry: A biogeochemical period table // *Geochim. et cosmochim. acta. 1960. Vol. 19, N 3. P. 419—429.*
- Severne B. C., Brooks R. R.* A nickel-accumulating plant from Western Australia // *Planta. 1972. Vol. 103. P. 91—94.*
- Shikawa M., Tono N.* // *J. Mining and Met. Inst. Jap. 1972. Vol. 88, N 1016. P. 668—669.*
- Shikawa M., Wakasa K., Tono N.* Geochemical exploration for Kuroko deposites

- in Northeast Honshu, Japan // *Geochemical explorations*. 1974. Amsterdam etc., 1975. P. 65—76.
- Smith J. D., Burton J. D. The occurrence and distribution of tin with particular reference to marine environment // *Geochim. et cosmochim. acta*. 1972. Vol. 36, N 5. P. 621—629.
- Swaine D. J., Mitchell R. L. Trace element distribution in soil profiles // *J. Soil Sci.* 1960. Vol. 11, N 2. P. 347—368.
- Tacl A., Slacik J. Biogeochemie jako metoda vyhledavani rudnich lozisek // *Symp. pracov. bansk. prum. Pribram. Sekt. G. S. I.*, 1972. P. 407—409.
- Takeda E. // *Bull. Geol. Surv. Jap.* 1981. Vol. 32, N 11. P. 583—682.
- Teh G. H., Schwartz W., Amstutz G. C. Microbiological leaching of tin minerals by *Thiobacillus ferrooxidans* and organic agents // *Ore genesis: State art*. Berlin etc., 1982. P. 706—724.
- Thyssen S. V. Geochemische und pflanzenbiologische Zusammenhänge im Lichte der angewandten Geophysik // *Beitr. angew. Geophys.* 1942. Bd. 10, H. 1. S. 35—84.
- Timperley M. H., Brooks R. R., Peterson F. J. Prospecting for copper and nickel in New Zealand by statistical analysis of biogeochemical data // *Econ. Geol.* 1970. Vol. 65, N 3. P. 505—510.
- Tooms J. S., Kaewbaidhoon S. Dispersion of tin in soil over mineralization at Sungei Lembing, Malaya // *Trans. Inst. Mining and Met.*, 1961. Vol. 70. P. 475—490.
- Trudinger P. A. Experimental geomicrobiology in Australia // *Earth-Sci. Rev.* 1976. Vol. 12. P. 259—278.
- Tukey H. B., Tukey H. H. The loss of organic and inorganic materials by leaching from leaves and other above-ground plant parts // *Radioisotopes on soil-plant, nutrition studies*. Vienna: Intern. Atom. Energy agency, 1962. P. 289—302.
- Varlamoff N. The bearing of tin minerals and ores in the weathering zone and the possibility of geochemical exploration for tin // *Quart. Col. School. Mines*. 1969. Vol. 64, N 1. P. 479—496.
- Venkatesh V. Geobotanical methods of mineral prospecting in India // *Indian. Miner.* 1964. N 18. P. 1—101.
- Venkatesh V. Geobotany in mineral exploration // *Steel Mines Rev.* 1966. N 6. P. 3—5.
- Vogt J. H. Chemical and botanical prospecting at Roros (in Norweg.). // *Kgl. norske vid. selsk. forhandl.* 1939. Bd. 12. S. 82—83.
- Warren H. V. Pollen: A possible tool for exploration geologists and environmentalists // *West. Miner.* 1980. Vol. 53, N 3. P. 35—36.
- Warren H. V., Delavault R. E. Some biogeochemical investigations in Eastern Canada // *Canad. Mining J.* 1955. Vol. 76, N 7. P. 49—54.
- Webb J. S., Millman A. P. Heavy metals in vegetation as a guide to ore // *Trans. Inst. Mining and Met.* 1951. Vol. 69, N 2. P. 473—504.
- West T. S. Trace element determination // *Educ. Chem.* 1979. Vol. 16, N 2. P. 62—65.
- Whithead N. E., Brooks R. R. Aquatic bryophytes as indicators of uranium mineralisation // *Bryologist*. 1969. Vol. 72, N 4. P. 501—507.
- Whithead N. E., Brooks R. R. Radioecological observations in plants of the Lower Buller Gorge Region of New Zealand and their significance for biogeochemical prospecting // *J. Appl. Ecol.* 1969. Vol. 6. P. 301—310.
- Wild H. Geobotanical anomalies in Rhodesia: The vegetation of nickel-bearing soil // *Kirkia*. 1970. Vol. 9. P. 1—62.
- Winefordner J. D., Fitzgerald J. J., Omenetto N. Review of multielement atomic spectroscopic methods // *Appl. Spectrosc.* 1975. Vol. 29, N 5. P. 369—383.
- Yamagata N., Murakami Y., Torii T. Biogeochemical investigation serpentine-chromite ore district // *Geochim. et cosmochim. acta*. 1960. Vol. 18, N 1/2. P. 23—35.
- Yates T. E., Brooks R. R., Boswell C. R. Biogeochemical exploration at coppermine, New Zealand // *N.Z. J. Sci.* 1974. Vol. 17, N 3. P. 151—159.
- Zivanovic D. Rezultati biogeokemijskih prospekcijskih na olovo u podrucju suplje stijene na zeljezo i aluminij u podrucju Arandelovackoj bazena vatrootalnih glina te zeljeza i mangana u Sloveniji // *Geol. vjesn.* 1960. N 14. S. 379—380.
- Zubovic P., Stadnichenko T., Sheffey N. B. Comparative abundance of the minor elements in coals from different parts of the United States // *Geol. Surv. Profess. Pap. B.* 1960. N 400. P. 87—88.
- Zubovic P., Stadnichenko T., Sheffey N. Chemical basis of minor element associations in coal and other carbonaceous sediments // *Geol. Surv. Prof. Pap. D.* 1961. N 424. P. 3—45.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Методологические основы и принципы биогеохимической индикации оловянного оруденения	8
Глава 2. Биогеохимия олова и его спутников на оловорудных месторождениях и рудопроявлениях разного генетического типа в условиях Дальнего Востока	18
Глава 3. Закономерности миграции и накопления олова в биообъектах на оловорудных месторождениях Дальнего Востока	84
Глава 4. Биогеохимия олова на территории СССР и за рубежом	115
Глава 5. Методы биогеохимической индикации оловянной минерализации	154
Глава 6. Общие закономерности поглощения и накопления олова биообъектами	176
Глава 7. Вопросы методики и эффективности биогеохимических поисков оловорудных месторождений	199
Заключение	220
Литература	222

Петр Васильевич И в а ш о в
БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ
ИНДИКАЦИЯ
ОЛОВЯННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Утверждено к печати
Хабаровским комплексным
научно-исследовательским институтом
ДВНЦ АН СССР

Редактор Е.Г. Королькова
Редактор издательства М.А. Яценко
Художник А.В. Рубцова
Художественный редактор В.Ю. Кученков
Технический редактор Г.И. Астахова
Корректор Г.В. Дубовицкая

Фотонабор выполнен
во 2-й типографии издательства "Наука"

ИБ № 31218

Подписано к печати 2.10.87. Т — 05558
Формат 60×90 1/16. Бумага офсетная № 1
Гарнитура Литературная. Печать офсетная
Усл.печ.л. 15,5. Усл.кр.-отт. 15,9. Уч.-изд.л. 20,7
Тираж 650 экз. Тип. зак. 1007. Цена 3р.60к.

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство "Наука"
117864 ГСП-7, Москва В-485
Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "НАУКА"

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ КНИГИ:

Цеховский Ю.Г. Седименто- и литогенез гумидных красноцветов на рубеже мела и палеогена в Казахстане. М.: Наука, 1987. 20л.

В книге рассмотрены вопросы формирования в гумидных ландшафтах суши зрелых по составу красноцветных кремнисто-каолиновых и каолинит-бокситовых толщ, заместивших во многих районах на рубеже мела и палеогена угленосные формации. На примере изучения раннекайнозойских гумидных красноцветов Казахстана и их обрамлений рассмотрены строение, состав и условия образования этих отложений, реконструированы палеогеографическая обстановка и процессы седименто- и литогенеза.

Для геологов, литологов, стратиграфов, тектонистов.

Магазины "Академкнига" с указанием отделов "Книга-почтой":

480091 *Алма-Ата*, ул. Фурманова, 91/97 /"Книга-почтой"/; 370005 *Баку*, ул. Коммунистическая, 51 /"Книга-почтой"/; 233600 *Вильнюс*, ул. Университетского, 4; 690088 *Владивосток*, Океанский пр-т, 140 /"Книга-почтой"/; 320093 *Днепропетровск*, пр-т Гагарина, 24 /"Книга-почтой"/; 734001 *Душанбе*, пр-т Ленина, 95 /"Книга-почтой"/; 375002 *Ереван*, ул. Туманяна, 31; 664033 *Иркутск*, ул. Лермонтова, 289 /"Книга-почтой"/; 420043 *Казань*, ул. Достоевского, 53 /"Книга-почтой"/; 252030 *Киев*, ул. Ленина, 42; 252142 *Киев*, пр-т Вернадского, 79; 252030 *Киев*, ул. Пирогова, 2; 277012 *Кишинев*, пр-т Ленина, 148 /"Книга-почтой"/; 343900 *Краматорск*, Донецкой обл., ул. Марата, 1 /"Книга-почтой"/; 660049 *Красноярск*, пр-т Мира, 84; 443002 *Куйбышев*, пр-т Ленина, 2 /"Книга-почтой"/; 191104 *Ленинград*, Литейный пр-т, 57; 199164 *Ленинград*, Таможенный пер., 2; 196034 *Ленинград*, В/0,9 линия, 16; 220012 *Минск*, Ленинский пр-т, 72 /"Книга-почтой"/; 103009 *Москва*, ул. Горького, 19-а; 117312 *Москва*, ул. Вавилова, 55/7; 630076 *Новосибирск*, Красный пр-т, 51; 630090 *Новосибирск*, Морской пр-т, 22 /"Книга-почтой"/; 142284 *Протвино*, Московской обл., ул. Победы, 8; 142292 *Пушино*, Московской обл., МР, "В", 1; 620161 *Свердловск*, ул. Мамина-Сибиряка, 137 /"Книга-почтой"/; 700000 *Ташкент*, ул. Ю. Фучика, 1; 700029 *Ташкент*, ул. Ленина, 73; 700070 *Ташкент*, ул. Ш. Руставели, 43; 700185 *Ташкент*, ул. Дружбы народов, 6 /"Книга-почтой"/; 634050 *Томск*, наб. реки Ушайки, 18; 634050 *Томск*, Академический пр-т, 5; 450059 *Уфа*, ул. Р. Зорге, 10 /"Книга-почтой"/; 450025 *Уфа*, ул. Коммунистическая, 49; 720000 *Фрунзе*, бульвар Дзержинского, 42 /"Книга-почтой"/; 310078 *Харьков*, ул. Чернышевского, 87 /"Книга-почтой"/.

3 р. 60 к.

4935