

Ю. Е. САЕТ, Н. Я. ИГУМНОВ, Н. И. НЕСВИЖСКАЯ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ  
ПОИСКИ  
ЭНДОГЕННЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
БОРА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР      МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР  
ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ  
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

550,84:553.637

Ю. Е. САЕТ, Н. Я. ИГУМНОВ,  
Н. И. НЕСВИЖСКАЯ

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКИ  
ЭНДОГЕННЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОРА  
ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ  
РАССЕЯНИЯ

818



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
Москва 1973



Геохимические поиски эндогенных месторождений бора по вторичным ореолам рассеяния. Сает Ю. Е., Игумнов Н. Я., Несвижская Н. И. М., Изд-во «Наука».

В работе на основе материалов, собранных на многочисленных боропроявлениях Дальнего Востока, Хабаровского края, Забайкалья, Казахстана, Средней Азии и Кавказа, рассматриваются вопросы миграции и концентрации бора в компонентах геохимического ландшафта — породах, корках выветривания, почвах, растениях и водах. Приводимые данные характеризуют как условия геохимического фона, так и вторичные ореолы основных типов месторождений боратов и боросиликатов в скарнах (промышленные типы) и алюмоборосиликатов (непромышленные типы). На этой основе рассматриваются геохимические критерии выявления и интерпретации аномалий бора, основанные на комплексном изучении его ореолов и исследованиях форм нахождения, а также описывается методика поисков бора на различных этапах и стадиях геологоразведочных работ. Табл. 37, илл. 24, библи. 105 назв.

Ответственный редактор

член-корреспондент АН СССР

Л. Н. ОВЧИННИКОВ

Бор является элементом, для которого открываются все новые и новые свойства, что непрерывно расширяет области его применения. Это ставит перед геологами все более сложные задачи по поискам новых месторождений и улучшению их географического размещения. Основное внимание должно быть уделено наиболее богатым и технологически легкоосваиваемым рудам, к которым относятся эндогенные бораты и боросиликаты, вулканогенно-осадочные бораты и осадочные бораты.

Предлагаемая работа посвящена методике геохимических поисков эндогенных месторождений бора. Сюда входит большее число минеральных и промышленных типов месторождений, многие из которых приобрели значение лишь в последние годы. Фактически, представленные материалы характеризуют три обобщенных минеральных типа месторождений: боратовый (суанитовый, людвигитовый, котонитовый, причем преимущественно везде развит вторичный ссайбелиит), боросиликатный (данбурит-датолитовый) и алюмоборосиликатный (турмалиновый). Промышленное значение имеют лишь бораты и боросиликаты. Очень широко распространенные алюмоборосиликаты промышленностью не используются. Трудом большого количества геологов сформулированы геолого-структурные и литолого-петрологические признаки и предпосылки эндогенных месторождений бора и, следовательно, созданы геологические основы для их прогнозирования и поисков. Здесь следует отметить работы И. М. Курмана и В. В. Мельницкого (1955, 1956), И. М. Курмана (1958), Л. И. Шабынина (1958, 1959, 1961, 1964), Д. П. Сердюченко (1960, 1963, 1967), А. Ф. Горбова (1960), А. Е. Лисицина (1965), А. Е. Лисицина, С. В. Малинко и Е. В. Орловой (1966). Следует учесть и некоторые геохимические исследования, опубликованные В. Л. Барсуковым и Г. Е. Курильчиковой (1957), В. И. Барановым и В. Л. Барсуковым (1959), Р. В. Гетлинггом и Е. Н. Савиновой (1959), В. Л. Барсуковым (1960), А. Е. Лисицыным (1963), В. И. Кузьминым (1964), В. В. Мельницким (1966), С. М. Александровым, В. Л. Барсуковым, В. В. Щербиной (1968).

В этих работах развиваются идеи о возможности геохимического прогнозирования месторождений бора на основе изучения особенностей его распределения в минералах и породах и рассматриваются, в частности, принципы геохимической оценки перспективности отдельных участков (преимущественно для месторождений скарнового типа).

Во всех упомянутых выше работах приводятся такие геолого-геохимические признаки, которые можно установить лишь при ревизионном обследовании и при опробовании выходящих на поверхность перспективных образований. Отыскание их предполагается,

в основном, методом визуальных наблюдений в ходе геологических маршрутов.

Литература, прямо или косвенно затрагивающая вопросы методики поисков бора, значительно скромнее. Всего насчитывается 16 работ, в которых приводятся какие-либо сведения об использовании геохимических методов.

Наиболее широко изучен гидрогеохимический метод поисков бора (Щербаков, 1961; Капранов, 1961; Крайнов и Капранов, 1962; Крайнов и Петрова, 1962; Микельсон, 1962; Кожара, 1963). В результате этих исследований С. Р. Крайновым было подготовлено методическое руководство по гидрогеохимическому методу поисков месторождений бора (Крайнов, 1964). В этом руководстве, являющемся детальным обобщением гидрогеохимии и гипергенной геохимии бора, излагаются материалы по поискам всех важнейших промышленных типов его месторождений.

Для развития геохимических методов поиска бора исключительно важны работы по изменению минералов бора в зоне гипергенеза. Сюда относятся работы А. В. Николаева (1947), Я. Я. Ярженского (1956), М. Г. Валяшко (1953, 1960), А. Ф. Горбова (1960) на месторождениях осадочных боратов, работы И. И. Гинзбурга и И. В. Витовской (1956) по аксиниту, эксперименты С. Д. Карпова (1961) по искусственному выщелачиванию турмалина, дадолита и данбурита, обстоятельные исследования С. М. Александрова (1959, 1961) по гипогенным боратам — людвигиту и ссайбелииту.

Биогеохимические и геоботанические методы поисков бора освещены в работах Н. И. Буялова и А. М. Швыряевой (1956), А. М. Швыряевой (1957, 1960), Э. К. Буренкова и К. И. Кузиной (1955), К. И. Кузиной (1968), И. Д. Черных, С. М. Ковалевской и А. Л. Ковалевского (1966). Большая часть этих исследований характеризует проявление осадочных боратов в аридных условиях.

Меньше всего исследований имеется по литохимическим и комплексным поискам бора. Здесь можно отметить монографию И. И. Гинзбурга (1957), впервые в поисковых целях обобщившего данные по содержаниям бора в почвах различных типов, и работу В. Л. Кожары (1964) — единственное исследование, в котором ореол рассеяния месторождения бора рассматривается комплексно во всех компонентах ландшафта месторождения (породах, почвах, растениях и водах).

Для развития геохимических методов поисков бора несомненно основополагающее значение теоретических и обобщающих трудов в смежных областях науки (геохимии, почвоведении, физиологии растений и биохимии). В числе важнейших здесь можно указать работы Е. В. Бобко (1944), А. П. Виноградова (1947, 1957), М. В. Катальмова (1948), М. Я. Школьника (1950), В. А. Ковды, И. В. Якушевской и А. Н. Тюрюканова (1959), Д. П. Малюги (1963), А. И. Перельмана (1966). Эти работы анализируют и развивают все основные аспекты гипергенной миграции бора. Они

дают колоссальный фактический материал и позволяют предположить многие важные для геохимических поисков бора положения. В частности, они однозначно показывают тесную зависимость степени концентрации бора растениями, почвами и водами от местных условий, т. е. практически от геохимических особенностей ландшафта.

В целом следует отметить, что перечисленные исследования не содержат сколько-нибудь широкой оценки применимости того или иного геохимического метода, его возможностей, роли и места в общей последовательности поисковых работ на бор. Совершенно отсутствуют данные по условиям оптимального комплексирования различных геохимических методов и принципам интерпретации выявляемых при поисках аномалий. Ряд методов (например, литогеохимические) разработаны совершенно неудовлетворительно.

В связи с этим, в Центральной геохимической экспедиции Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов были проведены исследования по разработке геохимических методов поисков месторождений бора по экзогенным ореолам. В основу проведенных работ было положено два принципа.

Во-первых, ландшафтно-геохимический метод исследования, т. е. сопряженное изучение и анализ миграции бора во всех основных компонентах ландшафта — горных породах (рудах), корах выветривания, почвах, растениях, водах.

Во-вторых, статистический метод сбора и анализа материала. Районы работ выбирались так, чтобы были изучены все наиболее перспективные для поисков месторождений эндогенного бора регионы. В той или иной степени исследования были проведены на Дальнем Востоке (хр. Джугджур, хр. Малый Хинган, Приморье), в Восточном Забайкалье и Прибайкалье, в Горной Шории, Северном Казахстане, Северном Кавказе и Средней Азии (Чаткальский хребет). Нетрудно видеть, что эти регионы составляют довольно разнообразную гамму типов геохимического ландшафта.

В пределах каждого региона изучались все встречающиеся здесь типы проявлений эндогенного бора («рудные ландшафты»), и очень широко условия геохимического фона («безрудные ландшафты»). Среди боропроявлений исследовались как потенциально промышленные типы — бораты в магнезиальных скарпах и боросиликаты в известковых скарнах, так и другие — алюмоборосиликатные и, в частности, турмалиновые, не осваиваемые сейчас промышленностью, но очень широко распространенные в природе и поэтому чаще всего встречающиеся при поисках.

С 1963 по 1967 гг. было обследовано 15 боропроявлений в восьми районах, причем в каждом из районов широко исследовались особенности геохимии бора на безрудных участках. Всего было отобрано и проанализировано более 12 000 проб; кроме того, привлечен большой литературный материал. Спектральный анализ проб проводился в лаборатории Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ на бор (количественный метод) и другие микроэлементы

Таблица 1

Чувствительность спектральных определений микроэлементов в лаборатории  
Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ

Элемент	Чувствительность, %	Элемент	Чувствительность, %
Бор	$(0,5-1,0) \cdot 10^{-3}$	Кадмий	$3 \cdot 10^{-4}$
Стронций	$3 \cdot 10^{-2}$	Мышьяк	$3 \cdot 10^{-3}$
Барий	$1 \cdot 10^{-2}$	Сурьма	$3 \cdot 10^{-4}$
Литий	$3 \cdot 10^{-4}$	Висмут	$3 \cdot 10^{-5}$
Титан	$1 \cdot 10^{-3}$	Серебро	$1 \cdot 10^{-5}$
Марганец	$1 \cdot 10^{-3}$	Германий	$3 \cdot 10^{-5}$
Хром	$3 \cdot 10^{-4}$	Бериллий	$3 \cdot 10^{-5}$
Ванадий	$1 \cdot 10^{-4}$	Олово	$1 \cdot 10^{-4}$
Никель	$1 \cdot 10^{-4}$	Молибден	$3 \cdot 10^{-5}$
Кобальт	$1 \cdot 10^{-4}$	Вольфрам	$3 \cdot 10^{-4}$
Медь	$1 \cdot 10^{-4}$	Цирконий	$3 \cdot 10^{-4}$
Цинк	$1 \cdot 10^{-4}$		
Свинец	$3 \cdot 10^{-4}$		

(приближенно-количественный метод). Данные по чувствительности анализов приведены в табл. 1.

На основе собранных материалов был составлен ряд отчетов и опубликована серия статей, в которых рассматриваются вопросы геохимии бора и методики его поисков в различных условиях (Борисов, Сагт, Шустерман, 1968; Игумнов, 1967; Куприянова, Сагт, 1967; Сагт и др., 1967; Сагт, Лебедева, 1968; Сагт, 1966—1969; Федорова, 1967).

Все материалы, представленные в настоящей работе, обработаны статистическими методами по схеме, изложенной А. А. Беусом, С. В. Григорьяном (1965).

Для обоснования особенностей геохимии бора в ландшафтах применялся ряд общеизвестных ландшафтно-геохимических коэффициентов: элювиально-аккумулятивный ( $K_{э.а.}$  — отношение содержания элемента в горизонте почв к его содержанию в ландшафтообразующей породе), биологического поглощения ( $A_x$  — отношение содержания элемента в золе растений к его содержанию в породе) и другие (Глазовская, 1964).

Интенсивность водной миграции бора в почвах и корах выветривания оценивалась с помощью коэффициента

$$K = \frac{m \cdot 100}{n \cdot a},$$

где  $m$  — содержание элемента (вес %) в водной вытяжке;  $n$  — общее содержание элемента (вес %);  $a$  — сухой остаток или минерализа-

ция (вес %). Этот коэффициент, являющийся модификацией коэффициента водной миграции, А. И. Перельмана, отражает не абсолютный уровень миграции элемента, а относительную способность его к миграции в данных условиях (Сагет, 1966).

В таблицах и на рисунках используются следующие обозначения генетических горизонтов почв:  $A_0$  — грубогумусовый,  $A_1$  — гумусовый,  $A_T$  — торфянистый,  $A_2$  — подзолистый, В — иллювиальный (горизонт вымывания), ВС — переходный к почвообразующей породе, С — почвообразующая порода. В некоторых случаях, когда строго расчленить горизонты не удавалось, выделяются смешанные горизонты типа  $A_0A_1$ ; АВ и т. д.

Настоящая работа составлена на основе материалов, в сборе и обработке которых кроме авторов участвовали В. Ф. Борисов, Т. П. Куприянова, Л. А. Лебедева, А. Г. Лыхин, В. И. Потапова, М. А. Федорова, В. А. Чижевская, Б. С. Шустерман. Аналитические исследования выполнялись Т. А. Пономаревой, С. А. Смирновой, Л. А. Тидеман.

Много ценных советов было получено от М. А. Глазовской, А. И. Перельмана, Л. И. Шабынина, А. Е. Лисицина, С. М. Александрова, С. Г. Батулина.

Отдельные положения детально обсуждались с коллегами по Центральной геохимической экспедиции Э. Н. Барановым, Э. К. Буренковым, А. Д. Горшениным, А. С. Голдиным, В. З. Шейн, Е. М. Янишевским. Оформление работы было проведено с помощью Е. Н. Кулюкиной и Т. М. Кокорюкиной.

Большую поддержку оказал авторам Л. Н. Овчинников.

Всем названным товарищам выражается самая глубокая благодарность.

# ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОРА

## Глава 1

### ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОРА И ИХ ГЕОЛОГОПОИСКОВЫЕ КРИТЕРИИ

#### Краткие сведения по геохимии бора

Бор обладает своеобразными геохимическими особенностями, обуславливающими исключительное разнообразие условий и процессов его миграции и концентрации. С точки зрения рассматриваемых нами проблем важнейшие особенности состоят в следующем: 1) постоянная валентность, в связи с чем бор в природных условиях практически не участвует в окислительно-восстановительных реакциях и, следовательно, его миграция обусловлена главным образом, режимом щелочности — кислотности; 2) кислотные свойства и литофильность бора, проявляющиеся в ярко выраженной способности образовывать анионные группировки с кислородом и редко галоидные соединения. Практически вся история бора связана с миграцией и концентрацией его кислородных соединений; 3) высокая комплексообразующая способность бора, в результате чего он обычно входит в состав сложных гетеро- и изополикислот с ионно-молекулярными и молекулярными связями. С этим свойством связана весьма своеобразная двойственность в геохимической миграции бора. С одной стороны, многие соединения бора имеют хорошую растворимость, что обуславливает его связь с гидросферой и склонность к рассеянию; с другой — форма и размер полиионов бора (и самого элемента) не дают возможностей для широко проявленного изоморфизма и обуславливают способность бора к «минеральной индивидуализации» (Горбов, 1960), конкретные формы которой зависят прежде всего от внешних условий осаждающей бор среды и от режима кислотности — щелочности бороносного раствора; 4) биологическая значимость бора, его широкое участие в биогенезе и, в частности, биологическом поглощении.

Несмотря на небольшую распространенность бора (кларк по А. П. Виноградову 0,0012%) он образует очень большое — порядка 140 — количество минералов. По классификации А. Ф. Горбова и В. В. Щербины, все минералы бора делятся на три наиболее важных класса: бораты, боросиликаты и алюмоборосиликаты. Минералогия бора изучена достаточно хорошо и описана в многочисленных руководствах. Поэтому приведем лишь таблицу некоторых наиболее характерных минералов (табл. 2). Все перечисленные

минералы достаточно широко распространены. Практическое значение имеют бораты и боросиликаты.

Данных по распределению изоморфного бора в минералах довольно много, однако не все они однозначны, и для одного и того же минерала нередко приводятся исключительно разнообразные характеристики бороносности. Г. Хардером (1965) было убедительно показано, что во многих случаях это связано с плохой очисткой от собственно борных или более бороносных минералов. В то же время, в большинстве работ вообще отсутствуют сведения о характере и степени очистки.

По данным Г. Хардера, сравнительно большие количества бора (десятки — сотни грамм на тонну) могут включаться лишь в резко ограниченное число минералов. В частности, повышенные содержа-

Таблица 2  
Важнейшие минералы бора

Минерал	Формула	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %
<b>Бораты</b>		
Ссайбелиит (ашарит)	MgHBO <sub>3</sub>	41,38
Котоит	Mg(BO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	35,54
Флюоборит	Mg(BO <sub>3</sub> ) (F, OH) <sub>3</sub>	18—19
Людвигит	(MgFe) <sub>2</sub> (Fe, Al) (BO <sub>3</sub> )O <sub>2</sub>	13—18
Варвикит	(Mg, Fe) <sub>3</sub> TiO <sub>2</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	24—25
Суанит	Mg <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	46,34
Бура	Na <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>8</sub> B <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	36,51
Кернит	Na <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>3</sub> B <sub>4</sub> O <sub>6</sub> (OH) <sub>2</sub>	51,02
Улексит	NaCa(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> B <sub>5</sub> O <sub>7</sub> (OH) <sub>4</sub>	42,96
Пандермит	Ca <sub>2</sub> B <sub>5</sub> O <sub>6</sub> (OH) <sub>7</sub>	49,84
Преображенскит	Mg <sub>3</sub> B <sub>10</sub> O <sub>13</sub> (HO) <sub>10</sub>	62,26
Колеманит	CaB <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (OH) <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O	51,81
Иньонит	Ca(B <sub>3</sub> O <sub>3</sub> )(OH) <sub>5</sub> ·4H <sub>2</sub> O	37,62
Гидроборацит	CaMgB <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (OH) <sub>3</sub> Cl <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O	50,54
Калиборит	K <sub>2</sub> Mg <sub>4</sub> B <sub>22</sub> O <sub>38</sub> ·18H <sub>2</sub> O	56,92
Борацит	Mg <sub>5</sub> (B <sub>4</sub> O <sub>22</sub> )MgCl <sub>2</sub>	62,15
<b>Боросиликаты</b>		
Датолит	HCaBSiO <sub>5</sub>	21,8
Данбурит	CaB <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	28,4
<b>Алюмоборосиликаты</b>		
Аксинит	H(Fe, Mg)Ca <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> B(SiO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>	до 8
Турмалин	(Na, Ca)R <sub>6</sub> (Al, Fe) <sub>6</sub> B <sub>3</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>27</sub> × × (O, OH, Cl) <sub>4</sub> , где R—Mg, Fe, Li, Al	8—12
Дюмортьерит	HAl <sub>2</sub> BSi <sub>3</sub> O <sub>20</sub>	5,0

ния характеризуют островные силикаты бериллия и марганца — фенакит и браунит, везувианы, окислы и гидроокислы железа и главным образом светлые слюды. Светлые слюды (мусковиты, иллиты), по мнению Г. Хардера, являются наиболее крупным в природе геохимическим резервуаром для бора и имеют решающее значение для геохимического распределения в породах.

Другими авторами, в частности В. Л. Барсуковым, в качестве благоприятных структур указываются каркасные, а также цепочечные и ленточные силикаты (плагноклазы, амфиболы и пироксены) и приводятся данные о повышенных содержаниях в них бора.

С условиями изоморфизма во многом связано распределение бора в природных телах. Данные по распределению бора приводятся во многих работах. Важнейшими из них являются исследования В. М. Гольдшмидта и К. Петерса (1938), А. П. Виноградова (1956, 1962), Г. Хардера (1965), выявившие основные закономерности распределения бора в земной коре.

В табл. 3 приведены содержания бора в важнейших типах горных пород, выбранные из сводки Г. Хардера (1965).

Таблица 3  
Содержания бора в горных породах (по Г. Хардеру, 1965), *г/т*

Породы	Среднее	Пределы вариации
<b>Магматические</b>	10	
Кислые изверженные	10	0,7—85
Кислые излившиеся	30	0,6—143
Основные изверженные	7	3,0—20
Основные излившиеся	5	2,2—22
<b>Осадочные</b>	85	
Глины и глинистые сланцы	100	40,0—2200
Песчаники	35	3,5—70
Известняки и доломиты	27	1,0—45

Эти данные очень хорошо отражают исключительно важную для геохимических поисков закономерность — контрастно более высокие содержания бора в осадочных породах и, в частности, в глинах и глинистых сланцах. Эти данные согласуются с высокой способностью иллитов к изоморфному вхождению в них бора. Высокими содержаниями бора отличаются также многие органогенные образования: золы растения (0,07% на золу), нефть, угли и углистые сланцы (сотни *г/т*).

Содержания бора в породах тесно связаны также с условиями образования, степенью и характером их изменения.

Так, например, в глинах наиболее высокие содержания ( $500 \text{ г/т}$  в среднем) наблюдаются среди галогенных толщ. В известняках и доломитах содержания бора целиком зависят от примеси терригенного материала. В чистых разностях бора обычно не больше  $2\text{—}3 \text{ г/т}$ , а в глинистых известняках и мергелях —  $50\text{—}70 \text{ г/т}$ . Очень характерным примером являются железные руды: в осадочных рудах содержания бора составляют десятки — сотни грамм на тонну, тогда как в магматогенных и метаморфических бора в ряде случаев не более  $1 \text{ г/т}$  (Хардер, 1965).

Очень четко проявляется связь бора с изменением пород. Для магматических пород многие процессы (грейзенизация, альбитизация, серпентинизация) приводят к концентрации бора. Так, в серпентинизированных ультраосновных породах среднее содержание порядка  $120 \text{ г/т}$  (Барсуков, 1961). Часто в этих процессах выделяются собственные минералы бора (турмалин в грейзенах). Противоречивые сведения имеются лишь в отношении процессов серицитизации: по В. Л. Барсукову, серицитизация сопровождается выносом бора из плагиоклазов, по Г. Хардеру — накоплением.

Для осадочных пород при диагенезе, контактом и региональном метаморфизме в ряде случаев происходит значительное уменьшение содержания бора. Многочисленные примеры подобного рода обобщены в работе Г. Хардера. Степень изменения зависит от минералогического состава измененных пород: для серицитовых, мусковитовых, серпентиновых и двуслюдяных новообразований она иногда незначительна, для биотитов и хлоритов — очень контрастная.

Геохимический круговорот бора и условия образования им минеральных концентраций проанализированы в уже упоминавшихся работах В. Л. Барсукова, М. Г. Валяшко, А. Ф. Горбова, Д. П. Сердюченко, Г. Хардера.

Г. Хардер на основе новейших данных вычислил геохимический баланс бора и установил, что при выветривании изверженных пород «освобождается лишь 0,1 часть бора, содержащегося в морской воде и осадочных толщах». Этим подтверждается таллософильность бора, впервые обоснованная еще В. М. Гольдшмидтом (Гольдшмидт, Петерс, 1938).

По расчетам Д. П. Сердюченко (Сердюченко и др., 1967), «масса изверженных пород земной коры содержит только  $\frac{1}{50}$  часть бора, заключенного в Мировом океане, и  $\frac{1}{500}$  или даже  $\frac{1}{1000}$  часть бора, находящегося в толщах пород осадочного происхождения».

На основе этих данных Д. П. Сердюченко, Г. Хардер и другие делают вывод об осадочном первоисточнике бора, вращающегося в геохимическом круговороте и участвующего в образовании минеральных концентраций. Граниты, по мнению этих авторов, являются переносчиками бора и их бороносность зависит во многом от бороносности исходных для их образования или интродуцируемых осадочных толщ.

По представлениям В. Л. Барсукова (1960<sub>1</sub>), первоисточником бора являются магматические породы, из которых он высвобождается при взаимодействии со щелочными гидротермальными растворами. Однако в более поздней работе В. Л. Барсуков (1966) признает для бора возможность поступлений рудного вещества из осадочно-метаморфических толщ при их региональной метасоматической проработке, активированной интрузивной деятельностью.

Дальнейшая судьба бора, прослеженная В. Л. Барсуковым, связана с режимом кислотности — щелочности гидротермальных растворов и кристаллохимическими особенностями соединений бора. В наиболее высокотемпературную раннещелочную стадию могут образовываться лишь алюмосиликаты и ортобораты магния и железа. При этом важнейшим условием является высокая магнезиальность среды. При понижении щелочности (и температуры) появляется возможность усложнения ортоборат-иона, первичные бораты становятся неустойчивыми и замещаются метаборатом — (ссайбелинитом) — процесс весьма широко развитый на месторождениях бора. Одновременно в эту стадию появляются кристаллохимические возможности для образования боратов кальция, боросиликатов и алюмоборосиликатов.

При вулканической деятельности часть мобилизованного бора может быть вынесена на дневную поверхность (высокие содержания бора в вулканических источниках!), и дальнейшая его история определяется уже гипергенным циклом миграции.

В гипергенную фазу бор мигрирует главным образом в виде комплексных полиионов. В этих условиях кристаллохимически возможны соединения бора с натрием, кальцием и магнием в форме полиборатов. При этом наиболее активными осадителями бора являются кальций и магний (но не хлориды) (Валяшко, 1953, 1960).

Таким образом, как показано М. Г. Валяшко, бор может накапливаться в растворах хлоридного типа, а также в очень кислых (высокая растворимость  $H_3BO_3$ ) или содовых щелочных (мало Са и Mg) водах. Боросные вулканогенные воды обычно углекислые хлоридно-гидрокарбонатного и гидрокарбонатно-хлоридно-натриевого состава.

Условия выпадения боратов в осадок детально проанализированы А. Ф. Горбовым (1960<sub>2</sub>). Им показано, что образование борнокислых полиионов чутко реагирует на изменение состояния физико-химической системы и среды их образования. Это и обуславливает минералогическое многообразие экзогенных боратов.

Образование скоплений боратов в зоне гипергенеза происходит вследствие политермического осаждения, испарительной концентрации или химического взаимодействия бороносных вод с горными породами или с водами иного состава. Политермическое осаждение боратов широко распространено в районах современного вулканизма. В работе А. Ф. Горбова (1960<sub>1</sub>) проводятся многочисленные примеры скоплений боратов на выходах бороносных термальных вод в высокогорных районах (Анды, Тибет) в условиях бессточных

котловин. Осаждение боратов за счет испарительной концентрации природных вод возможно как для вулканических, так и для морских вод (Валяшко, 1962; Горбов, 1960<sub>1</sub>). При концентрировании морских рассолов бораты (преимущественно магниевые) выпадают в бишофитовую стадию кристаллизации солей. Однако следует отметить, что далеко не все галогенные осадки, достигшие этой стадии, обогащены бором, в связи с чем некоторыми исследователями (Яржемский, 1958) предполагается необходимость дополнительного вулканогенного источника бора. Бораты выпадают и при концентрировании грунтовых вод. В частности, в Казахстане известны почвы с борным засолением.

### Эндогенные месторождения бора

Борные месторождения отличаются исключительным разнообразием генетических и промышленных типов. Их классификация приводится в табл. 4.

Эта таблица составлена на основе анализа и обобщения известных классификаций (Курман, Мельницкий, 1955; Сердюченко, 1960; Берлин, Перцев, 1961; Шабынин, 1961; Лисицин и др., 1966) и объединяет лишь важнейшие или наиболее распространенные генетические и промышленные типы месторождений бора.

В основу приводимой классификации положены представления о группах, формациях и минеральных типах месторождений. Группы выделялись по ведущему процессу формирования руд, формации — по типам вмещающих пород и условиям их образования; минеральные типы — по наиболее интенсивно проявленной первичной минерализации бора. Таким образом, в классификации учтены все основные признаки, которые, по мнению Н. И. Сафронова (1961), имеют первостепенное поисковое значение. К ним, в частности, относятся преобладающий минералогический состав руд, определяющий характер прямых и косвенных поисковых признаков, и геологическая позиция, определяющая ориентировку работ на местности. Следует отметить, что представления о ведущем процессе формирования целого ряда групп до настоящего времени спорны и являются предметом весьма энергичной дискуссии по вопросам первично-эндогенного или первично-осадочного происхождения бора.

Ниже будут кратко охарактеризованы геолого-поисковые критерии изучавшихся нами типов месторождений бора, которые включают месторождения боратов в древних осадочно-метаморфических комплексах (спорного генезиса), месторождения боратов в магниезиальных скарнах, месторождения боросиликатов в известковых скарнах и гидротермальные месторождения турмалина.

Для боратовых месторождений спорного генезиса важнейшим поисковым критерием является наличие магниезиальных карбонатных пород, заключенных в древних регионально-метаморфизован-

Таблица 4  
Важнейшие типы месторождений бора

Группа	Формация	Минеральный тип по первичной минерализации бора	Некоторые характерные особенности месторождений и рудопроявлений	Содержание $B_2O_3$ , %	Промышленное значение в настоящее время
Осадочно-метаморфогенная	Кристаллических сланцев и гнейсов	Турмалиновый	Приурочены к древним (преимущественно докембрийским) комплексам, часто к глинисто-углеродистым (слюдисто-графитовым) пачкам	до 4,8	Не имеет. Запасы крупные и очень крупные, однако нет экономически рентабельных технологических схем извлечения бора
	Слюдисто-известковых сланцев	Аксинитовый	Степень метаморфизма пород обычно ниже, чем для турмалинового типа (филиты)	до 2,3	То же
(Спорного генезиса)	Кристаллических сланцев, гнейсов и доломитов, обычно мигматизированных и гранитизированных и с широко проявленным магниезиальным метасоматозом	Суанитовый	Приурочена к фациям большой глубинности древних комплексов. Спорного генезиса. По представлениям Л. И. Шабынина, В. Л. Барсукова и др., относится к абиссальной магниезиально-скарновой формации, по представлениям Д. П. Сердюченко и др., — к регионально-метаморфической боратовой формации	12—20	Очень большое. Запасы до крупных и уникальных. Руды не требуют обогащения. Эксплуатируется.
		Людвигитовый	Для людвигитового типа очень характерна ассоциация с магнетитом в комплексных рудах. В большинстве случаев первичные бораты интенсивно (иногда нацело) замещены ссайбелинитом	4—9	Большое. Запасы до крупных. Имеются рентабельные технологические схемы переработки
Постмагматическая гидротермальная	Магниезиально-скарновая гипабиссальная фация	Людвигитовый	Приурочены к внешним зонам экоскарнов. Обычно в тесной ассоциации с магнетитом в комплексных рудах. Обычно первичные бораты интенсивно, иногда нацело замещены ссайбелинитом	4—9	Имеет. Запасы до средних, редко крупные. Имеются рентабельные технологические схемы переработки
		Котоитовый	Приурочены к мраморам и кальцифирам, обрамляющим магниезиальные скарны. Характерна ассоциация с золото-полиметаллическим орудением в известковых скарнах, геологическая позиция аналогична людвигитовому типу	6—8	Имеет. Запасы до средних. Эксплуатируется
		Суанитовый	Как правило, первичный борат интенсивно замещен ссайбелинитом	12—17	Имеет. Запасы до крупных
		Аксинит-данбурит-датолитовый	Обычно, на месторождении ассоциируют все три минерала, но преобладает один	5—11	Очень большое. Запасы до крупных и уникальных. Эксплуатируется

Группа	Формация	Минеральный тип по первичной минерализации бора	Некоторые характерные особенности месторождений и рудопроявлений	Содержание $B_2O_3$ , %	Промышленное значение в настоящее время
	Формации гидротермальных образований, не связанных со скарнами	Турмалиновый	Здесь объединяется ряд формаций по резко преобладающему типу минерализации бора. Значительно реже встречаются датолит (кальцитовые жилы с пренитом и цеолитами) и дюмортьерит (вторичные кварциты). Турмалиновая минерализация связана с гидротермальноизмененными породами гранитоидного ряда или обусловленным воздействием гранитоидов на вмещающий их комплекс. При этом турмалин ассоциирует с оруденением других элементов (олово, вольфрам, золото, полиметаллы, медь)	5—11	Не имеет. Запасы крупные и очень крупные, однако нет рентабельных технологических схем переработки. Эксплуатируется на другие элементы
Вулкано-осадочная	Погребенных, пресноводных, озерно-болотных, реже лагунных отложений областей интенсивного вулканизма	Колеманитовый Тинкал-кернитовый Пандермитовый	Месторождения расположены в областях активного или затухающего вулканизма, преимущественно третичного. Залегают в пачках переслаивающихся осадочных отложений замкнутых котловин, представленных озерными и вулканогенными образованиями. Иногда первичные бораты интенсивно замещены вторичными боратами — бурой, улекситом и др.	25—35	Очень большое. Запасы до крупных и уникальных. Руды не требуют обогащения. Эксплуатируется
	Современных озерно-солончаковых отложений областей вулканизма	Бура-углекислотный	Месторождения приурочены к бессточным котловинам, где за счет вулканических борсодержащих источников формируются боратовые солончаки	25	Имеет. Запасы до средних. Руды не требуют обогащения. Эксплуатируется
Галогенно-осадочная	Калийно-магнезиальных соляных толщ	Преображенскитовый	В составе руд, помимо преображенскита участвуют и другие, преимущественно магниевые бораты калиборит, борацит, гидроборацит. Боратовые прослои приурочены к бишорит-кизерит-карналитовым породам	2—3	Имеет. Запасы до крупных и очень крупных. Руды требуют обогащения
	Элювиальных гипсовых кор выветривания соляных куполов (кепроков)	Ашаритовый Гидроборативый	Приурочены к горизонтам гипсовых шляп, залегающим выше уровня грунтовых вод. В составе руд имеются и другие бораты Приурочен к горизонтам гипсовых шляп, залегающих ниже уровня грунтовых вод. В составе руд имеются и другие бораты	13—25 до 13	Большое. Запасы до средних. Руды не требуют обогащения. Эксплуатируется Имеет. Запасы до средних. Руды требуют обогащения. Эксплуатируется

## Примечание

1. Таблица учитывает лишь важнейшие и наиболее широко распространенные типы месторождений бора. В частности, здесь совершенно не учтены бороносные воды различного типа (эксгалиационные вулканические источники, межкристальная рапа озер, лагуны, нефтяные воды и грязевые вулканы), некоторые из которых содержат крупные запасы и являются объектом эксплуатации.
2. Для эндогенных месторождений минеральный тип устанавливается по ведущему минералу. Вместе с тем, все месторождения обычно полиминеральны. Магнезиально-скарновые месторождения в тех или иных соотношениях обычно содержат людавит, суанит, котопит, флюорборит, варвикит, харкерит, сахаит, бораты кальция. Известково-скарновые — датолит, данбурит, аксинит, турмалин, бораты кальция.

ных толщах глубинных фаций метаморфоза (гнейсы и кристаллические сланцы). По Д. П. Сердюченко (1960; Сердюченко и др., 1963, 1967), считающему эту группу месторождений осадочно-метаморфической, важным является наличие переслаивания доломитов (замещенных в условиях глубинного метаморфизма кальциево-магнезиально-железистыми силикатами и алюмосиликатами) с богатыми бором высокоглиноземистыми породами (ныне гнейсами и сланцами, часто мигматизированными и несущими турмалиновую или джумперитовую минерализацию).

Л. И. Шабынин (1959, 1961) считает эту группу месторождений абиссальной магнезиально-скарновой, связанной с магматической (прогрессивной) и, реже, постмагматической (регрессивной) стадиями метаморфизма. Основным критерием здесь является интенсивное проявление инфильтрационного метасоматоза магматической стадии, приводящего к образованию мощных зон пироксен — шпинель — форстеритовых скарнов по доломитам и мигматитов по алюмосиликатным породам. Важным критерием является также интенсивность метасоматоза регрессивной стадии, которая выражена в развитии по скарнам флогопита и клиногумита. С этой стадией связывается образование боратовых руд, наложенных на скарны и концентрирующихся во внешних зонах метасоматической колонки (форстеритовые кальцифиры).

Таким образом, эти месторождения приурочены к регионально распространенным пачкам магнезиальных карбонатных пород, относительно устойчивых против гранитизации. В связи с этим поиски необходимо вести вдоль простираения этих пачек, по направлению которого неизменные карбонатные породы могут чередоваться с метаморфизованными или скарнированными породами, в различной степени оруденелыми.

**Для магнезиально-скарновых месторождений гипабиссальной фации** основные известные сейчас геолого-поисковые критерии также связаны главным образом с масштабом и интенсивностью метасоматических процессов. Вкратце, они сводятся к следующему<sup>1</sup>.

Наличие активных контактов гранитоидных интрузий с магнезиальными карбонатными породами.

Интенсивное проявление метасоматоза прогрессивной стадии. Оно выражено в образовании мощных зон магнезиальных скарнов и в отсутствии пород повышенной основности в эндоконтактах массивов.

Интенсивное проявление метасоматоза регрессивной стадии (флогопит, клиногумит, бораты). Однако широкое развитие известковых скарнов, чаще всего в данных случаях слабо бороносных, неблагоприятно.

Широкое развитие внешних зон скарновой колонки (кальцифиры), вмещающих основную массу промышленных руд. Для этого

<sup>1</sup> Критерии изложены, в основном, по сводной работе А. Е. Лисицина, С. В. Малико, Е. В. Орловой (1966).

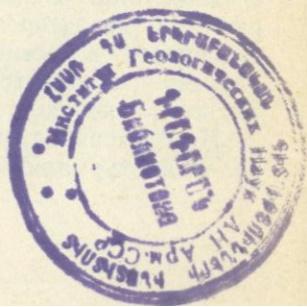
благоприятны однородность карбонатных пород и наличие участков контакта, вогнутых в сторону активного интрузива.

Все отмеченные геологические предпосылки для поисков магнезиально-скарновых месторождений бора часто можно найти в материалах геологических съемок. Однако следует отметить, что эти данные зачастую бывают очень ограниченными. Наш собственный опыт производственных поисковых работ показывает, что при съемках и поисках магнезиальные скарны и кальцифиры очень часто не диагностируются. Так, при ревизионных исследованиях таких пород как «зеленые известняки», «офиокальциты», «силицифицированные известняки» и даже просто «кристаллические известняки» нами в ряде случаев были обнаружены типичные (часто серпентинизированные) скарны.

Для боросиликатных месторождений известково-скарновой формации наиболее общим геолого-поисковым критерием является их пространственная связь со скарнами. При этом состав скарнов довольно разнообразен и представлен обычно гранатом, пироксеном (диопсид, геденбергит), волластонитом (не всегда), везувианом (не всегда). Эти месторождения встречаются чаще всего в скарнах смешанного диффузионно-инфильтрационного характера, образованных в экзоконтактах интрузии, весьма разнообразных по возрасту и составу (преобладают гранитоиды повышенной основности). Однако наиболее крупные месторождения приурочены к инфильтрационным скарнам и не имеют пространственной связи с интрузивными массивами.

А. Е. Лисицыным, С. В. Малинко, Е. В. Орловой (1966) сформулированы факторы, благоприятные для формирования крупных месторождений с богатыми боросиликатными рудами. В качестве важнейших отмечается наличие молодой слабо эродированной складчатости и юного (киммерийского, альпийского) магматизма; инфильтрационный характер скарнов и большая удаленность их от интрузивных массивов; небольшая глубина формирования скарнов и отсутствие существенного металлического оруденения.

Все упоминавшиеся выше геолого-поисковые критерии месторождений бора позволяют лишь выделить довольно крупные перспективные регионы или районы. Более детальная локализация участков поисков по геологическим данным обычно невозможна.



ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОРА

Геохимические особенности эндогенных месторождений бора изучались преимущественно с точки зрения условий их образования. Значительно скромнее материалы, посвященные геохимическим критериям прогноза бороносности и почти отсутствуют опубликованные данные по первичным ореолам месторождений бора и содержаниям элементов-спутников в борных рудах и вмещающих их породах.

**Геохимические критерии прогноза бороносности**

В настоящее время перечень работ, в той или иной степени рассматривающих геохимические критерии потенциальной бороносности, сравнительно невелик. Во всех этих работах в качестве критерия предлагается повышенная бороносность пород (интрузий, скарнов или послескарновых образований) или слагающих их минералов.

**Для интрузивных пород** в работах Р. В. Гетлинга и Е. Н. Савиновой (1959), В. Л. Барсукова (1961), А. Е. Лисицина (1963), В. И. Кузьмина (1964) приводятся данные, показывающие возможность специализации магматических комплексов в отношении бора и увеличение (в 8—10 раз) бороносности гранитоидов, с которыми связаны боропроявления. Однако имеются многочисленные данные, показывающие, что довольно часто столь же высокие содержания обнаруживаются и в гранитоидах, с которыми неизвестно никаких боропроявлений. Широкое исследование этого критерия, проведенное в Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ (устные сообщения А. Ф. Бунтиковой, Е. Н. Кубышкиной, А. Г. Лыхина и А. Д. Горшенина), показали, что его практическое использование возможно в сравнительно редких случаях. В частности А. Г. Лыхиним, обобщившим материалы более чем по 150 массивам, были получены следующие данные (табл. 5, рис. 1, 2).

А. Г. Лыхиним показано, что в рудоносных и безрудных гранитах характер распределения бора в общем одинаков и колебания средних определены условиями формирования гранитов, их возрастом и характером вмещающих пород. Для пород повышенной бороносности в массивах рудоносных комплексов в большинстве случаев наблюдались более высокие (в 2 раза) содержания бора по сравнению с безрудными массивами.

Использование этого критерия затрудняет также широко проявленная турмалинизация гранитоидов, встречающаяся практиче-

ски повсеместно и даже в таких районах, для которых месторождения бора промышленных типов неизвестны. Напомним также, что в ряде случаев (для наиболее крупных месторождений) пространственной связи месторождений с интрузиями не наблюдается.

Для скарнов в работах Р. В. Гетлинга и Е. Н. Савиновой (1959), В. Л. Барсукова (1960<sub>2</sub>), А. Е. Лисицина (1963), В. В. Мельниченко (1966) указывается, что их повышенная бороносность и, в частности, повышенная бороносность граната, диопсида, роговой обманки, флогопита и везувиана является прямым поисковым признаком на наличие в данном скарновом поле повышенных

Таблица 5

Средние содержания бора в гранитоидах рудоносных и безрудных комплексов (по А. Г. Лыхину)

Типы массивов	Число массивов	Среднее содержание бора, г/т
Граниты рудоносных комплексов	17	55,5
Граниты безрудных комплексов	102	41,3
Диориты и гранодиориты рудоносных комплексов	27	42,8
Диориты и гранодиориты безрудных комплексов	42	21,6

концентраций боратов или боросиликатов. В то же время В. И. Кузьмин (1964) приводит данные по высокому содержанию бора в гранатах скарновых месторождений, где собственная

Рис. 1. Распределение содержания бора в рудоносных и безрудных гранитах

- 1 — рудоносные граниты (12 массивов);  
2 — безрудные граниты (102 массива)

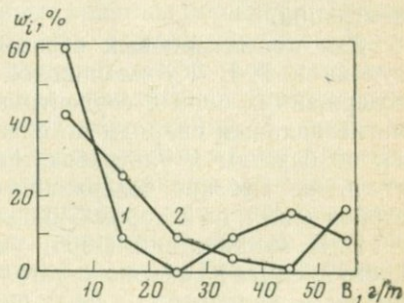
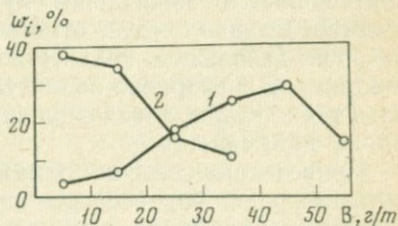


Рис. 2. Распределение содержания бора в рудоносных и безрудных диоритах и гранодиоритах

- 1 — рудоносные диориты и гранодиориты (27 массивов);  
2 — безрудные диориты и гранодиориты (37 массивов)



минерализация бора самыми детальными исследованиями не была установлена. Аналогичные материалы имеются в работе В. Д. Отрощенко, М. Ф. Зенина, А. В. Зарецкой (1956). Характерно, что даже на месторождениях бор в скарнах распределен довольно неравномерно и геохимическая специализация скарнов по бору отсутствует. Часто повышенные содержания бора связаны не с изоморфным вхождением бора в минералы скарнов, а с тонковкрапленной минерализацией бора. Такие данные приводятся Р. В. Гетлингом и Е. Н. Савиновой (1959) для гранатовых и волластонитовых скарнов датолитового месторождения. Часто эта вкрапленность минералов бора образует ореолы вокруг борных рудных тел. За пределами этих ореолов содержания бора в скарнах очень низкие и даже ниже, чем в породах, по которым образовались скарны. Несколько подробнее такой случай будет описан ниже.

С. В. Малинко (1967) рассмотрены кристаллохимические особенности распределения бора в пироксенах. На новом интересном фактическом материале С. В. Малинко показана прямая связь между содержаниями бора и алюминия в моноклинных пироксенах из известковых и магнезиальных скарнов, обусловленная характером изоморфизма бора в цепочечных силикатах. В результате в безалюминиевых пироксенах из бороносных магнезиальных скарнов Казахстана содержание бора значительно ниже, чем в алюминийсодержащих пироксенах из известковых скарнов того же района, не несущих борной минерализации. Таким образом, данные по повышенным содержаниям бора в пироксенах не могут служить надежным поисковым признаком наличия в скарнах борных концентраций.

Для **послескарновых образований** имеются данные В. Л. Барсукова и Г. Е. Курильчиковой (1957) о контрастно повышенных содержаниях бора в серпентинитах, образованных по бороносным магнезиальным скарнам по сравнению с серпентинитами, развитыми по базитам и ультрабазитам. Однако В. И. Кузьминым (1964) столь же высокие содержания обнаружены в серпентинитах месторождения, на котором борных минералов найдено не было.

В. В. Мельницкий (1966) указывает на повышенную бороносность пренита на скарново-датолитовом месторождении, а А. Д. Горшенин — кальцита.

Установление рудной минерализации бора (всегда постскарновой) является важнейшим критерием перспективности данного участка. Однако следует отметить, что, например, для известковых скарнов небольшое количество боросиликатов довольно обычно (например, в скарново-полиметаллических месторождениях) и даже в тех случаях, когда сколько-нибудь крупных концентраций бора не наблюдается.

Приведенные сведения показывают, что геохимические критерии потенциальной бороносности при существующей степени их изученности не являются однозначными. Тем не менее их практическая значимость не вызывает сомнений. Особенно это касается сбора дан-

## Первичные ореолы бора

Литературные данные по первичным ореолам месторождений бора отсутствуют, и приводимые ниже материалы основаны на результатах изучения, иногда не очень детального, на немногих объектах, главным образом датолитовых месторождениях известково-скарновой формации.

Руды бора выделяются по данным опробования в виде высокоборосных участков гнездообразной, линзообразной или пластообразной формы.

Боросиликатные и алюмоборосиликатные руды обычно приурочены к насыщенным силикатами участкам измененных пород, тогда как бораты развиваются по карбонатам и в некоторых случаях (котоитовые месторождения гипабиссальной магнезиально-скарновой формации) концентрируются на довольно значительном удалении от магнезиально-скарновых тел (Александров и др., 1968).

Видимые и строго локализованные границы борной минерализации, как правило, отсутствуют. Зачастую окружающее пространство также обогащено бором, что связано как с микровкрапленностью борных минералов, так и с повышенной бороносностью минералов скарнов и постскарновых образований. В результате формируется комплексный (по формам нахождения бора и генезису) первичный ореол, обусловленный двумя принципиально различными и не всегда сопутствующими друг другу процессами: характером и возможностью изоморфного вхождения бора в минералы скарнов и постскарновых образований и условиями образования и отложения собственных минералов бора.

На месторождениях боратов в магнезиальных скарнах часто широко проявлены процессы позднейших изменений: серпентинизации и оталькования. В связи с этим условия для изоморфизма бора здесь благоприятны (Хардер, 1965), что приводит обычно к повышенной бороносности подобных пород в пределах всего рудного поля (это однако не связано прямо с размерами рудных тел и содержаниями в них бора). Так например, в одном из боратовых проявлений борные минералы концентрируются в виде очень небольших (десятки сантиметров) гнезд. Эти гнезда приурочены к маломощным скарнам и кальцитирам, расположенным в линзах серпентинизированных доломитов, мощность которых до 100—150 м. Измененные

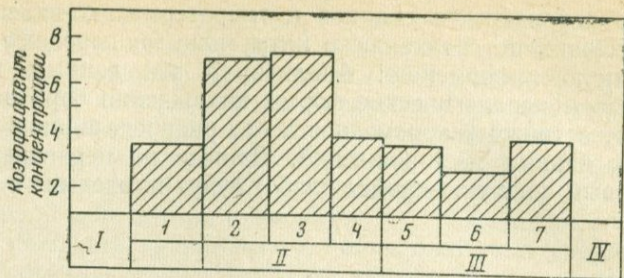


Рис. 3. Степень концентрации бора в процессе магнезиального скарнирования и гидротермальных изменений пород

I — биотитовые плагиограниты;

II — процесс образования магнезиальных скарнов;

III — процесс постскарновых гидротермальных изменений;

IV — доломитовый мрамор;

I — околоскарновая плагиоклаз-мусковит-скаполитовая порода;

2 — скарны магнезиальные форстерит-пироксеновые;

3 — скарны магнезиальные форстерит-хондродит-пироксеновые;

4 — кальцифиры;

5 — серпентинизация доломитов;

6 — термолитизация доломитов со слабым оталькованием;

7 — интенсивное оталькование

доломиты практически не несут минерализации бора. Однако содержание его здесь порядка  $0,03-0,04\%$  и они контрастно (рис. 3) выделяются на фоне низкоборосодержащих ( $0,003\%$ ) вмещающих доломитов и гранитов.

Исключительно разнообразны картины пространственного распределения бора в данбурит-датолитовых и турмалиновых месторождениях.

Данбурит-датолитовая минерализация обычно довольно строго локализована в скарнах, где образует участки концентрации неправильной и линзообразной формы.

Как правило, рассеянная минерализация распространена в скарнах очень широко, что в совокупности с повышенными содержаниями бора в довольно распространенных минералах скарнов (воластонит, везувиан), обуславливает их высокую общую боросодержательность. При этом ореолы бора обычно не связаны прямым образом с размерами рудных тел и степенью концентрации в них бора, а обусловлены размерами скарнированной зоны.

Подобный тип распределения наблюдался нами на одном очень крупном скарново-датолитовом рудном теле (рис. 4). Здесь очень богатое оруденение сопровождается маломощной оторочкой скарнов и скарнированных известняков с повышенной боросодержательностью, резко сменяющихся стерильными известняками с фоновыми содержаниями.

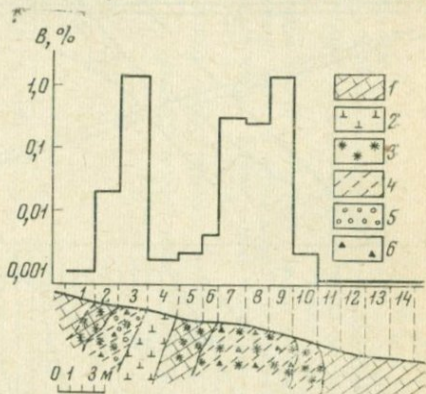
В то же время встречаются и распределения принципиально иного типа. Интереснейший случай наблюдался нами на одном из датолитовых месторождений. На этом месторождении рудные тела и вмещающие их гранатовые скарны развиваются по мергелям и

глинистым известнякам и тяготеют к контакту с гипабиссальной молодой интрузией, образуя пологопадающие зоны.

Во вмещающих осадочных породах, исследованных на участках, удаленных от какого-либо воздействия интрузий, содержание бора по всему разрезу составляет в среднем 0,01% при довольно равномерном распределении (коэффициент вариации не больше 30—40%).

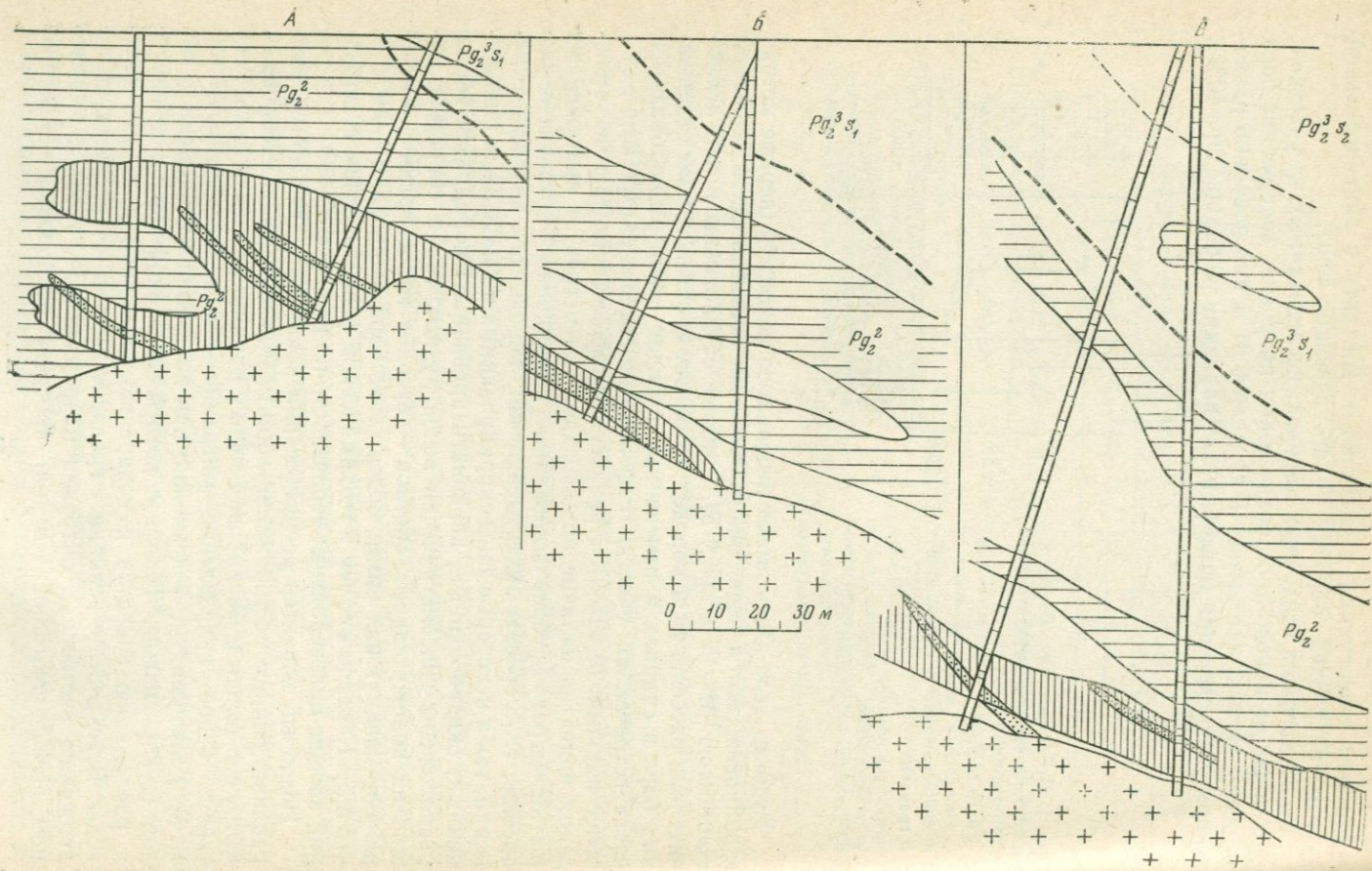
Рис. 4. Распределение бора в первичном ореоле датолитового месторождения

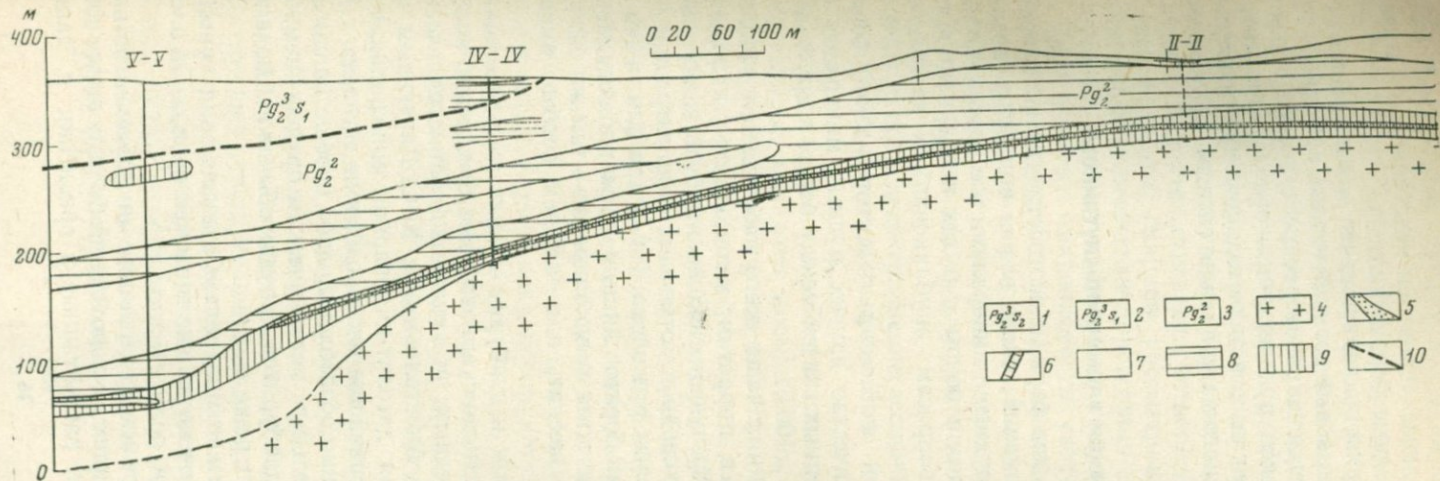
- 1 — известняки;
- 2 — диоритовые порфиры;
- 3 — скарирование (преобладает гранат);
- 4 — карбонатизация;
- 5 — окварцевание;
- 6 — датолитовые рудные тела



Рудные тела здесь имеют небольшую мощность (первые метры) и сопровождаются первичными ореолами повышенных содержаний мощностью 10—15 м (рис. 5), которые обусловлены почти исключительно рассеянием в породах датолита. В связи с этим содержания бора в скарнах и измененных породах очень разнообразны и часто встречаются участки с фоновыми содержаниями или даже более низкими (0,001%). Характернейшей особенностью месторождения является наличие мощных (десятки метров) и протяженных (сотни метров) ореолов пониженных содержаний — отрицательные ореолы. Эти ореолы захватывают как породы без видимых изменений, так и некоторые зоны скарированных и измененных (ожеженных, окварцованных, карбонатизированных) пород. Они всегда расположены гипсометрически выше рудных тел и сопровождающих их положительных ореолов — ореолов концентрации — и образуют «шапку» над ними. Содержание бора здесь 0,001—0,002%, что в 5—10 раз ниже, чем в геохимическом фоне, где такие содержания вообще маловероятны; вероятность их не более 0,5%.

Подобный характер распределения показывает, что при формировании данного месторождения бор мобилизовался из вмещающей интрузию толщи и мигрировал сверху вниз по направлению к контакту. Такое направление миграции — «антипневматолитиз», по В. М. Гольдшмидту, — возможно при внедрении недосыщенной водой «сухой» магмы. Тепловое воздействие такой магмы приводит к разложению гидратов и испарению пленочной и капиллярной воды. В результате возникает градиент давления, способствующий движению раствора к интрузии (Сыромятников, 1955). Г. Хардером (1965) показано, что при прогреве вмещающих интрузию





**Рис. 5.** Распределение бора в первичных ореолах дацитового месторождения в известковых скарнах

- А — фрагмент поперечного разреза по линии II—II;  
 Б — фрагмент поперечного разреза по линии IV—IV;  
 В — фрагмент поперечного разреза по линии II—II;  
 Г — продольный профиль;  
 1 — верхняя свита верхнего эоцена, мергели;  
 — нижняя свита верхнего эоцена, мергели;  
 2<sup>3</sup> — средний эоцен, мергели;  
 4 — трахилипариты;  
 5 — дацитовые рудные тела (контуры и ориентировка по данным ГРП);  
 6 — скважины;

- 7 — участки с фоновыми содержаниями (порядка 0,007—0,01% В);  
 8 — отрицательный ореол, околунуренный по содержаниям, появляющимся в аналогичных породах фона с вероятностью не более 1% (содержание обычно 0,003% В и меньше);  
 9 — положительный ореол, околунуренный по содержаниям, появляющимся в аналогичных породах фона с вероятностью не более 1% (содержание обычно более 0,02—0,03% В);  
 10 — границы свит

## Ассоциации элементов-спутников

Для геохимических поисков бора, в частности для интерпретации выявляемых борных аномалий, очень важен вопрос о связях минералов бора с другими рудными минералами и о комплексе микроэлементов, ассоциирующих с бором в рудах и скарнах. Следует отметить, что по этим вопросам опубликованных данных очень мало.

Довольно характерной особенностью месторождений бора является подчиненное количество других рудных минералов в их пределах и отсутствие прямых связей между бором и другими элементами (Лисицын и др., 1966).

В боратовых проявлениях чаще всего наблюдается небольшая примесь сульфидов (пирит, пирротин, халькопирит), наложенных на скарны и руды и не образующих сколько-нибудь значительных концентраций. С. М. Александров отмечает концентрацию в некоторых типах людвицитовых руд олова. Из 11 так или иначе изучавшихся нами проявлений боратов лишь в одном наблюдались довольно значительные количества халькопирита — там же были обнаружены молибденит и шеелит, а в четырех вообще никаких сульфидов не отмечено.

Боросиликаты — датолит и данбурит — являются довольно характерной примесью известково-скарновых месторождений вообще, в частности скарново-медных и скарново-полиметаллических. В. Б. Черницыным, Д. А. Апостоловым и К. С. Диваковым описана весьма оригинальная датолит-киноварная минеральная ассоциация. Крупные и крупнейшие месторождения датолита и данбурита либо пространственно обособлены, либо вообще не связаны со сколько-нибудь значительным металлическим оруденением. Тем не менее, в датолитовых и данбуритовых рудах обычно наблюдаются сульфиды свинца, цинка и реже меди.

Значительно разнообразнее минеральные ассоциации турмалина, который сопровождает очень многие типы месторождений олова, вольфрама, золота, меди и полиметаллов.

В табл. 6 приведены средние содержания микроэлементов в некоторых изученных нами типах месторождений бора, а также коэффициенты их концентрации, рассчитанные в сравнении с данны-

ми А. П. Виноградова (1962) и К. Б. Краускофа (Хокс, Уэбб, 1964).

Анализируя данные табл. 6, следует учесть, что мы располагали сведениями далеко не по всем типам месторождений бора. Так для датолитовых месторождений в известковых скарнах в нашем распоряжении были только данные по месторождениям, не связанным непосредственно с металлическим оруденением. Естественно, что для месторождений, где датолит ассоциирует с сульфидным, в частности полиметаллическим оруденением, ассоциации элементов и главное — их количественные соотношения могут быть и иными. Для магнезиальных скарнов рассматриваются преимущественно людвижит-ссайбелиитовые месторождения с магнетитом.

На основе данных табл. 6 составлены ряды концентраций (табл. 7), в которых микроэлементы упорядочены по коэффициентам их концентрации. Эти ряды показывают характер и интенсивность концентрации — рассеяния элементов в рассматриваемых процессах. Сравнение этих рядов позволяет вывести типоморфные ассоциации микроэлементов для различных типов руд и вмещающих их пород.

В табл. 8 приведено сравнение ассоциаций микроэлементов для месторождений скарновых формаций — отдельно для скарнов и руд.

Мы видим сложную картину ассоциаций микроэлементов, многие из которых обладают повышенными кларками концентрации в обеих формациях месторождений бора. Тем не менее, многие элементы отчетливо проявляют способность к концентрации (или к контрастно преимущественной концентрации) в каком-либо одном процессе, что позволяет наметить следующие типоморфные ассоциации.

Для месторождений магнезиально-скарновой формации типоморфны медь, олово, бериллий, цинк, молибден, германий, вольфрам. Эти элементы обладают очень высокими (10—100) коэффициентами концентрации в магнезиальных скарнах и (или) рудах и в то же время совершенно не концентрируются, а изредка даже выносятся в известковых скарнах и связанных с ними рудах. Медь, например, имеет средний коэффициент концентрации 25,8 в магнезиальных скарнах и 186,3 в боратовых рудах, тогда как в известковых скарнах и датолитовых рудах ее коэффициент концентрации, соответственно, 0,7 и 2,4.

Для месторождений известково-скарновой формации типоморфны ванадий, свинец, барий и литий. Эти элементы в магнезиально-скарновой формации встречаются либо в пределах кларковых содержаний (ванадий, свинец), либо вообще не обнаруживаются при существующей чувствительности анализа (барий и литий).

Некоторые элементы распределяются более сложно. Так, например, серебро и вольфрам очень интенсивно концентрируются в боратовых рудах (коэффициенты их концентрации соответственно 11 и 17) и совершенно не обнаруживаются в боросиликатных. И в то же время эти элементы более характерны для известковых скар-

Таблица 6

Средние содержания ( $\bar{x}$ , в %) и коэффициенты концентрации ( $K$ ) микроэлементов в некоторых типах месторождений бора

Элемент	Ссаибелиит-людвигитовые месторождения в магнезиальных скарнах				Датолитовые месторождения в известковых скарнах	
	$\bar{x}, n \cdot 10^{-3}$		K		$\bar{x}, n \cdot 10^{-3}$	
	скарны	руды	скарны	руды	скарны	руды
Sr	30,00	Не обн.	0,4	—	Не обн.	Не обн.
Ba	20,00	То же	1,7	—	40,00	70,00
Zi	0,60	0,20	0,4	0,1	6,90	9,80
Ti	83,00	14,00	2,1	0,4	109,00	111,00
Mn	244,00	342,00	6,1	8,5	276,00	11,00
Cr	3,80	1,10	19,1	5,4	9,40	1,10
V	1,60	1,50	1,6	1,5	7,00	13,40
Ni	1,41	6,10	2,4	10,1	3,90	4,60
Co	1,00	7,10	5,1	35,5	1,60	1,30
Cu	51,60	372,70	25,8	186,3	1,50	4,90
Zn	115,00	31,00	23,1	6,2	11,00	14,00
Pb	1,70	0,90	2,36	1,2	7,40	9,40
Cd	0,30	0,10	+	+	Не обн.	Не обн.
As	3,00	5,00	+	+	15,00	То же
Sb	Не обн.	114,00		+	2,80	» »
Ag	0,18	0,22	8,00	11,00	0,50	» »
Ge	0,39	0,21	+	+	0,10	» »
Be	0,88	Не обн.	8,8	—	0,10	0,16
Sn	7,80	27,40	+	+	1,50	0,36
Mo	0,49	4,50	16,3	150,0	0,20	0,25
W	0,30	3,10	1,7	17,1	0,60	Не обн.
Y	1,00	0,30	+	+	0,30	То же
Zr	104,00	2,00	+	+	15,30	42,00

## Примечание

- Таблица составлена на основе следующих данных:
  - месторождения в магнезиальных скарнах: 8 боропроявлений, 582 пробы;
  - месторождения в известковых скарнах: 4 боропроявления, 386 проб;
  - турмалинизированные граниты: 3 массива, 129 проб;
  - турмалин-сульфидные жилы: одно золото-турмалин-пиритовое проявление, 25 проб.
- Не обн. — элемент обнаружен в немногочисленных пробах и среднее его содержание ниже чувствительности анализа.
- «—» — элемент постоянно присутствует в породах фона, но отсутствует в рудах или скарнах.
- «+» — элемент обычно не обнаруживается в породах фона и кларк его не определен, но постоянно присутствует в рудах или скарнах и, следовательно, концентрируется.

Датолитовые месторождения в известковых скарпах		Турмалинизированные гранитоиды		Турмалин-сульфидные жилы	
К		$\bar{x}, n \cdot 10^{-3}$	К	$\bar{x}, n \cdot 10^{-3}$	К
скарпы	руды				
—	—	20,00	0,7	Не обн.	—
3,5	5,6	340,00	4,2	100,00	0,6
4,1	5,71	4,60	1,1	1,40	0,7
2,7	2,8	222,00	0,9	153,00	0,4
6,9	0,3	147,00	2,4	16,00	0,5
47,0	5,7	3,80	1,5	11,90	2,9
7,0	13,4	2,10	0,5	14,80	2,7
6,5	7,7	1,40	1,7	8,20	6,1
8,0	6,5	0,20	0,5	6,80	11,3
0,8	2,4	8,00	4,0	66,50	95,0
2,3	2,8	9,20	1,5	66,00	17,1
9,9	12,6	22,90	11,4	64,00	22,1
—	—	Не обн.	—	0,30	+
+	—	4,00	25,6	108,00	217,0
+	+	Не обн.	—	84,00	+
25,0	—	0,11	22,6	0,44	22,0
+	—	0,12	1,2	0,20	2,0
+	1,6	0,42	0,8	0,13	1,5
+	+	9,40	31,3	2,40	6,8
56,6	8,3	0,86	8,6	1,80	25,7
3,3	—	0,70	4,7	1,30	6,7
+	—	14,20	4,4	2,50	0,07
+	+	37,20	1,8	29,00	0,6

нов (коэффициенты концентрации 25 и 3,3), чем для магнезиальных (коэффициенты 8 и 1,7).

В табл. 9 приводим сопоставление ассоциаций микроэлементов для месторождений турмалина. Типоморфные ассоциации вырисовываются здесь вполне отчетливо и различия контрастны.

Следует, пожалуй, еще раз подчеркнуть, что нами рассматриваются далеко не все типы месторождений и, например, для сульфидно-касситеритового типа, часто содержащего высокие концентрации турмалина, олово несомненно будет более характерно, чем для турмалинизированных гранитоидов.

Сопоставление типоморфных ассоциаций турмалиновых, боратовых и боросиликатных руд показывает, что степень концентрации очень многих элементов в турмалиновых рудах выше. В изученных турмалинизированных гранитоидах по сравнению с боратовыми рудами выше коэффициенты концентрации серебра, свинца и

Таблица 7

## Ряды концентрации микроэлементов в рудах и скарнах борных месторождений

	Коэффициенты концентрации						
	более 50	50—11	11—3	+	3—0,5	мень- ше 0,5	—
Магнезиальные скарны		Cu, Zn Cr, Mo	Be, Ag, Mn, Co	Cd, As, Ge, Sn, Y, Zr	Ni, Pb, Ti, Ba, W, Y	Sr, Li	
Известковые скарны		Cu, Ag	Pb, Co, V, Mn, Mo, Ni, Ba, W	As, Sb, Ge, Sn, Sr	Ti, Zn, Cu, Be	Li	Sr, Cd
Магнезиально- скарновые руды	Cu, Mo	Co, W, Ag	Ni, Mn, Zn, Cr	Cd, As, Sb, Ge, Sn, Y, Zr	V, Pb	Mn	Sr, Ba, Be
Известково-скар- новые руды		V, Pb	Mo, Ni, Co, Cr, Li, Ba	Sb, Sn, Zr	Ti, Zn, Cu, Be		Sr, W, Cd, As, Ge, Y, Ag
Турмалинизиро- ванные грани- тоиды		Sn, As, Ag, Pb	Mo, W, Y, Ba, Cu		Mn, Zr, Ni, Cr, Ge, Li, Ti, Sr, Be, V, Co	Y	
Турмалин-суль- фидные жилы	As, Cu	Mo, Pb, Ag, Zn, Co	Sn, W, Ni	Cd, Sb	Cr, V, Ge, Be, Zr, Li, Mn, Ba	Ti	Sr

## Примечание

1. «+» — элемент обычно не обнаруживается в породах геохимического фона и кларк его не определен, но постоянно присутствует в рудах или скарнах и, следовательно, концентрируется в этих процессах.
2. «-» — элемент постоянно присутствует в породах геохимического фона, но отсутствует в рудах или скарнах и, следовательно, выносится при этих процессах.
3. В пределах каждой колонки элементы расположены в порядке убывания коэффициента концентрации.

Таблица 8

Сравнение ассоциаций микроэлементов месторождений бора магнезиально-скарновой и известково-скарновой формации

Характер распределения микроэлементов	Ассоциации	
	скарны	руды
Концентрирующиеся только в скарнах или рудах магнезиальной формации	Cu, Be	Mn, Ag, Ge
Характерные для обеих формаций, но более интенсивно концентрирующиеся в магнезиальной формации	Zn, Mo, Ge, V, Li, Ba	Cu, Mo, Sn, Co, W, Ag, Zn
Концентрирующиеся только в скарнах или рудах известковой формации	V, Li, Ba	V, Pb, Li, Ba
Характерные для обеих формаций, но более интенсивно концентрирующиеся в известковой формации	Ag, Pb, W, Cr, As, Ni	Zr

иттрия по сравнению с боросиликатами иттрия. В турмалин-сульфидных жилах по сравнению с боратовыми рудами выше коэффициент концентрации свинца, а по сравнению с боросиликатами — коэффициент меди, молибдена, свинца и вольфрама. Четких отличий между этими типами пока установить не удалось.

Все указанные выше закономерности являются эмпирическими. Причины их, изучение которых связано, в частности, с выяснением форм нахождения элементов, распределения их между минералами и т. д., не исследовались. Несомненно, что в ряде случаев появление повышенных содержаний микроэлементов связано с наложенными процессами, не имеющими прямого отношения к борной минерализации.

Во вторичных ореолах рассеяния источником бора и микроэлементов являются как руды, так и вмещающие их породы. При этом в условиях закрытых районов на поисковом этапе исследований мы обычно не имеем возможности прямых наблюдений на коренных выходах руд или вмещающих их пород. Коэффициенты концентрации показывают нам лишь направление миграции микроэлементов в том или ином процессе. Однако они являются относительной величиной и не дают возможности судить об абсолютных количествах элементов, поступающих во вторичные ореолы рассеяния из рудоносных зон различного минерального и промышленного типа. Чтобы выяснить принципиальные возможности оценки минерального типа коренного источника вторичных аномалий бора, было

Таблица 9

## Сравнение ассоциаций микроэлементов в турмалинизированных гранитоидах и турмалин-сульфидных жилах

Характер распределения микроэлементов	Ассоциации
Концентрирующиеся только в турмалинизированных гранитоидах	Ba
Характерные для обоих типов, но более интенсивно концентрирующиеся в турмалинизированных гранитоидах	Sn, Mn
Концентрирующиеся только в турмалин-сульфидных жилах	Y, Co, Ni, Zn
Характерные для обоих типов, но более интенсивно концентрирующиеся в турмалин-сульфидных жилах	As, Cu, Mo, Pb

проведено сравнение средних содержаний бора изученных типов месторождений (табл. 10).

Анализ табл. 10 показывает, что рассматриваемые типы месторождений являются источниками довольно различных количеств и ассоциаций микроэлементов. Однако эти различия контрастны только при анализе ассоциаций элементов. Повышенные содержания одного элемента практически ни о чем не говорят. Так, например, высокие содержания бария в известковых скарнах и датолитовых рудах отличают их от магнезиальных скарнов и боратовых руд. В то же время бария значительно больше в турмалинизированных гранитоидах и этот элемент вполне контрастно отличает эти гранитоиды от известковых скарнов и боросиликатных руд. Таких примеров можно было бы привести много. Ассоциации микроэлементов иногда различают лишь два альтернативно сравниваемых типа месторождения. Но, например, боратые и турмалин-сульфидные руды имеют очень схожие ассоциации накапливающихся и выносимых элементов.

В связи с этим, следует отметить, что, изучая вторичные ореолы рассеяния бора и ассоциирующих элементов, мы в закрытых районах не имеем возможности даже предположительно определить минеральный тип или формацию коренного источника. В частности, особенно трудно отличить турмалиновый тип, встречающийся в очень разнообразных геологических обстановках, от боратого и боросиликатного, локализующихся более определенно. К сожалению, имеющиеся данные показывают, что по комплексу микро-

Таблица 10

## Ассоциации микроэлементов, различающие типы месторождений бора по контрастно высоким отношениям средних содержаний

Сравниваемые типы руд	Концентрирующиеся элементы		Сравниваемые типы руд
<u>Боратовые руды</u> <u>Датолитовые руды</u>	Cu (76,0), Zn (2,2), Sn (76,1), Y (!), Ge (!), Mo (18), Co (5,5)	Ba (!), Pb (10,7), V (8,9), Li (48,9)	<u>Датолитовые руды</u> <u>Боратовые руды</u>
<u>Боратовые руды</u> <u>Турмалинизированные гранитоиды</u>	Cu (45,3), Mo (5,2), Ni (4,5), W (4,3), Co (3,0), Sn (3,0)	Pb (25,4), Y (47,3), Ba (!)	<u>Турмалинизированные гранитоиды</u> <u>Боратовые руды</u>
<u>Боратовые руды</u> <u>Турмалин-сульфидные руды</u>	Sn (11,4), Mn (21,4), Cu (5,6), Mo (2,5), W (2,3)	As (21,6), Pb (71,1)	<u>Турмалин-сульфидные руды</u> <u>Боратовые руды</u>
<u>Датолитовые руды</u> <u>Турмалинизированные гранитоиды</u>	V (6,4), Co (5,4), Ni (3,3), Li (2,1)	Ba (4,8), Sn (26,1), As (!), W (!), Ag (!), Y (!)	<u>Турмалинизированные гранитоиды</u> <u>Датолитовые руды</u>
<u>Датолитовые руды</u> <u>Турмалин-сульфидные руды</u>	Li (6,7)	Co (5,2), Pb (6,8), Cu (13,5), W (!), Ag (!), As (!)	<u>Турмалин-сульфидные руды</u> <u>Датолитовые руды</u>

В скобках: а — величина отношения средних содержаний в сравниваемых типах руд; б — «!» отношение очень велико, так как элемент не обнаружен в одной из сравниваемых пород.

элементов турмалинизированные гранитоиды и турмалин-сульфидные руды также отличаются плохо. В частности, турмалин-сульфидные проявления по комплексу микроэлементов могут совершенно не отличаться от боропоявлений других типов.

Таким образом, при данной степени изученности ассоциация микроэлементов в рудах не дает надежной основы для однозначной интерпретации аномалии бора.

### **Общая оценка возможностей использования геолого-геохимических критериев для прогноза и поисков эндогенных месторождений бора**

Геолого-геохимические особенности бора и его месторождений позволяют сделать выводы о возможностях или перспективах их использования в поисковых целях.

1. Большое разнообразие генетических и минеральных типов месторождений бора обуславливает большое разнообразие геолого-структурных обстановок, благоприятных для их образования. Анализ наиболее общих геологических карт показывает, что районы, перспективные по общим соображениям для поисков бора, распространены очень широко. Отсюда следует и большое разнообразие природных условий, в которых могут проводиться поиски этого элемента. Перспективны районы и участки практически во всех основных ландшафтно-геохимических провинциях, выделенных А. И. Перельманом и Ю. В. Шарковым, и дифференцирующих территорию СССР по условиям геохимических поисков.

2. Имеющиеся геолого-структурные критерии наиболее конкретны и четки для небольших и средних по запасам бора гипабиссальных месторождений боросиликатов в диффузионных и инфильтрационно-диффузионных известковых скарнах. Их позиция определяется, в основном, контактом интрузивных и карбонатных пород.

Для типов месторождений с крупными запасами — бораты в древних осадочно-метаморфических толщах и боросиликаты в инфильтрационных скарнах, обычно не имеющих видимой связи с интрузивными контактами пока не имеется конкретных критериев, позволяющих сколько-нибудь определенно локализовать их в пространстве.

3. Геохимические критерии прогнозирования, основанные на особенностях распределения бора в интрузивных породах не дают однозначных результатов. В этой связи следует отметить, что важнейшей теоретической основой этих критериев являются представления о борной специализации интрузии, которая проявлена далеко не всегда.

4. Отсутствие четких критериев для детального геолого-геохимического прогноза месторождений бора приводит к выводу о том, что преобладающий сейчас при поисках ревизионно-опробовательский подход вряд ли может привести к закономерно эффективно-

му результату. И действительно, при условии большой степени закрытости геологически перспективных площадей, ревизионное опробование выходящих на поверхность пород в сущности не является площадным методом поисков.

5. Необходимость проведения площадных поисков бора требует детальной разработки геохимической методики и, прежде всего, по вторичным ореолам рассеяния. Широкое использование первичных ореолов при поисках нецелесообразно в связи с их небольшими размерами, закрытым характером большей части перспективных территорий и крайне слабой степенью поисковой изученности громадных площадей, которые могут быть выделены по геологическим соображениям. Однако даже при современном весьма низком уровне изученности этого вопроса данные по распределению бора и ассоциирующих с ним элементов в породах (собираемые преимущественно при ревизионно-опробовательских работах) являются первоочередным при оценке перспективности тех или иных территорий. Таким образом, архитектура поисковых и поисково-разведочных исследований на бор должна складываться как из ревизионно-опробовательских, так и из площадных поисковых геохимических работ, взаимно не исключающих друг друга.

6. Содержания бора в горных породах довольно различны. Однако на фоне сравнительно небольших вариаций контрастно выделяются концентраты бора — морские и соленосные глинистые отложения. Нетрудно предположить, что эти породы образуют участки повышенных концентраций бора в ландшафте.

7. Все типы месторождений бора характеризуются повышенными содержаниями ряда рудных элементов. Однако даже для одного типа месторождений бора ассоциация сопутствующих элементов может значительно варьировать в зависимости от региональных и местных металлогенических особенностей. В связи с этим в общем случае использование ассоциации сопутствующих бору микроэлементов для интерпретации вторичных аномалий бора затруднено.

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОИСКОВ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОРА ПО ВТОРИЧНЫМ ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ

### Глава 1

#### ВЛИЯНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛАНДШАФТА НА МИГРАЦИЮ БОРА

В природных ландшафтах бор коренных пород перераспределяется главным образом в связи со способностью этого элемента к интенсивной водной миграции и участию в биогенезе. Однако интенсивность миграции бора может быть весьма различной и зависит, прежде всего, от первичных форм нахождения бора в горных породах, их способности к выветриванию (внутренние факторы миграции) и геохимических особенностей ландшафта, регулирующих биологический круговорот и водную миграцию (внешние факторы миграции).

#### **Бор в нерудных корах выветривания**

Для рассматриваемых нами типов месторождений наибольшее значение имеет изучение поведения бора в условиях кислых и карбонатных типов коры выветривания. Другие геохимические типы кор выветривания, классифицированные А. И. Перельманом (1966) — сернокислый, соленосный и т. д. — для месторождений бора сравнительно мало характерны.

Кислый тип коры формируется при выветривании в районах с гумидным климатом на силикатных породах или при глубоких стадиях выветривания карбонатных пород. Карбонатный тип формируется на любых породах в районах аридного и субаридного климата и на ранних этапах выветривания карбонатных пород в гумидных районах.

При выветривании в гумидном климате бор в условиях кислых некарбонатных кор интенсивно выносятся. Данные, имеющиеся по многочисленным разрезам древних и современных кор выветривания гранитоидов Приморского и Хабаровского края, Восточного Забайкалья, Прибайкалья и Северного Казахстана показывают, что содержания бора в горизонтах коры выветривания по сравнению со сравнительно свежими породами уменьшаются в 3—4 раза и, как правило, не превышают 0,001—0,003%. При этом характерно, что интенсивный вынос бора происходит уже на довольно ранних этапах выветривания и, например, содержания в дресвянистых и глинистых горизонтах существенно не разнятся.

В аридных и субаридных районах, где широко развиты коры выветривания карбонатного типа, бор горных пород при выветривании либо не выносится вообще, либо даже накапливается. Так, на Чаткальском хребте наблюдались дресвянистые карбонатизированные коры выветривания биотит-роговообманковых гранодиоритов (содержание  $\text{CO}_2$  карбонатов 2,97%). Содержания бора здесь увеличиваются с 0,006% (свежие породы) до 0,017% (дресвянистые коры). Следует однако отметить, что в аридных и субаридных районах чаще всего наблюдаются древние коры выветривания, образованные в условиях резко гумидного климата. В этих случаях содержания бора в корах, естественно, невелики. Так, например, в древних корах выветривания гранитоидов того же Чаткальского хребта в монтмориллонит-гидрослюдистых горизонтах, карбонатизированных более поздними процессами, содержания бора не превышают 0,001—0,002%. Аналогичные данные получены по каолиновым и каолин-гидрослюдистым корам выветривания гнейсов и сланцев Северного Казахстана.

## Основные факторы миграции и концентрации бора в ландшафте

### Водная миграция бора в почвах

Свойства бора как комплексообразователя и его связь с гидросферой обуславливают интенсивную водную миграцию бора, являющуюся наиболее типичной формой миграции для этого элемента. В геохимической классификации элементов по особенностям гипергенной миграции (Перельман, 1966) бор отнесен к группе очень подвижных анионов, характеризующихся коэффициентом водной миграции порядка  $n \cdot 10$  —  $n \cdot 100$ .

Интенсивность водной миграции бора в различных условиях неодинакова.

Отсутствие у бора переменной валентности в природных процессах приводит к тому, что миграция его регулируется главным образом щелочно-кислотными условиями среды. Наиболее интенсивна миграция в кислых почвах при рН до 5,0—5,5. Очень щелочные почвы (содовые солончаки) нами не изучались. Однако можно предположить, что и здесь бор способен к интенсивной водной миграции. Об этом, в частности, говорят данные А. В. Щербакова (1961), показавшего очень интенсивную миграцию бора в щелочных (рН порядка 11) содовых водах.

Естественно, что рН является обобщенным геохимическим показателем, во многом зависящем, в свою очередь, от целого ряда других факторов: соотношения между щелочами и щелочными землями, состава анионов, органического вещества и т. д. Особенно существенно здесь наличие кальция и магния, с которыми, как было показано М. Г. Валяшко (1953), бор в карбонатной обстановке образует труднорастворимые соединения.

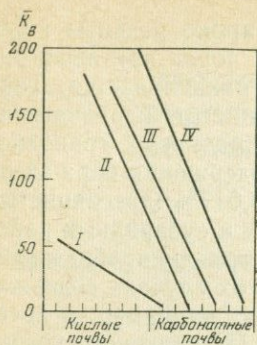


Рис. 6. Характер изменения способности бора к водной миграции ( $K_B$ ) в почвах гумидных районов

I — Восточное Забайкалье; II — Малый Хинган; III — Приморский край; IV — Южное Прибайкалье

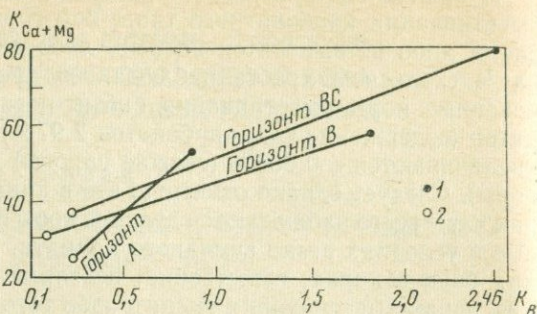


Рис. 7. Зависимость миграционной способности бора ( $K_B$ ) от миграционной способности кальция и магния ( $K_{Ca+Mg}$ )

Средние данные по почвам: 1 — на алюмосиликатных породах; 2 — на карбонатных породах

На рис. 6 демонстрируется характер изменения миграционной способности бора в бескарбонатных и карбонатных почвах гумидных районов. Мы видим контрастное уменьшение интенсивности водной миграции бора в карбонатных условиях. В то же время миграционная способность бора в почвах возрастает при увеличении интенсивности миграции кальция и магния (рис. 7). Коэффициент миграционной способности бора в почвах варьирует от 2—10 в слабощелочных и щелочных карбонатных почвах и до 50—200 в кислых и слабокислых почвах. Указанные закономерности особенно ярко проявляются в нижних (минеральных) горизонтах почв и в рыхлых отложениях. В верхних — органогенных горизонтах эти зависимости могут затушевываться влиянием органики. На графиках (рис. 8, 9) показана зависимость между коэффициентом миграционной способности бора и гумусностью почв. В верхних горизонтах почв наблюдается прямая зависимость способности бора к водной миграции от содержания общего и воднорастворимого гумуса. В минеральных горизонтах каких-либо закономерных связей между этими показателями не установлено. Подобная закономерность может быть объяснена лишь образованием органо-минеральных водноподвижных комплексов бора. Наличие этих комплексов может повысить способность бора к водной миграции в почвах, богатых органикой даже в карбонатных условиях. Так например, в ландшафте хвойно-широколиственных лесов Малого Хингана нами были определены очень высокие коэффициенты миграционной способности бора в некоторых торфяно-болотных почвах (до 600) и повышенные коэффициенты в гумусовых горизонтах карбонатных почв (41 в среднем).

В аридных и субаридных районах особенности водной миграции бора в почвах иные. Здесь следует учитывать, что бор является типичным элементом галогенеза и накапливается в природных водах вместе с хлоридами и сульфатами щелочных металлов и магния (Валяшко, 1953; Ковда и др., 1959; Козин, 1966). В связи с этим важную роль играет испарительная концентрация бора. Вместе с тем, в этих районах очень широко развиты карбонатные почвы, и в целом способность бора к водной миграции в почвах здесь невелика. Однако она может увеличиваться на участках, где проявлены галогеохимические процессы. Так, например, в карбонатных черноземных степях Северного Казахстана коэффициент миграционной способности в почвах варьирует в пределах 6—10 и повышается до 30—50 на участках солонцеватых черноземов, характеризующихся также повышенной общей бороносностью. Таким образом, в отличие от гумидных районов, в условиях проявления испарительной концентрации и галогенеза в аридном климате, увеличение способности бора к водной миграции свидетельствует не о рассеянии элемента, а о его концентрации.

На водную миграцию бора большое влияние оказывает его способность к сорбции. Имеющиеся в литературе данные показывают, что бор способен сорбироваться гидроокислами железа и алюминия, глинистыми минералами и органическим веществом.

Как показано многочисленными экспериментальными исследованиями (Scharrer, Kuhn, Juttner, 1956; Поляков, 1962) значительный эффект связывания бора показывают окислы алюминия и железа. В растворах, содержащих сульфат-ион, интенсивность сорбции резко снижается

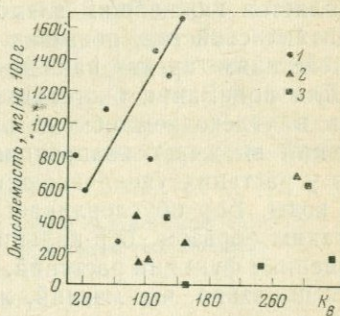
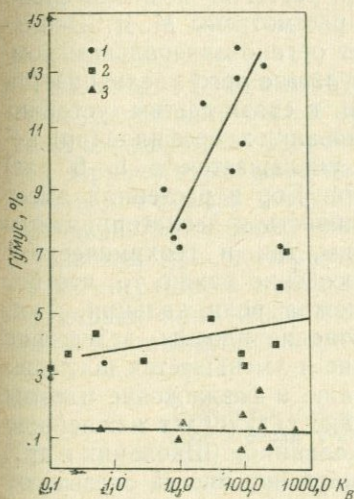


Рис. 8. Зависимость миграционной способности бора ( $K_B$ ) от содержания общего гумуса в почве

1 — горизонт А; 2 — горизонт В; 3 — горизонт ВС

Рис. 9. Зависимость миграционной способности бора от окисляемости почв

1 — горизонт  $A_0A_1$ ; 2 — горизонт  $A_2B$ ; 3 — горизонт ВС

(соленосные ландшафты в аридных районах). Бор также интенсивно сорбируется глинистыми минералами, среди которых наилучшим сорбентом является иллит. Количества сорбированного бора прямо зависят от температуры и содержания элемента в промывающих водах.

### Биологическое поглощение бора в ландшафте

Бор является типичным биофильным элементом. Работами физиологов и агрохимиков (Школьник, 1950; Скок, 1962, и многие другие) доказано, что без бора растения не могут нормально существовать.

По данным Д. Скока (1962), бор удовлетворяет всем трем критериям незаменимости для существования растений: 1) неизвестно ни одного растения, которое могло бы покрыть все свои потребности роста при отсутствии бора; 2) никакой другой элемент не может полностью покрыть потребности в боре; 3) бор непосредственно участвует в питании растений.

С. М. Ткаличем и В. В. Поликарпочкиным в 1967 г. показано, что бор относится к главным зольным элементам, находящимся на так называемой линии питания, куда кроме бора входят Na, Mg, Al, P, S, Cl, Ca, Mn, Fe. Легко видеть, что эта ассоциация составлена наиболее распространенными в литосфере элементами и бор здесь является единственным элементом с малым кларком.

Функции бора в жизнедеятельности растения исключительно многообразны. Наиболее детально они рассмотрены М. Я. Школьником (1950). Бор в растениях образует органо-минеральные комплексы с углеводами (сахарами), в результате чего увеличивается их степень диссоциации (кислотность) и в связи с этим устойчивость к окислению. Бор участвует в образовании хлорофилла (при недостатке бора количество хлорофила уменьшается в 5—6 раз) и является важнейшим элементом роста. Бор в растениях имеет защитные свойства, повышая их устойчивость к неблагоприятным воздействиям среды как климатическим, так и геохимическим.

Для понимания биогеохимии бора особенно важно то, что его роль в углеводном обмене противоположна роли кальция. Так, кальций вызывает коагуляцию и уплотнение плазмы, вследствие чего у растения увеличивается испарение и уменьшается поглощение воды. Бор обуславливает диссоциацию и разжижение плазмы и, таким образом, бор-кальциевый баланс регулирует важнейшие жизненные функции растений. М. Я. Школьником (Школьник и др., 1959) показано, что магний, железо и марганец иногда оказывают на растение действия, сходные с действиями бора.

Биофильные свойства бора обуславливают его накопление растительностью. При этом, однако, растения очень чутко регулируют потребность в боре при изменении климатических и геохимических условий.

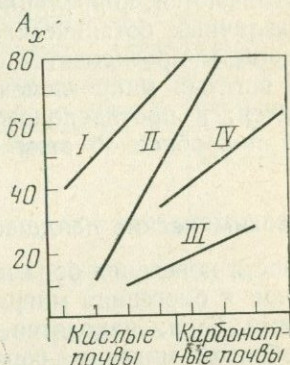
Среднее содержание бора в золах растений 0,067%. Оно было рассчитано на основании более 2000 количественных определений

(учитывались лишь содержания, не связанные с рудными аномалиями бора в породах и почвах). Это содержание в 45 раз больше, чем кларк бора в кислых изверженных породах и в 225 раз больше, чем в известняках и доломитах. Таким образом, видна большая роль условий карбонатности (кальция) для накопления бора в растениях.

Резкое увеличение биологического поглощения бора происходит при переходе от кислых некарбонатных почв к слабощелочным и щелочным карбонатным почвам. Средние значения коэффициента биологического поглощения возрастают с 10—30 до 30—80 (рис. 10).

**Рис. 10.** Характер изменения биологического поглощения бора ( $A_x$ ) в почвах гумидных районов

*I* — Приморский край; *II* — Восточное Забайкалье; *III* — Малый Хинган; *IV* — Джугджур



В табл. 11 приведены данные, показывающие увеличение средних содержаний бора в золе ветвей и хвоя широко распространенной лиственницы даурской.

Приведенные материалы позволяют также сделать некоторые выводы о формах доступного для растений бора почв. Повышенные интенсивности биологического поглощения бора в карбонатных условиях при одновременном снижении здесь интенсивности водной миграции в почвах (сравните рис. 6 и рис. 10) показывают в первом приближении, что содержание воднорастворимого бора еще не определяет количество бора, доступное для растений. Этот

Таблица 11

Изменение содержаний бора в золе лиственницы даурской в связи с изменением ландшафтно-геохимических условий (в  $n \cdot 10^{-2} \%$ )

Район	Кислые почвы	Субщелочные карбонаты почвы
хр. Джугджур	3,6	6,3
хр. Малый Хинган	5,2	8,0
Восточное Забайкалье	6,2	10,4

вывод, как мы увидим ниже, имеет первостепенное значение для оценки возможности формирования биогеохимических ореолов минерализации бора различного типа.

Важнейшее теоретическое и практическое значение имеет учет специфичности поглощения бора отдельными ботаническими видами и влияния других микроэлементов, участвующих в минеральном питании растений.

Видовая специфичность поглощения бора выражается прежде всего в том, что в растениях, произрастающих в одних и тех же условиях и опробованных на одних и тех же точках, содержания резко отличаются; корреляционные связи между содержаниями бора в различных ботанических видах, как правило, отсутствуют.

Влияние микроэлементов сказывается в том, что на породах и почвах, богатых микроэлементами, содержание бора в растениях понижается; в противоположном случае резко повышается. Несколько подробнее об этом будет сказано дальше.

### Геохимические ландшафты и условия миграции бора

Особенности поведения бора при выветривании пород и минералов, его водная и биогенная миграция, обусловленные геохимическими свойствами бора, находятся в неразрывной взаимозависимости. Таким образом, миграция бора в условиях земной поверхности теснейшим образом связана с геохимическими характеристиками природных ландшафтов. Следовательно, ландшафтно-геохимический анализ условий миграции и концентрации является научной и методической основой для геохимических поисков бора по вторичным ореолам рассеяния. Естественно, не все геохимические признаки ландшафта равно значимы для всех элементов. Анализ материалов, изложенных выше, позволяет наметить последовательность ландшафтно-геохимических факторов, учет которых необходим при поисках бора (табл. 12).

При поисках бора в пределах одного даже достаточно большого района наиболее контрастные различия в условиях миграции и концентрации бора определяются видом ландшафта и классом его водной миграции.

Исходное количество бора, поступающего в ландшафт в условиях геохимического фона (безрудные ландшафты), регулируется главным образом литолого-фациальными особенностями горных пород. Мы видели, что повышенная бороносность характеризует терригенно-глинистые осадки морского и лагунного происхождения (0,0п—0,п%). В. Л. Барсуков и Г. Е. Курильчикова (1957) приводят данные и по повышенной бороносности серпентинизированных ультраосновных пород — 0,013% в среднем при вариации от 0,007% до 0,032%. Участки распространения таких пород контрастно выделяются на фоне более низких содержаний в иных породах (порядка 0,0011%) и всегда должны учитываться как особые виды

Таблица 12

## Основные критерии геохимического разделения ландшафтов по условиям поисков бора

Критерии	Влияние на миграцию бора	Таксономические единицы по геохимической классификации ландшафтов по А. И. Перельману (1966)
Литолого-фациальные особенности горных пород, минеральный тип руд, геологическая и геохимическая история их развития в элювиальный период	Исходное количество бора, поступающего в ландшафт, характер поведения бора при процессе выветривания	Вид ландшафта
Типоморфные элементы и ионы водной миграции в ландшафте, его щелочно-кислотные свойства	Интенсивность водной миграции и биологического поглощения бора	Класс ландшафта
Биогенные свойства ландшафта (биологическая продуктивность, качественные и количественные характеристики опада, соотношения между общей массой живого вещества и опадом, скорость разложения остатков организмов)	Биогенная миграция бора и интенсивность его биологического круговорота	Семейство ландшафтов, тип ландшафтов, группа ландшафтов

ландшафта, даже если они не отличаются другими геохимическими особенностями.

Класс водной миграции ландшафта определяет условия водной миграции и биологического поглощения бора. В частности, важно различать ландшафты с кислым классом водной миграции, ландшафты с переходным к кальциевому и кальциевым классом миграции, соленосные и содовые ландшафты.

Имеющиеся данные показывают, что формирование существенных для поведения бора классов водной миграции, дифференцирующих ландшафты по интенсивности миграции щелочных земель и галогеохимическим процессам, обусловлено следующими причинами: 1) литологическим составом горных пород, слагающих ландшафт; 2) биологическими свойствами ландшафта, определяемыми его типом; 3) качественным изменением состава растительности в пределах типа; 4) особенностями грунтовых вод, связанными с типом ландшафта и климатом.

В гумидных районах наиболее мощным фактором, регулирующим щелочно-кислотные свойства ландшафта, является состав горных пород. На алюмосиликатных породах — гранитоиды, терригенные породы — формируются ландшафты с кислым классом, на карбонатных — известняки, доломиты, мергели — с кальциевым классом водной миграции.

Ландшафты кислого класса характеризуются кислой и слабокислой реакцией почвенного раствора (рН 4,8—5,9) и полным отсутствием в почвах и рыхлых отложениях углекислоты карбонатов. Воды кислых ландшафтов имеют обычно небольшую минерализацию и относятся к ультрапресным. По составу они гидрокарбонатно-натриевые, реже гидрокарбонатно-силикатно-натриевого ти-

па, в которых кремнекислота в общей минерализации стоит на втором месте после гидрокарбонат-иона (Кожара, 1963).

Кислый класс водной миграции характеризует как автономные, так и подчиненные члены геохимического сопряжения. В подчиненных ландшафтах торфяно-болотистых долин и западин в связи с застойным режимом вод и низким потенциалом кислорода происходит вынос железа — в почвах наблюдаются глеевые горизонты — и формируется кислый глеевый класс водной миграции.

Ландшафты кальциевого класса характеризуются нейтральной или слабощелочной реакцией почвенного раствора (рН 6,9—7,5) и наличием в почвах свободной углекислоты карбонатов. Поглощенный комплекс почв и водная вытяжка из почв обогащены Са (для доломита также и магнием — кальциево-магниевый класс). Подзолообразование в почвах на карбонатных породах не проявлено. В сравнении с кислыми, ландшафты кальциевого класса характеризуются более высокой биологической продуктивностью, более богаты травостоем и кустарниковым ярусом. Почвы здесь в 2,0—2,5 раза богаче органическим веществом.

Воды кальциевых и кальциево-магниевых ландшафтов обладают повышенной минерализацией — до 800 мг/л — и гидрокарбонатно-кальциевым или гидрокарбонатно-кальциево-магниевым составом.

Следует отметить, что многолетняя мерзлота не влияет на класс водной миграции в ландшафте. Так, на хр. Джугджур карбонатная обстановка (повышенные  $\text{CO}_2$  и рН) проявляется даже в торфянистых горизонтах, залегающих непосредственно на мерзлом делювии.

Весьма специфические ландшафты с кальциевым или переходным к кальциевому классом водной миграции формируются в широколиственных лесах Дальнего Востока и Северного Кавказа. Их образование обусловлено высоким содержанием кальция в опаде дуба, бука и ряда других видов. В результате кальциевый класс водной миграции возникает даже на кислых изверженных породах. При этом характерно, что рН и содержание  $\text{CO}_2$  карбонатов здесь максимальны в верхних горизонтах почв, тогда как в кальциевых ландшафтах других типов распределение этих параметров по профилю почвы имеет обратный характер.

В субаридных и аридных районах наиболее мощными факторами, регулирующими дифференциацию ландшафтов по классам водной миграции, являются интенсивный биологический круговорот и испарительная концентрация элементов из грунтовых вод. Это связано, в основном, с климатическими особенностями ландшафтов: избытком тепла и недостатком влаги. В этих условиях ежегодно продуцируется большое количество органического вещества — не меньше чем в лесах — причем большая его часть гумифицируется и минерализуется. Растения здесь имеют большую, чем в гумидных районах, зольность — более интенсивное минеральное питание. В результате этого после минерализации органических остатков в почвы поступает в 8—10 раз больше химических элементов, чем, например, в тайге (Перельман, 1966).

Среди высвобождаемых при минерализации катионов преобладает кальций, который, по данным Л. Е. Родина и Н. Е. Базилевич (1965), концентрируется большей частью степных и пустынных видов. В результате гумусовые вещества нейтрализуются и создаются нейтральная или слабощелочная реакция почвенного раствора. Избыточный кальций связывается с  $\text{CO}_2$  — продукт разложения растительных остатков — и осаждается в почве. На больших территориях формируются ландшафты кальциевого класса, имеющие, таким образом, биогенное происхождение. При этом различия в составе горных пород, имевшие, как мы видели, первостепенное значение в гумидных районах, здесь не выражены. На алюмосиликатных породах карбонатность почв несколько ниже, чем на карбонатных. Однако она все же достаточно высока и обуславливает здесь кальциевый класс водной миграции.

На участках понижений рельефа и в депрессиях, где вследствие слабого дренажа и замедленного стока широко проявлены процессы испарительной концентрации, развиваются ландшафты соленосных и содовых классов водной миграции (Перельман, 1966).

В горных районах на формирование в ландшафте того или иного класса водной миграции влияют также и условия механической денудации. Так, в северо-таежных ландшафтах хр. Джугджур широко проявлены курумники. Обычно они представлены гранитным или терригенным материалом; класс ландшафта определяется составом делювия, что связано с наличием мерзлоты и с небольшой мощностью деятельного слоя. Таким образом, на хр. Джугджур даже на карбонатных породах были сформированы ландшафты кислого класса, т. е. ландшафты с иллювиально-железистыми подзолистыми почвами, не содержащими углекислоты карбонатов.

В субаридных ландшафтах, где карбонатность биогенна, этот процесс, естественно, не проявляется. Так на Северном Кавказе на крутых склонах мергели перекрываются плотным плащом делювия кислых гранит-порфиров. Однако и в этом случае почвы были карбонатные (3—4%  $\text{CO}_2$ ) и имели  $\text{pH} = 7,1—7,4$ .

Нами были охарактеризованы лишь те ландшафты, которые особенностями водной миграции макроэлементов и, в частности кальция, магния и щелочей, или биогенными свойствами оказывают наибольшее влияние на условия миграции и концентрации бора. Приведенные данные легко позволяют наметить те практические исследования, по материалам которых такие ландшафты могут быть идентифицированы. Они очень просты и не требуют сколько-нибудь сложного технического оснащения. В частности, основными материалами для разделения ландшафтов при поисках бора являются: 1) литологические и петрографические данные; 2) изучение  $\text{pH}$  почв и определение в них содержания углекислоты карбонатов; 3) элементарные геоботанические наблюдения — выявление галофитов в аридных районах, характеристика типа леса в гумидных районах; 4) изучение состава водной вытяжки из почв и данные по гидрогеохимическому режиму поверхностных и подземных вод; 5) характеристика рельефа.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БОРА В ЛАНДШАФТАХ  
(ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ФОН И НЕРУДНЫЕ АНОМАЛИИ)

В условиях земной поверхности свойства бора, регулирующие его миграцию и концентрацию, выражены не прямо, а лишь как отражение и преломление через геохимические особенности ландшафта. Конечный результат этого — распределение бора в природных ландшафтах — связан с воздействием большого комплекса факторов, часто разнонаправленных. Далеко не всегда роль каждого отдельного фактора может быть точно учтена. Это приводит к довольно пестрой картине пространственного распределения бора в ландшафте и обуславливает выявление при поисковых работах нерудных аномалий бора, интенсивность которых не ниже, чем рудных. Такие аномалии выделяются главным образом при пересечении профилем поискового опробования границ различных ландшафтов при единообразной интерпретации данных опробования по всей площади без учета ее ландшафтно-геохимической структуры. Вместе с тем, в пределах геохимически однородного участка ландшафта для бора характерно исключительно однородное распределение. Так, во всех без исключения исследованиях в пределах элементарного ландшафта распределение бора в почвах и растениях подчиняется нормальному закону с очень низким коэффициентом вариации содержаний — максимум 40—50%, чаще всего 25—30%.

В таблицах 13—19 приведены данные по распределению бора в исследованных типах безрудных ландшафтов. Эти данные систематизированы по принципу сопоставления пространственно сосуществующих и часто контрастно различающихся по бороносности типов ландшафта, что, собственно, и приводит к появлению нерудных аномалий.

Можно наметить следующие основные закономерности изменения бороносности ландшафта или отдельных его компонентов.

1. В гумидных районах переход от ландшафтов с кислым классом водной миграции к ландшафтам с кальциевым классом водной миграции сопровождается увеличением бороносности почв и растений в 1,5—3,5 раза (рис. 11). При этом содержание бора в горных породах кальциевых ландшафтов — известняки, доломиты, — как правило, в 2—3 раза меньше, чем в породах кислых ландшафтов — граниты, эффузивы, песчаники. Эта закономерность установлена для ландшафтов северной и южной тайги — хр. Джугджур, Забайкалье, Прибайкалье, широколиственных и хвойно-широколиственных лесов — Малый Хинган, Приморский край. В поверхностных водах гумидных районов при существующей низкой чувствитель-

Таблица 13. Распределение бора в кислых и кальциевых ландшафтах южной тайги Восточного Забайкалья

Ландшафты	Кислые ландшафты на гранодиоритах			Кислые ландшафты на кварцевых песчаниках			Кальциевые ландшафты на известняках и доломитах		
	N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ или $x_m$ , в л. $10^{-3}\%$	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ или $x_m$ , в л. $10^{-3}\%$	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ или $x_m$ , в л. $10^{-3}\%$	v, %
Породы	41	5±1	85	9	4	—	33	1	—
Почвы									
горизонт A <sub>0</sub> (0—10 см)	186	5,9	37	21	7±1	19	29	11±2	52
горизонт A <sub>1</sub> (10—20 см)	241	4,5	60	22	7±1	26	34	9,0±1,4	44
горизонт BC (20—80 см)	224	4,4	38	22	6±1	31	36	11±1,6	44
В поверхностных водах везде менее 0,01 мг/л В									
Растения									
рододендрон даурский	111	66±8	45	11	164±33	33	23*	118±40	61
березка плосколистная	107	57±4	28	9*	123±27	32	31	103±21	52
лиственница даурская	109	59±6	34	—	—	—	24	100±19	39
спирея	102	66±9	33	10*	100±29	32	—	—	—
береза кустарниковая	85	67±9	22	—	—	—	9	101±18	26
ольха кустарниковая	—	—	—	5*	106±34	36	7	82	—
брусника	53	57±10	33	11	68±11	28	9	54±7	15
чина	73	25	50	—	—	—	19	50±9	29
мох	24	21±0	37	—	—	—	15	42±11	41

Здесь и далее в табл. 14—19:

N — число проб в выборке; оно чаще всего оптимально, так как по расчету обеспечивает точность определения среднего с ошибкой не более ±20%; в пробах, помеченных «\*» ошибка не более ±30%.

$\bar{x} \pm \lambda 5\%$  — среднеарифметическое содержание и его нормированное отклонение с 5%-ным уровнем значимости; приводится для выборок с распределением, соответствующим нормальному закону.

$x_m$  — максимально правдоподобная оценка среднего; приводится для выборок с распределением, соответствующим логарифмически-нормальному закону.

v — коэффициент вариации; в тех выборках, где коэффициент вариации не приведен, статистические параметры распределения не рассчитывались.

Таблица 14. Распределение бора \* в ландшафтах широколиственных лесов Дальнего Востока (Малый Хинган, Приморье)

Ландшафты	Кислые ландшафты хвойно-широколиственных лесов на биотитовых гранитах			Кальциевые ландшафты вкрапленных травянистых дубняков среди хвойно-широколиственных лесов на гранодиоритах			Кислые, переходные к кальциевым, ландшафты широколиственных лесов на липаритах			Кальциевые ландшафты широколиственных лесов на известняках		
	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$ или $x_m$ , в п. 10 <sup>-3</sup> %	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$ или $x_m$ , в п. 10 <sup>-3</sup> %	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$ или $x_m$ , в п. 10 <sup>-3</sup> %	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$ или $x_m$ , в п. 10 <sup>-3</sup> %	v, %
Породы	37	3±0,5	48	10	1,5	—	19	1,4±0,5	52	19	1,5±1,8	80
Почвы												
горизонт A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> (0—20 мм)	25	2,5±0,5	46	17*	6,0±3	110	23	5±1	35	21*	8±3	50
горизонт В (20—50 см)	25	3,0±0,5	35	17*	5,4±3	115	8*	3±1	45	21	6±2	33
горизонт ВС (глубина 50 см)	28*	2,0±0,5	66	17*	4,6±2,5	118	22	2±1	38	11	7±2	30
Растения												
дуб монгольский	—	—	—	10	97	—	17	89±13	30	12*	86±38	60
лиственница даурская	10	52	—	—	—	—	5*	140	—	10	80	—
липа амурская	6	55	—	—	—	—	—	—	—	19*	89±36	60
береза маньчжурская	16	39	—	—	—	—	26	75±11	23	9	61±13	33
клен мелколистный	—	—	—	—	—	—	8	61±13	14	5	79±14	20
орешник маньчжурский	41	62±6	29	—	—	—	11	87±14	27	8*	98±25	36
рододендрон даурский	—	—	—	—	—	—	4	83	—	6	84	—
леспицеа двуцветная	10	28	—	10	40	—	9*	67±19	43	6	65	—
чина приземистая	—	—	—	—	—	—	5	31	—	9*	52±13	40
папоротник	33	33±7	58	—	—	—	—	—	—	4	36	—

\* В поверхностных водах везде менее 0,01—0,02 мг/л В.

Таблица 15

Распределение бора \* в кислых и кальциевых мерзлотных ландшафтах северо-таежного семейства (хр. Джугджур)

Ландшафты	Кислые ландшафты на лейкокатовых грани- тах			Кальциевые ландшафты на известняках и доломи- тах		
	N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ или $x_m$ , в п. 10 <sup>-3</sup> %	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ или $x_m$ , в п. 10 <sup>-3</sup> %	v, %
Породы	61	1,5	70	30	2±0,6	86
Почвы						
горизонт A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> (0—5 см)	32	2±0,4	50	19	3±1	57
горизонт A <sub>2</sub> и АВ (5—25 см)	37	2±0,5	75	11	3±1	50
горизонт ВС (25—30 см)	36	2±0,7	75	22	1,5±0,0	52
Растения						
лиственница даурская	27	36±8	58	15	85±12	30
кедровый стланик	23	34±6	44	6	126±31	30
березка кустарниковая	24	55±12	55	10	64±22	38
багульник болотный	18	69±17	52	4	115	—
брусника	18	37±7	39	2	46	—

\* В поверхностных водах бора везде менее 0,01—0,02 мг/л В.

ности анализа (0,01 мг/л) бор в безрудных ландшафтах обычно не обнаруживается.

Каждый тип ландшафта вносит в указанную закономерность свои коррективы, связанные с местными геохимическими особенностями.

В ландшафте широколиственных лесов, где, как мы видели, в гумусовых горизонтах почв кальциевый класс водной миграции проявлен даже на гранитах, содержание бора в органогенных горизонтах почв и растениях мало зависит от состава пород (табл. 14). Однако и здесь, в минеральных горизонтах, содержание бора в почвах на известняках и доломитах значительно выше, чем в почвах на алюмосиликатных породах.

В северо-таежном ландшафте (Прибайкалье, хр. Джугджур), где минеральные горизонты почв часто находятся в зоне непротаивающей мерзлоты, увеличение бороносности кальциевых ландшафтов проявлено только для растений и гумусовых горизонтов почв.

Следует отметить, что нерудные аномалии, связанные с пересечением профилем опробования границ ландшафтов, даже при сравнительно небольших контрастностях выделяются очень уверенно. В табл. 20 приведены результаты статистического обчета по безрудным ландшафтам Восточного Забайкалья.

Таблица 16. Распределение бора в степных и лесо-степных ландшафтах

Ландшафты	Северный Казахстан									Северный Кавказ					
	кальциевый ландшафт полюнно-типчаковой степи на третичных суглинках с уровнем грунтовых вод 10—15 м			кислый, переход- ный к кальциево- му ландшафт бере- зового колка сре- ди полюнно-типча- ковой степи на третичных суглин- ках			содовой ландшафт полюнно-волосне- цовой степи на третичных суглин- ках с уровнем грунтовых вод 1,5—2,0 м			кальциевый ланд- шафт злаково-раз- нотравной луговой степени на извест- няках			кислый, переход- ный к кальциево- му ландшафт бу- кового леса на гранит-порфи- рах		
	N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ или $x_m$ , в п.10 <sup>-3</sup> %	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ или $x_m$ , в п.10 <sup>-3</sup> %	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ или $x_m$ , в п.10 <sup>-3</sup> %	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ или $x_m$ , в п.10 <sup>-3</sup> %	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ или $x_m$ , в п.10 <sup>-3</sup> %	v, %
50															
Породы	50	7±0,6	33	50	7±0,6	33	50	7±0,6	33	15	4±2	100	8	1	—
Почвы															
горизонт А <sub>1</sub> (0—30 см)	118	5	44	31	4±0,3	22	92	5,3	42	11	5±0,5	19	17	5±0,8	36
горизонт В (30—60 см)	115	5	41	30	4±0,4	28	90	6,0	38	11	4,6±1,3	38	13	4,6±0,7	27
горизонт ВС (60—130 см)	101	5	53	—	—	—	49	7,0	41	11	4,0±0,6	28	15	4±0,9	47
Растения															
береза	8	101±40	62	35	106±19	52	8	23	—	—	—	—	—	—	—
бук восточный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	126±34	54
клен остролистный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27	104±14	27
купена	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	41±6	22
шалфей	5	40	—	—	—	—	—	—	—	12	68±12	32	—	—	—
полюнь понтийская	23	55±9	38	18	77±14	29	15	42±8	40	—	—	—	—	—	—
полюнь австрийская	83	45±7	67	26	28±4	31	12	37±4	30	—	—	—	—	—	—
полюнь холодная	25	23±3	35	17	25±7	35	—	—	—	—	—	—	—	—	—
солодка уральская	—	—	—	15	52	—	25	55±11	48	—	—	—	—	—	—

Таблица 17

Распределение бора в горно-степных ландшафтах с кальциевым классом в одной миграции

(Чаткальский хребет)

Ландшафты	Полынно-злаковые степи низкогогорья (500—1500 м) на гранодиоритах			Кустарниковые луговые степи среднегогорья (1500—2500 м) на андезитовых порфиритах		
	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$ или $x_m$ , в п. 10 <sup>-3</sup> %	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$ или $x_m$ , в п. 10 <sup>-3</sup> %	v, %
Породы	11	2±0,4	35	20	2,4±0,8	76
Почвы						
горизонт A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> (0—10 см)	17	5±0,9	36	43	6±0,6	36
горизонт B (10—30 см)	8	5±0,8	24	38	7±0,9	40
горизонт BC (30—60 см)	17	5±1	40	42	6±0,9	48
Растения						
роза самаркандская	11	72±12	28	41	71±7	30
арча	—	—	—	10	39±10	41
полынь персидская	16	75±7	18	29	39±4	30
полынь экстрагон	—	—	—	34	30±5	40

Ландшафты	Кустарниковые луговые степи среднегогорья (1500—2500 м) на известняках и доломитах			Луговые степи высокогорья (выше 2500 м) на гранодиоритах		
	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$ или $x_m$ , в п. 10 <sup>-3</sup> %	v, %	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$ или $x_m$ , в п. 10 <sup>-3</sup> %	v, %
Породы	26	1,2±0,2	47	6	3±1	42
Почвы						
горизонт A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> (0—10 см)	56	7±0,6	33	15	5±0,5	19
горизонт B (10—30 см)	45	7±0,6	30	15	5,6±0,4	15
горизонт BC (30—60 см)	43	6±1,1	43	15	4,7±0,8	32
Растения						
роза самаркандская	43	108±17	51	—	—	—
арча	14	40±11	50	13	40±5	22
полынь персидская	24	69±11	37	2	61	—
полынь экстрагон	30	57	46	9	36	—

Таблица 18

Распределение бора \* в ландшафтах на высокоборосных терригенных породах в районе хр. Джугджур

Ландшафты	Кислые				Кальциевые				Коэффициент концентрации в кальциевом ландшафте с алевролитами по сравнению с кислым ландшафтом на алевролитах
	на алевритах		на гранитах**	коэффициент концентрации в ландшафте на алевролитах	на смешанном делювии известняков и алевролитов		на известняках**	коэффициент концентрации в ландшафте с алевролитами	
	N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ в $n \cdot 10^{-3} \%$	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ в $n \cdot 10^{-3} \%$		N	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ в $n \cdot 10^{-3} \%$	$\bar{x} \pm \lambda 5\%$ в $n \cdot 10^{-3} \%$		
Порода									
известняки	—	—	—	—	30	2±0,6	2±0,6	—	—
алевролиты	18	19±6	—	12,6	—	19±0,6	—	9,5	—
граниты	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—
Почвы									
горизонт A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	6	3±1	2±0,4	1,5	9	2±1,5	3±1	0,7	0,7
горизонт почв АВ	5	6±2	2±0,5	3,0	—	—	—	—	—
горизонт почв ВС	12	5±0,8	2±0,7	2,5	8	8±1,6	1,5±0,0	5,8	1,6
Растений									
лиственница даурская	10	42±21	36±8	1,2	5	64	85±12	0,7	2,0
кедровый стланик	5	37	34±6	1,0	4	73	126±31	0,6	2,0
береза кустарниковая	7	26±9	55±12	0,5	4	46	64±2	0,7	1,8
багульник болотный	8	68±21	69±17	1,0	6	112	115	1,0	1,6
голубика	4	21	—	—	5	99	—	—	4,7
брусника	—	—	—	—	3	52	46	1,1	—

\* В поверхностных водах бора везде менее 0,02 мг/л В.

\*\* Данные взяты из табл. 15.

Таблица 19

Распределение бора \* в кальциевых ландшафтах на высокобороносных терригенных породах в Забайкалье

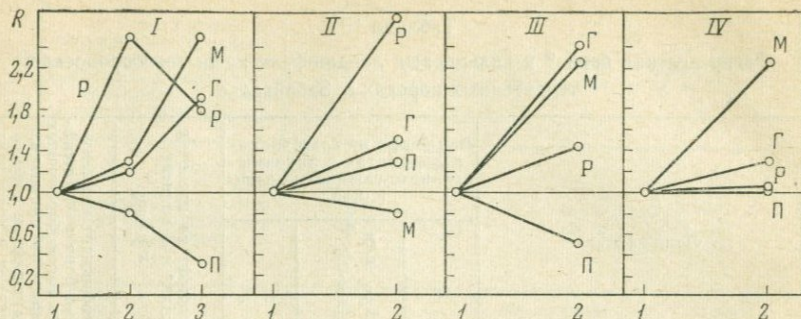
Ландшафты	Ландшафт на известняках и доломитах и глинисто-сланцевых сланцах			Ландшафт на известняках** и доломитах $x \pm \lambda_{0.5} \%$	Коэффициент концентрации бора в ландшафте на высокобороносных сланцах по сравнению с ландшафтом на известняках и доломитах
	N	$x \pm \lambda_{0.5} \%$ или $x_m$ , в л. 10 <sup>-8</sup> %	v, %		
Породы					
известняки и доломиты	33	1	—	1	
глинистые сланцы	18	50	—	—	до 50
Почвы					
горизонт почв A <sub>0</sub>	32	30	53	11±2	2,8
горизонт почв A <sub>1</sub>	32	31±6	55	9±1,4	3,4
горизонт почв B	33	36	73	10±1,3	3,6
горизонт почв BC	30	51±10	56	11±1,6	2,6
Растения					
рододендрон даурский	32	92	27	118±40	0,8
береза плосколистная	16	92±11	24	103±21	0,8
лиственница даурская	19	106±12	25	100±19	1,1
чина	10	49±10	32	50±9	1,0
мох	6	38±8	26	42±11	0,9

\* В поверхностных водах везде менее 0,01 мг/л В.

\*\* Данные взяты из табл. 13.

Мы видим, что в почвах содержания, вполне обычные для кальциевого ландшафта, маловероятны для кислых ландшафтов и, следовательно, уверенно аномальны. В золах растений содержания, очень характерные для кислых ландшафтов на песчаниках и всех кальциевых ландшафтов, встречающиеся здесь в половине или большей части проб, в ландшафте на гранитах встречаются лишь в одном из 100 опробований.

2. В аридных и субаридных районах карбонатные коры выветривания, а следовательно, и кальциевые ландшафты, формируются независимо от состава горных пород. Влияние их сказывается очень мало, и на породах с контрастно различной бороносностью содержания бора в почвах и растениях довольно близки (табл. 16, 17, рис. 12). В этих районах определяющую роль играет режим грунтово-почвенных вод и изменение бороносности наиболее контрастно по линии геохимического сопряжения ландшафтов. Переход от ландшафтов кальциевого класса водной миграции — часто водо-



**Рис. 11** Контрастности изменения содержаний бора при сравнении кислых и кальциевых ландшафтов

*I* — Восточное Забайкалье:

*1* — кислые ландшафты на гранитах,

*2* — кислые ландшафты на кварцевых песчаниках;

*3* — кальциевые ландшафты на известняках и доломитах;

*II* — Хр. Джугджур:

*1* — кислые ландшафты на гранитах,

*2* — кальциевые ландшафты на известняках и доломитах;

*III* — Малый Хинган:

*1* — кислые ландшафты смешанных лесов на гранитах,

*2* — кальциевые ландшафты дубовых лесов на гранитах;

*IV* — Приморский край:

*1* — кислые, переходные к кальциевым, ландшафты широколиственных лесов на липаритах,

*2* — кальциевые ландшафты широколиственных лесов на известняках;

*K* — контрастность (относительный коэффициент концентрации бора);

*П* — породы;

*М* — минеральные горизонты почв;

*Г* — гумусовые горизонты почв;

*P* — ведущие виды древесных растений

разделы и склоны — к содовым или соленосным ландшафтам — долины, котловины — сопровождается увеличением содержаний бора в почвах и снижением бороносности зол растений (см. табл. 16). Так, в одном из районов Казахстана карбонатные черноземы каль-

Таблица 20

Вероятности появления содержаний бора в безрудных ландшафтах Восточного Забайкалья

Горизонты почв и виды растений	Заданные содержания, %	Вероятности появления, %		
		кислый ландшафт на гранитах	кислый ландшафт на песчаниках	кальциевый ландшафт на известняках
$A_0$	$\geq 0,011$	5	1	50
$A_1$	$\geq 0,010$	5	1	50
BC	$\geq 0,011$	1	1	50
Рододендрон	$\geq 0,015$	1	70	40
Береза	$\geq 0,010$	1	70	50
Мох	$\geq 0,04$	1	—	60

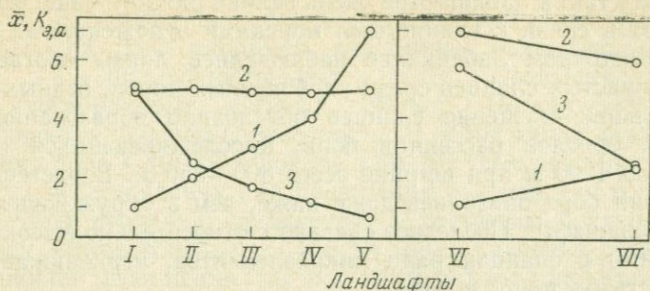


Рис. 12. Зависимость между концентрацией бора в породах и почвах для кальциевых ландшафтов субаридных и аридных районов

- |  |  |
|--|--|
| I — буковые леса на гранит-порфирах (Северный Кавказ);                         | VI — кустарниковые луговые степи на известняках (среднегорье Чаткальского хребта);           |
| II — полынно-злаковые степи на гранодиоритах (низкогорье Чаткальского хребта); | VII — кустарниковые луговые степи на андезитовых порфирах (среднегорье Чаткальского хребта); |
| III — луговые степи на гранодиоритах (высокогорье Чаткальского хребта);        | 1 — содержания (x) в породах (в п. 10 <sup>-3</sup> %);                                      |
| IV — луговые степи на известняках (Северный Кавказ);                           | 2 — содержания (x) в почвах (в п. 10 <sup>-3</sup> %);                                       |
| V — полынно-злаковые степи на карбонатных суглинках (Северный Кавказ);         | 3 — элювиально-аккумулятивные коэффициенты (K <sub>3,a</sub> .)                              |

циевого ландшафта содержат 0,003—0,004 % В; солонцеватые черноземы содового ландшафта 0,006—0,008 %, а солончаковатые почвы и солончаки 0,008—0,011 % В. В растениях содержание бора в этом ряду уменьшается с 0,055 до 0,042 %.

3. В любых районах бороносность растений увеличивается в ландшафтах, бедных другими микроэлементами минерального питания. Это происходит даже в тех случаях, когда почвы и породы этих ландшафтов не содержат повышенных концентраций бора. Наиболее характерный пример нерудной аномалии подобного рода наблюдался в Восточном Забайкалье (см. табл. 13, рис. 11). Здесь содержания бора в золах растений кислого ландшафта на кварцевых песчаниках, очень бедных микроэлементами, оказались в 2,5—3,0 раза выше, чем в золах растений кислого ландшафта на гранитах. Последние по сравнению с песчаниками контрастно (в 5—10 раз) обогащены кобальтом, марганцем, ванадием, никелем, молибденом, медью и барием. При этом бороносность этих пород примерно одинакова. Как следует из табл. 13, содержания, вероятность появления которых в растениях на гранитах не более 1%, в растениях на кварцевых песчаниках являются наиболее распространенными и составляют 70%.

4. В любых районах переход от ландшафтов с относительно низкой бороносностью пород к ландшафтам с контрастно повышенной «фоновой» бороносностью сопровождается увеличением бороносности почв и слабо отражается на содержаниях бора в золах растений (табл. 18, 19). Контрастность увеличения содержаний бо-

ра в почвах таких ландшафтов очень велика (до 20). Чаще всего они возникают в связи с глинистыми морскими отложениями. Например, в Восточном Забайкалье наблюдались линзы обогащенных бором глинистых сланцев среди карбонатных пород, бедных бором. Делювиальное смещение сланцев обусловило образование здесь нерудных ореолов рассеяния бора, прослеживающихся на расстоянии до 1200 м при ширине всего 300—350 м. В растениях же содержания бора оказались даже ниже, чем в окружающем кальциевом ландшафте. Последнее связано с относительно высокими содержаниями в сланцах ряда микроэлементов, что снижает здесь потребность растений в боре.

5. Неравномерное распределение бора по генетическим горизонтам почв и видам растений тоже может привести при поисках к открытию нерудной аномалии даже в пределах геохимически однородного ландшафта.

В почвах бор чаще распределен довольно равномерно. Однако, например, для широколиственных лесов (Приморский край) очень характерна преимущественная концентрация бора в гумусовом горизонте (табл. 14), а для соленосных ландшафтов — в солонцеватом горизонте или поверхностном солончаке (табл. 16). В этих случаях изменение опробуемого горизонта приводит к открытию нерудной аномалии, имеющей контрастность 1,5—2,5.

В золах различных видов растений содержание бора меняется в 3—7 раз. При этом, как отмечалось, линейная корреляция между бороносностью различных видов отсутствует.

Анализ данных по особенностям миграции бора и бороносности ландшафтов геохимического фона позволяет нам выделить основные закономерности, определяющие поведение этого элемента.

1. В рыхлых отложениях, почвах, растениях и водах особенности распределения бора связаны главным образом с геохимическими особенностями ландшафта и, в меньшей степени, с бороносностью горных пород, являющихся основным источником бора в ландшафте.

Эта закономерность подтвердилась практически во всех охарактеризованных нами ландшафтах и неоднократно демонстрировалась. Даже в условиях пород с контрастно повышенной бороносностью она отражается только в почвах и не фиксируется растительностью и водами. В то же время в ландшафтах с кальциевым классом водной миграции при невысокой бороносности пород содержания бора в растениях и почвах резко повышены, причем в растениях они выше, чем например, в кислых ландшафтах на высокобороносных породах. Бороносность почв и вод определяется главным образом классом водной миграции ландшафта. Бороносность растений — классом водной миграции и условиями микроэлементного питания.

2. Местные геохимические различия, определяемые видом ландшафта или его классом водной миграции, значительно контрастнее и имеют большее практическое значение, чем различия между семействами или типами ландшафта.

И действительно, если близки виды и классы ландшафтов, то основные факторы, регулирующие миграцию бора, различаются слабо и, следовательно, бороносность ландшафтов тоже может быть близкой. Так, например, кальциевые ландшафты на известняках в широколиственных лесах Дальнего Востока и в кустарниковых луговых степях Четкальского хребта не отличаются уровнем бороносности. В обоих типах ландшафта содержания бора  $7 \cdot 10^{-3}\%$  в почвах и  $80 \cdot 10^{-3}\%$  в растениях. В практических исследованиях при проведении поисков нам гораздо важнее местные различия, приводящие к открытию нерудных аномалий, чем межрегиональные. Тем не менее значение региональных особенностей несомненно, так как каждый район или тип ландшафта характеризуется своим специфическим набором нерудных аномалий.

В целом все нерудные аномалии бора могут быть сведены к следующим геохимическим типам: 1) аномалии, связанные с биогенной аккумуляцией; 2) аномалии, связанные с карбонатно-щелочным барьером; 3) аномалии, связанные с испарительной концентрацией; 4) аномалии, связанные с повышенной «фоновой» бороносностью пород.

Коэффициент концентрации бора в этих аномалиях варьирует в пределах 1,5—10,0. Однако, как мы увидим дальше, коэффициент концентрации бора в рудных аномалиях также невелик и в ряде случаев даже ниже, чем у нерудных.

## ВТОРИЧНЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОРА

Вторичные ореолы рассеяния эндогенных месторождений бора образуются в результате взаимосвязанных процессов механической, водной и биогенной миграции. Характер этих ореолов находится в зависимости от минералогического типа борных руд и ландшафтно-геохимических условий. Формы проявления ореолов рассеяния бора различны, что может служить основой для их выделения и геохимической интерпретации. Основная задача интерпретации ореолов — установление минерального типа коренных источников и, в частности, их разбраковка на боратовые и боросиликатные — потенциально-промышленные типы — и алюмоборосиликатные — непромышленные по бору.

### Коры выветривания месторождений бора

Влияние типа борных руд на формы проявления вторичных ореолов рассеяния бора обусловлено прежде всего различной устойчивостью его минералов в процессах выветривания.

Для эндогенных боратов на примере людвигитовых проявлений Забайкалья В. А. Павловым (1958), С. М. Александровым (1959, 1961) описаны процессы карбонатизации ссайбелиита и ожелезнения людвигита. На одном из боропроявлений ссайбелиит-людвигит-магнетитового типа, расположенном в южно-таежном ландшафте наблюдались (Саэт, 1967) три типа гипергенных изменений боратовых руд:

1) карбонатизация, выраженная в развитии кальцита по ссайбелииту (волокнистая и радиально-лучистая текстура первичных руд сохраняется полностью);

2) образование сильно окисленных ожелезненных руд. Участками окислы железа сохраняют радиально-лучистую шестоватогольчатую и волокнистую текстуру людвигита;

3) образование пористых существенно магнетитовых пород и «магнетитовой сыпучки». Текстура руд практически не сохраняется.

Мощность кор выветривания до 10 м. Детальными исследованиями было установлено, что карбонатизация является остаточной и отражает более древний цикл выветривания, протекавшего в условиях аридного климата. И действительно, на целом ряде других боропроявлений, расположенных в гумидных районах, современные коры выветривания по боратовым рудам представлены лишь лимонитизированными или выщелоченными разностями.

При всех типах выветривания боратовых руд происходит интенсивный вынос бора. В данном случае средние содержания бора уменьшаются от 5% (неизменные руды) до 0,6% (ожелезненные коры) и до 0,02% (выщелоченные коры). На отдельных участках содержания уменьшаются до 0,002—0,003%.

Выветривание боратовых руд происходит даже в условиях многолетней мерзлоты. На боропроявлениях, расположенных в ландшафте северной тайги, наблюдалось интенсивное выщелачивание людвигита с замещением его слюдоподобными минералами и гидрокислами железа. Содержание бора в таком «людвигите» находится в пределах 0,03—0,1%. В менее выветрелых участках содержания поднимались до 3,0—4,5% (близко к теоретическому). Возраст выветривания в этом районе точно не установлен. По данным О. П. Иванова (1966), в аналогичных условиях широко развиты последлечниковые зоны окисления и коры выветривания.

Исключительно интенсивный вынос бора отличает древние глинистые коры выветривания. Так в ландшафте черноземных степей Казахстана нами наблюдалось ссайбелиит-людвигитовое боропроявление, в районе которого отмечается три основных этапа выветривания: триас-юрский, представленный мощными (до 200 м) корами выветривания каолинитового и каолинит-гидрослюдистого состава; олигоценый — обеленные каолинитовые коры мощностью 20 м; современный — щелнистые карбонатные коры. Древние коры здесь сформированы в кислых гумидных ландшафтах, а современные — в субаридном степном ландшафте. Содержание бора в корях выветривания, развитых по бороносным скарнам, всего 0,0018% при содержаниях в неветрелых скарнах 1,5%. Сравнение средних содержаний в корях выветривания бороносных скарнов (75 проб), сланцев и гнейсов (37 проб) и гранитоидов (27 проб) показали отсутствие значимых различий. Таким образом, при древнем выветривании «рудный бор» был вынесен полностью.

В аридных и субаридных районах по боратовым рудам широко развиты карбонатные и лимонит-карбонатные коры выветривания, часто совершенно лишенные остатков первичных минералов. Мощность современных кор выветривания в таких районах обычно невелика — десятки сантиметров. Несмотря на относительно небольшую мощность выветрелых горизонтов вынос бора бывает иногда весьма значительным. На людвигит-ссайбелиитовом боропроявлении в горно-степном ландшафте нами наблюдались современные коры мощностью в 0,5—1,3 м. Из верхних горизонтов этих кор вынесено до 98% исходного бора, а абсолютное содержание здесь всего в 2—3 раза выше, чем в карбонатных нерудных корях (0,023% по сравнению с 3,5% в неветрелых рудах).

**Датолит и данбурит**, основные минералы боросиликатных известково-скарновых месторождений, по сравнению с боратами значительно более устойчивы при выветривании. Тем не менее, почти на всех исследованных месторождениях и рудопроявлениях в той или иной степени были развиты коры выветривания.

В ландшафтах гумидного климата выветривание боросиликатных руд выражено прежде всего в их интенсивном выщелачивании и замещении глинистыми минералами. Участками процессы эти развиты настолько интенсивно, что неразложившихся минералов бора практически не сохраняется. Содержание бора здесь уменьшается от 6,8 до 0,3%. Следует при этом отметить, что все наблюдавшиеся случаи данбурит-датолитовых руд относятся к интенсивно эродированным горным районам, где коры выветривания плохо сохраняются.

**Алюмоборосиликаты (турмалин и аксинит)** среди минералов бора являются наиболее устойчивыми при выветривании. Сведения о характере изменения турмалина в литературе отсутствуют. Для аксинита имеются данные И. И. Гинзбурга и И. В. Витовской (1956), показавших, что при длительном выветривании он может замещаться глинистыми минералами типа монтмориллонита. Турмалин устойчив даже в условиях глубоко проработанной зоны окисления сульфидных месторождений. Так, например, в Восточном Забайкалье, в турмалин-пиритовых жилах с полностью окисленным пиритом (сернокислотное выветривание) в турмалине практически не наблюдалось изменений и содержания бора по сравнению со свежими породами не менялись.

Приведенные материалы показывают, что наиболее интенсивный вынос бора в любых ландшафтно-геохимических условиях происходит при выветривании боратовых руд, меньший — боросиликатных и очень слабый при выветривании алюмоборосиликатов. Это отражается на характере вторичных ореолов рассеяния бора месторождений различных минеральных типов и определяет многие их важнейшие свойства и различия.

### **Ореолы рассеяния бора месторождений боратов**

Эндогенные бораты в промышленном отношении очень интересны, так как образуют легкообогатимые руды с высокими содержаниями бора. В связи с тем, что бораты очень податливы к любому выветриванию, ореолы их месторождений наиболее сложны и разнообразны по характеристикам. Большой фактический материал показывает, что аномалии бора, связанные с минерализацией боратов, обычно проявляются в почвах и рыхлых отложениях, в большинстве случаев отражаются в поверхностных и подземных водах и часто, но не всегда фиксируются растительностью. Ниже эти закономерности будут показаны на примере ряда ореолов, расположенных в различных ландшафтно-геохимических условиях.

#### **Рудопроявление в южно-таежном ландшафте**

Ореол рассеяния в южно-таежном ландшафте генерируется магнетитно-скарновой зоной с ссайбелиит-людвигит-магнетитовой минерализацией, расположенной в приводораздельной части склона

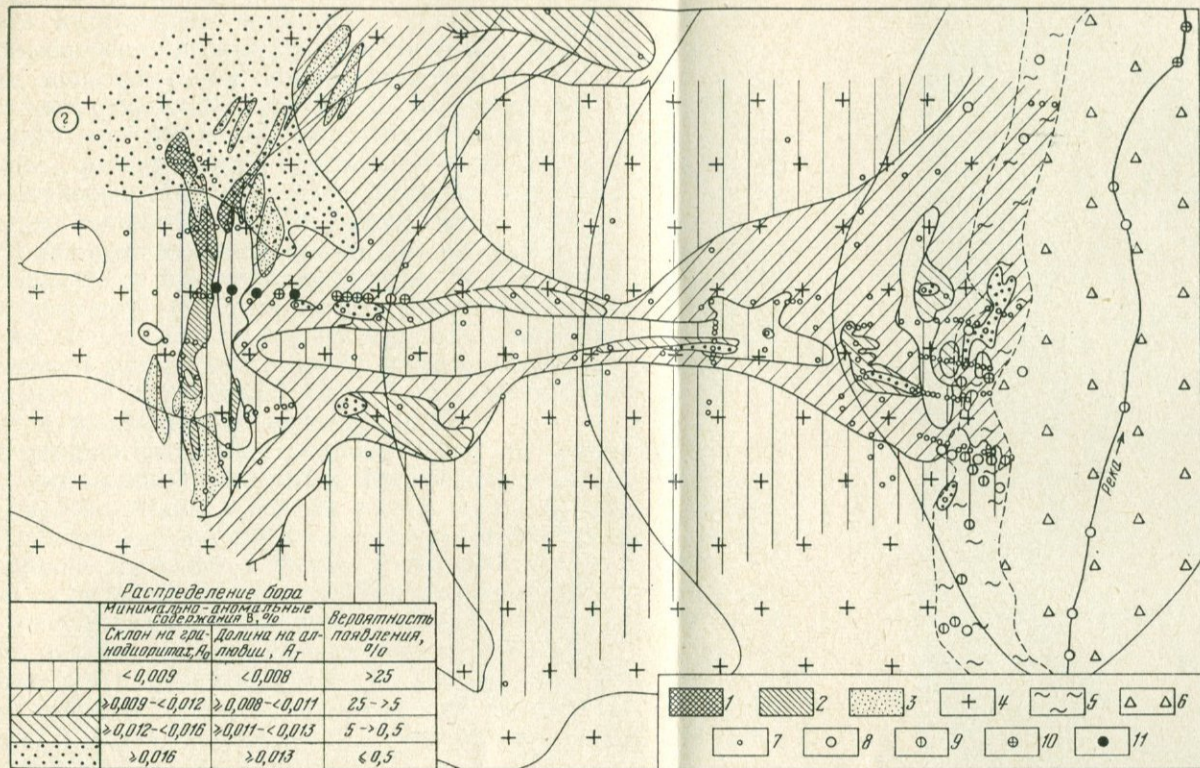


Рис. 13. Ореол рассеяния рудопроявления боратов в южно-таежном ландшафте. Распределение бора в горизонтах почв А<sub>0</sub> и А<sub>Т</sub>

Геохимически однотипным фоном, по сравнению с которым выделен ореол, является ландшафт с кислым классом водной миграции.

- 1 — ссаибеллит - людовигит - магнетитовые руды с карбонатизированными корами выветривания;
- 2 — ссаибеллит - людовигит - магнетитовые руды с ожелезненными и выщелоченными корами выветривания;
- 3 — магнетитовые, диоксид-магнетитовые и форстерит-магнетитовые скарны;

- 4 — юрские гранодиориты, формирующие ландшафт с кислым классом водной миграции;
- 5 — ландшафт заболоченной долины с кислым классом водной миграции;
- 6 — отвалы старого прииска;
- 7 — точки наблюдения и опробования пород, почв и растений;
- 8 — точки наблюдения и опробования вод (бора в водах не обнаружено — чувствительность химического анализа 0,01 мг/л);

- 9 — содержания бора в водах 0,01 — 0,04 мг/л;
- 10 — содержания бора в водах 0,1 — 1,0 мг/л;
- 11 — содержания бора в водах более 1,0 мг/л;
- А<sub>0</sub> — грубогумусовый горизонт почв (глубина 0—15 см);
- А<sub>Т</sub> — торфянистый горизонт почв (глубина 0—20 см);
- ? — участок с предполагаемой невыявленной бороносной зоной

небольшой реки (абсолютная отметка 1000 м, относительное превышение 300 м).

Площадь рудопроявления сложена гранодиоритами верхнеюрского интрузивного массива, в пределах которого заключен блок кембрийских доломитов. Доломиты замещены диопсид-гранатовыми, диопсидовыми и диопсид-форстеритовыми скарнами, частью серпентинизированными. На скарны наложена боро-магнетитовая минерализация. Магнетит, образующий в скарнах высокие концентрации, развит на всем протяжении зоны. Бороносные разности распространены локальнее. Они образуют сложной формы меридионально вытянутые тела, имеющие общую протяженность около 300 м и видимую мощность порядка 10—20 м. Минерализация бора представлена ссайбелиитизированным лудвигитом, ассоциирующим с магнетитом и, редко, с халькопиритом и пиритом. С поверхности на глубину до 10 м бороносные породы интенсивно изменены. На северном фланге зоны развиты остаточные карбонатные коры выветривания, в центральной части и на южном фланге — ожелезненные и выщелоченные коры (рис. 13).

Территория ландшафта подразделяется на приводораздельную часть, протяженный вогнутый склон, осложненный внутрисклоновыми микродолинами, и долины реки и ключа. Приводораздельная часть и склон покрыты смешанным лиственнично-березовым лесом — лиственница даурская и береза плосколистная — с густым подлеском из рододендрона даурского и спирей средней. Хорошо развиты кустарнички — брусника, голубика, травы — чина приземистая, вейник, полынь, напочвенные мхи. Почвы — горные, мерзлотные, дерново-таежные (рис. 13, 14, 15, 16). Долины реки и ключа покрыты густыми зарослями из березки кустарниковой (ерники) и мхами. Почвы долин — мерзлотные, торфянисто-болотные глеевые.

Широкое распространение в ландшафте алюмосиликатных пород (гранодиоритов) обуславливает здесь возникновение кислого класса водной миграции. Таким образом, среди безрудных ландшафтов южно-таежного семейства геохимическим аналогом участка является кислый южно-таежный ландшафт на гранодиоритах, в сравнении с которым и должны рассматриваться данные по распределению бора.

Ореолы рассеяния бора проявлены практически во всех компонентах ландшафта — почвах, растениях, водах. Однако характеристики ореолов — коэффициент концентрации бора и площадь распространения — в различных компонентах неодинаковы. В табл. 21 приведены основные параметры распределения бора в почвах и растениях. Мы видим, что в пределах ореолов средние содержания бора всего в 2—3 раза выше, чем в условиях геохимически однотипного безрудного ландшафта.

В почвах наиболее высокое среднее содержание бора характеризует верхний, грубогумусовый, горизонт  $A_0$  на склоне и торфянистый горизонт почвы  $A_T$  в долине. Вниз по профилю в минераль-

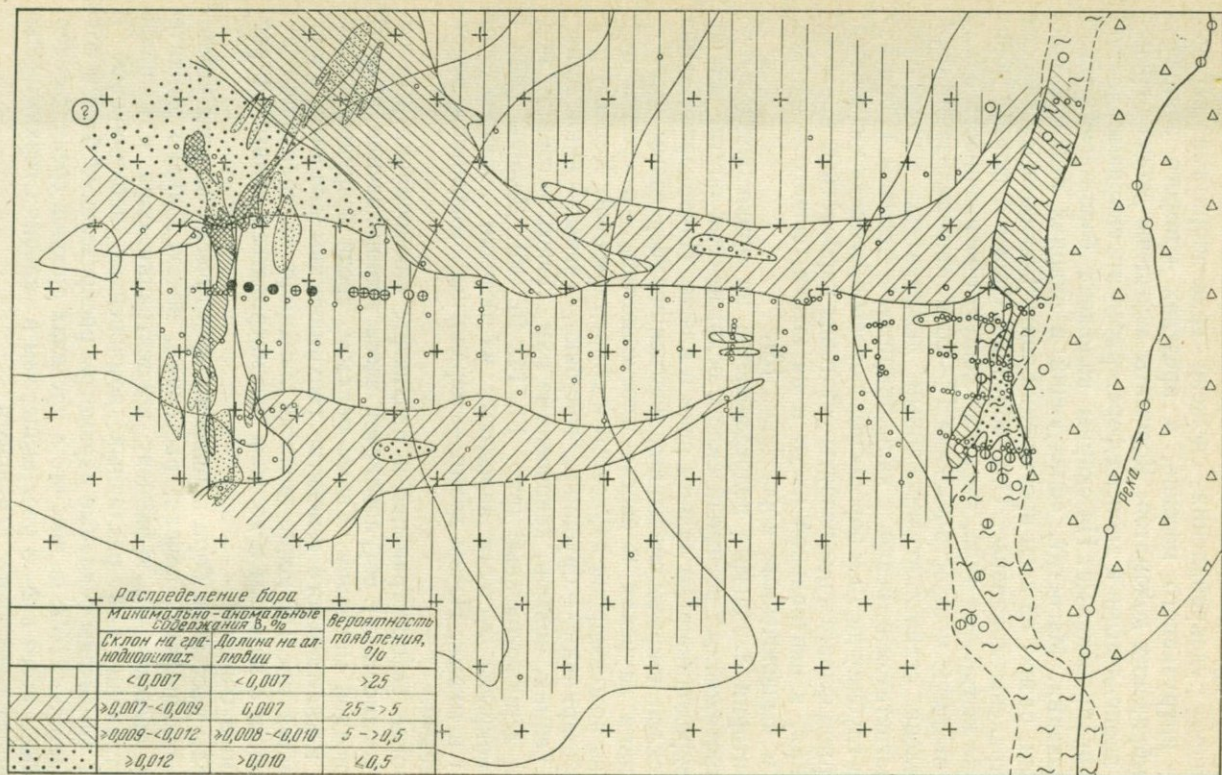


Рис. 14. Ореол рассеяния рудопроявления боратов в южно-таежном ландшафте. Распределение бора в горизонте почв ВС; ВС — минеральный горизонт (глубина 40—80 см)

Условные обозначения те же, что и на рис. 13

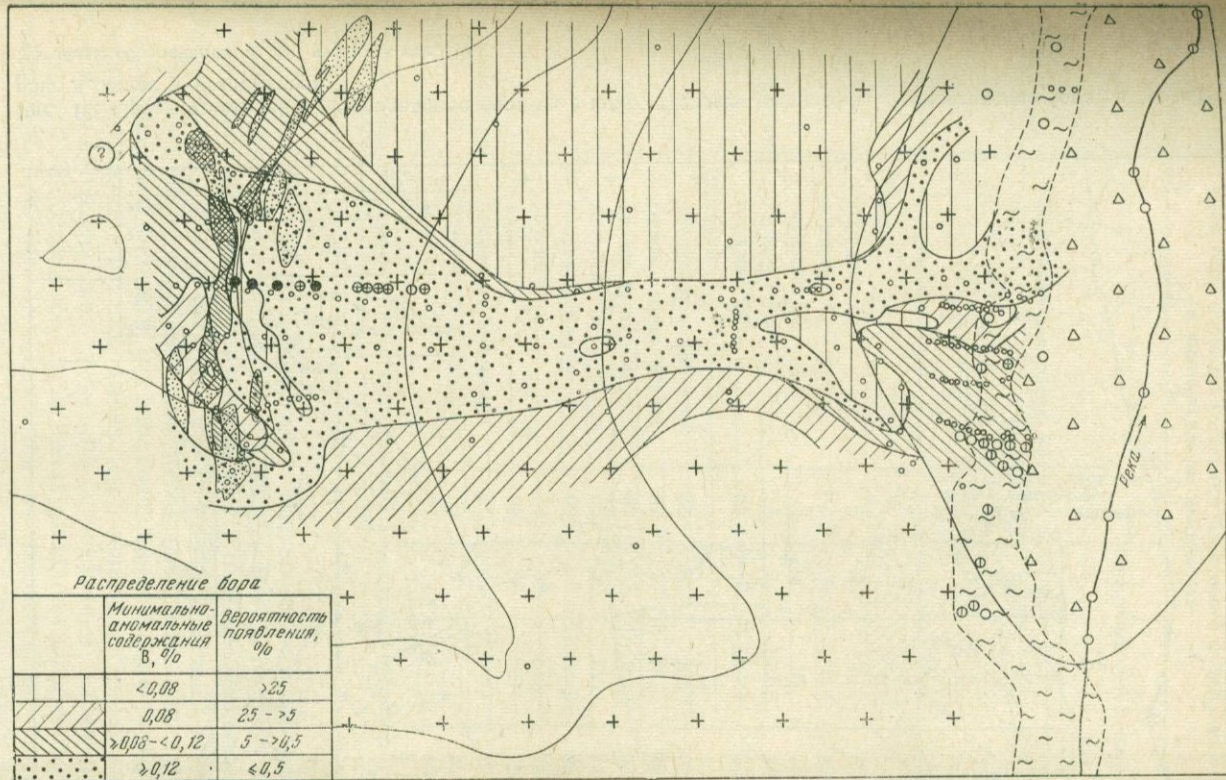
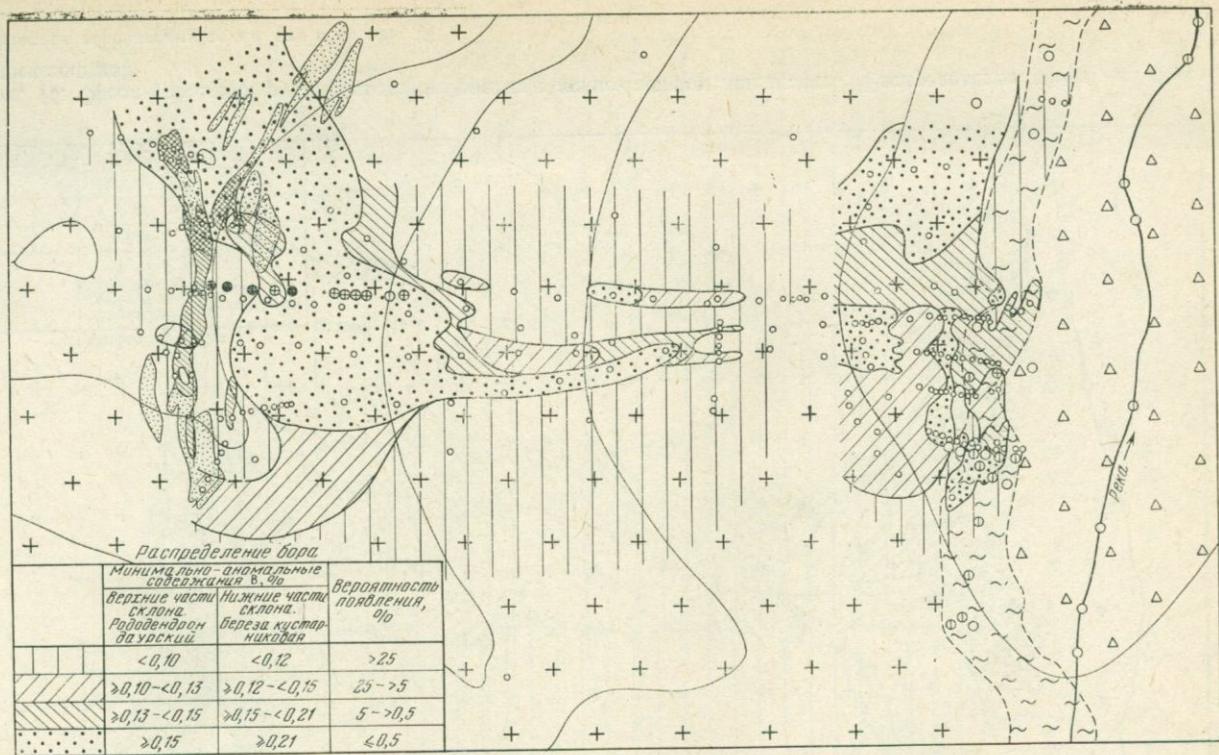


Рис. 15. Ореол рассеяния рудопроявления боратов в южно-таежном ландшафте. Распределение бора в березе плосколистной

Условные обозначения те же, что и на рис. 13



**Рис. 16.** Ореол рассеяния рудопроявления боратов в южно-таежном ландшафте. Распределение бора в рододендроне и березе кустарниковой

Условные обозначения те же, что и на рис. 13

Таблица 21

Распределение бора в ореоле рассеяния боратового рудопроявления  
в южно-таежном ландшафте

Элемент ландшафта	Компонент ландшафта	x в условиях геохимически однотипного безрудного ландшафта, в n·10 <sup>-3</sup> %	Боратовый ореол рассеяния			Коэффициент концентрации бора в ореоле
			N	x ± λ <sub>5</sub> % или x <sub>m</sub> в n·10 <sup>-3</sup> %	v, %	
Склон	Почвы					
	горизонт A <sub>0</sub>	6	85	13	69	2,1
	горизонт A <sub>1</sub>	4	42	11±4	43	2,7
Долина реки	горизонт BC	4	60	10	75	2,0
	горизонт A <sub>T</sub>	6	21	13±3	48	2,6
Склон	горизонт BC	5	16	10±1	23	2,0
	Растения					
	рододендрон даурский	66	54	203	94	3,1
	береза плосколистная	57	57	161	82	2,8
	береза кустарниковая	67	44	122±8	22	1,8
	лиственница даурская	59	30	130	53	2,2
	спирея средняя	69	6	116±24	26	1,8
Долина реки	брусника	57	30	134	130	2,4
	чина	25	56	78	75	3,1
	багульник болотный	107	11	206±39	32	1,9
	береза кустарниковая	69	33	148±14	23	2,1
	мох	21	18	57±10	40	2,7

\* Более детальные данные по распределению бора в безрудном ландшафте и условные обозначения приведены в табл. 13.

ном горизонте среднее содержание уменьшается в 1,3 раза. Несколько больше в верхних частях разреза и коэффициент концентрации бора (контрастность аномалии), который максимален в гумусовом и торфянистом горизонтах, соответственно 2,7 и 2,6.

В золах растений содержания бора в различных видах варьируют больше, чем в почвах. Среднее содержание бора в золе рододендрона даурского в 3,5 раза выше, чем в золе мха. Однако контрастности биогеохимических аномалий в различных видах довольно близки (2—3). Наиболее интенсивная аномалия (коэффициент концентрации порядка 3) выделяется по рододендрону даурскому, березе плосколистной, чине приземистой и мху. Таким образом, контрастные аномалии бора наблюдаются в золах представителей всех основных жизненных форм растений — деревья, кустарники, травы, мхи.

Как для почв, так и для растений очень характерно увеличение изменчивости содержаний бора в аномалиях. По сравнению с фоном коэффициенты вариации содержаний бора в 2—7 раза выше в биогеохимических ореолах и в 1,5—3 раза — в почвенных.

Почвенные и биогеохимические ореолы прослеживаются на всем протяжении склона, т. е. на 750—800 м, и выходят в дренирующую склон долину, где фиксируются потоки рассеяния. Поток рассеяния по аномалии бора в почвах прослеживается на 1300 м. В растениях он локализован близ выхода ореола в долину и наблюдается на протяжении 200—300 м. Вместе с тем, особенности строения ореолов для отдельных видов растений и горизонтов почв резко различны (см. рис. 13—16).

Морфологические особенности почвенного и биогеохимического ореола в некоторых отношениях сходны, так как и тот и другой в значительной степени контролируется микрорельефом и, в частности, наличием внутрисклонного понижения. Так, чаще всего и тот и другой тип ореолов наиболее широк в привершинной части склона, сужается вниз по вогнутому склону и вновь расширяется в придолинной части склона. Характерно, что в центральной и южной части бороносной зоны, где распространены кислые сильно выщелоченные коры выветривания, ореолы либо отсутствуют, либо имеют пониженную интенсивность и, как правило, начинают фиксироваться более интенсивно несколько ниже бороносной зоны по склону.

Внутреннее строение биогеохимических и почвенных ореолов различно. Для почвенных ореолов характерна пространственная связь наиболее высоких содержаний со слабо выветрелыми участками северного фланга бороносной зоны. В биогеохимических ореолах эта закономерность выражена менее отчетливо, и участки высоких содержаний появляются, кроме того, в центральной вогнутой части склона, где в почвах аномальные содержания часто вообще не отмечаются. Среди генетических горизонтов почв по своему строению к биогеохимическим ореолам ближе всего стоит ореол в грубогумусовом горизонте  $A_0$ . Биогеохимический ореол имеет несколько большую общую площадь распространения. Больше здесь и площадь ореолов высоких содержаний, — имеющих вероятность появления в условиях фона менее 5%, — которые в растениях составляют три четверти всего ореола, а в почвах не более половины. Строение биогеохимических ореолов неодинаково для различных растительных видов. Ореол в рододендроне даурском в средней части склона выклинивается, тогда как по другим видам он продолжает оставаться достаточно интенсивным и широко развитым (см. рис. 15, 16).

Ореолы рассеяния бора в почвах и растениях сопровождаются также гидрохимической аномалией бора в водах.

В грунтовых водах, вскрытых системой поисковых шурфов в центральной части склона вблизи рудной зоны и прослеженных вниз по склону на 180 м, содержание бора уменьшается с 5 до

0,02 мг/л; фоновое содержание в водах южно-таежных ландшафтов ниже чувствительности анализа — 0,01 мг/л.

В долине реки, в болотных водах содержание бора составляет 0,02—0,04 мг/л; единичная проба — 0,25 мг/л.

В водах реки бор содержится в порядке 0,01—0,02 мг/л, начиная от широты боропроявления и далее вниз по течению на 1200 м. Выше по течению бор в водах обнаружен не был. Следует отметить, однако, что в водах ключа, дренирующего боропроявление с юга, бор не был обнаружен. В том же районе были обследованы поверхностные воды ключей, дренирующих другое боропроявление, и там также не был установлен гидрохимический ореол рассеяния бора.

### Рудопроявление в ландшафте хвойно-широколиственных лесов

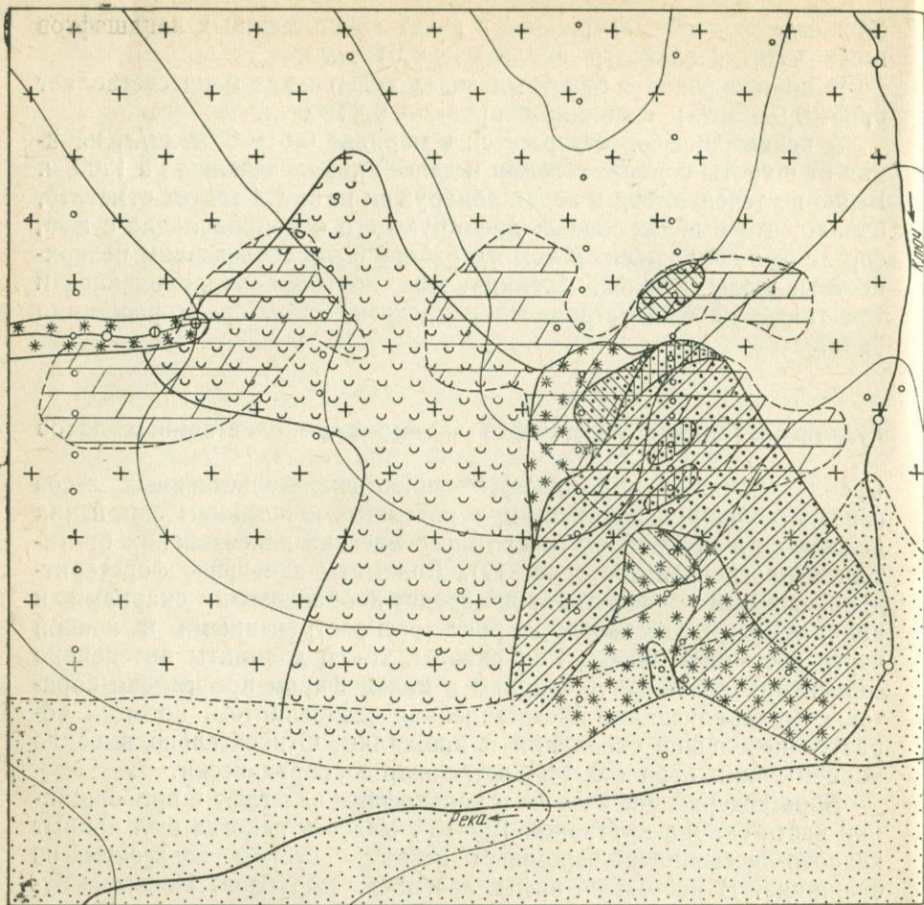
Ореол рассеяния в ландшафте хвойно-широколиственных лесов связан с рудопроявлением, приуроченным к останцам синийских доломитов в краевой части крупного массива палеозойских биотитовых плагиогранитов (рис. 17). Доломиты замещены форстерит-диопсидовыми и форстерит-хондродит-диопсидовыми скарнами и кальцифирами, особенно широко распространенными в южной части восточной линзы. Как скарны, так и доломиты интенсивно серпентинизированы. К скарнам и кальцифирам приурочена боратовая минерализация, представленная ссайбелиитом, который образует небольшие скопления и прожилки. Относительно высокие концентрации бора (до 1%) встречаются спорадически.

Боратсодержащие скарны и кальцифиры залегают в привершинной части склона крутизной 12—15°. Участок некогда был покрыт кедрово-лиственнично-березовым лесом с густым подлеском из орешника. В настоящее время лес почти вырублен. Почвы — бурые горно-лесные. Ландшафт участка подразделяется на: а) водораздел, сложенный гранитами; б) приводораздельную часть склона, имеющую протяженность 200—250 м и сложенную доломитами и скарнами; в) придолинную часть склона протяженностью 200—300 м, сложенную гранитами, перекрытыми делювием карбонатных пород; г) болотистую долину реки и ключа.

Широкое распространение в ландшафте карбонатных пород обусловливает возникновение кальциевого класса водной миграции (рН почв 6,5—7,0; содержание углекислоты карбонатов 1,5—2,0%).

В пределах участка ореол рассеяния бора контрастно проявлен в почвах, очень слабо в водах и совершенно не проявлен в растениях (табл. 22).

Наибольшая контрастность аномалии в почвах характерна для несмещенной части ореола; в смещенной части она ниже, особенно для гумусового горизонта. В растительности аномалия бора здесь не проявляется даже непосредственно над борсодержащими породами. Содержания бора в растениях, в контуре почвенного ореола,



Распределение бора

Минимально-аномальные содержания В, ‰		Вероятность появления, ‰
$A_0 A_1$	BC	
< 0,004	< 0,004	больше 25
0,004 - 0,005	0,004 - 0,005	25 - > 5
0,005 - 0,006	0,005 - 0,006	5 - > 0,5
> 0,007	> 0,007	0,5 и меньше

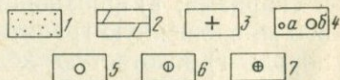


Рис. 17. Ореол рассеяния рудопроявления боратов в ландшафте хвойно-широколиственных лесов

Геохимически однотипным фоном, по сравнению с которым выделен ореол, является ландшафт с кислым переходным к кальциевому классом водной миграции

- 1 — четвертичные отложения;
- 2 — серпентинизированные доломиты, участками (восточная линза) замещенные магnezальными скарнами с ссая-белиитовой минерализацией;
- 3 — биотитовые граниты;

4 — точки наблюдения и опробования:  
а — почв и растений,

б — вод;

5 — бора в водах не обнаружено (чувствительность химического анализа 0,01 мг/л;

6 — содержание бора в водах 0,02 мг/л;

7 — содержание бора в водах 0,06 мг/л;

$A_0 A_1$  — гумусовый горизонт почв (глубина 0—20 см);  
BC — минеральный горизонт почв (глубина больше 50 см)

Таблица 22

**Содержания бора во вторичном ореоле рудопроявления боратов  
в ландшафте хвойно-широколиственных лесов**

Горизонт почв и вид растений	Средние содержания бора (в %)			Коэффициент концентрации бора	
	в геохимически однотипном фоне	в несмещенном ореоле	в смещенном ореоле	в несмещенном ореоле	в смещенном ореоле
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0,003 (28)	0,006 (14)	0,004 (14)	2,0	1,3
BC	0,003 (24)	0,011 (15)	0,006 (21)	3,7	2,0
Орешник маньчжурский	0,062 (41)	0,048 (8)	0,058 (6)	0,8	0,9
Береза плосколистная	0,072 (16)	0,050 (7)	0,053 (8)	0,7	0,7
Вейник	0,011 (15)	0,011 (6)	0,015 (5)	1,0	1,4

\* Здесь и далее в скобках указано количество проб.

в большинстве случаев даже ниже, чем в условиях геохимического фона. Геохимический ореол бора в поверхностных водах крайне незначителен. Лишь в одном из трех водотоков, дренирующих участок, был выявлен бор: 0,06 мг/л в истоках и 0,02 мг/л в 50 м ниже по течению.

Ореол рассеяния бора в почвах наиболее широко развит в минеральном горизонте BC. Следует, однако, отметить, что основную его площадь слагает ореол относительно невысоких содержаний, имеющих вероятность появления в геохимически однотипном фоне 25—5%. Эти содержания маркируют всю зону скарнированных пород в целом. В то же время более контрастная аномалия (ореол содержаний, имеющих вероятность появления в фоне менее 5%) распространена локальнее и приурочена к участку скарнов с минерализацией бора. К этому же участку приурочен и ореол рассеяния бора в гумусовом горизонте A<sub>0</sub>A<sub>1</sub>.

### Рудопроявления в северо-таежном ландшафте

Ореолы рассеяния бора, изученные в северо-таежном ландшафте, формируются в связи с ссайбелиит-людвигитовой минерализацией в гипабиссальных магнезиальных скарнах, образующихся на контакте синийских доломитов и меловых лейкократовых гранитов.

Ореолы наблюдались на двух участках — Горном и Болотном, сходных по своей геологической позиции и характеру минерализации, но отличных в ландшафтно-геохимическом отношении.

**Горный участок** расположен на крутом склоне в предгорьцовой части хребта. Бороносные скарны и вмещающие их карбонатные по-

роды перекрыты курумником гранитов, на котором формируются кислые супесчаные почвы. Лишь в долине ключа, прорезанной до карбонатных пород, почвы содержат углекислоту карбонатов и характеризуются кальциевым классом водной миграции. Мерзлых горизонтов здесь не наблюдается.

**Болотный участок** расположен на пологом склоне в поясе елово-березово-лиственничной тайги с густым моховым покровом. Здесь распространены торфянисто-перегнойные почвы, в которых верхний торфянистый горизонт  $A_T$  залегает на мерзлом со слоями льда перегнойно-минеральном горизонте ВС и коренных породах — доломитах с линзами бороносных скарнов в верхней части склона. Почвы содержат углекислоту карбонатов, что свидетельствует о кальциевом классе водной миграции ландшафта. Весь участок заболочен и обводнен. Скарновая зона дренируется истоками небольшого ключа.

На рассматриваемых участках ореолы рассеяния проявлены во всех компонентах ландшафта, однако характеристики их различны (табл. 23).

На Горном участке ореол большей части расположен в дренирующей склон долине ручья и почти отсутствует в пределах самого склона, где карбонатные породы перекрыты курумником гранитов. Коэффициент концентрации бора здесь примерно одинаков в горизонтах почв, однако очень различаются размеры ореолов. Наиболее протяженный ореол (150 м) прослежен в минеральном горизонте почв. В гумусовом горизонте почв аномальные содержания появляются лишь близ бороносных зон. По абсолютной величине они невелики (0,009% — максимум при содержаниях в породах до це-

Таблица 23

Содержания бора в ореолах рудопроявлений боратов в северо-таежном ландшафте

Компонент ландшафта	$\bar{x}$ в геохимически однотипном фоне, в $n \cdot 10^{-3}$ %	$\bar{x}$ в ореоле рассеяния, в $n \cdot 10^{-3}$ %	Коэффициент концентрации бора
<b>Горный участок</b>			
Горизонт почв $A_0A_1$	2,0 (29)	5,7 (11)	2,8
Горизонт почв ВС	1,5 (22)	5,8 (15)	3,9
Кедровый стланик	102 (23)	99 (8)	1,0
Поверхностные воды, мг/л	Менее 0,010	0,015—0,020	—
<b>Болотный участок</b>			
Горизонт почв $A_T$	2,0 (29)	5,2 (17)	2,7
Горизонт почв ВС	1,5 (22)	3,7 (14)	2,6
Кедровый стланик	102 (24)	233 (8)	2,3
Ольха кустарниковая	33 (16)	75 (25)	2,3
Донные осадки	1,5 (5)	5,0 (9)	3,3
Поверхностные воды, мг/л	Менее 0,010	0,010—0,020	—

лых процентов). Тем не менее, учитывая крайне низкие содержания бора в северо-таежном ландшафте, ореол проявляется достаточно контрастно. Аномалий бора в растениях здесь не обнаружено.

На Болотном участке, отличающемся от Горного широким пространением кальциевого класса водной миграции, наличием мерзлотного горизонта в почвах и замедленным стоком, ореолы рассеяния бора развиты значительно шире. Характерно, что в отличие от Горного участка здесь проявлены биогеохимические аномалии, которые имеют контрастность, близкую к почвенным, и распространены на большую площадь. Биогеохимические ореолы развиты как на склоне, так и в долине ручья, дренирующего склон и бороносную зону. Однако ореолы наиболее высоких содержаний — 0,22—0,30% В в кедровом стланике и 0,054—0,086% в ольхе — довольно четко приурочены к долине ручья. Общая величина смещения биогеохимического ореола вниз по склону от бороносной зоны составляет 700 м.

Ореолы рассеяния в почвах значительно меньше, особенно в мерзлотном горизонте ВС, где аномальные содержания (0,004—0,007%) появляются только близ зоны скарнов и прослеживаются вниз по склону всего лишь на 30—50 м. В торфянистом горизонте ореол четко локализован в долине и примыкающим к ней частям склона. Он прослежен вниз по течению на 400 м. Бороносная зона Болотного участка сопровождается протяженными потоками рассеяния бора в донных осадках 1300 и поверхностных водах 300 м (Федорова, 1967).

### Рудопроявление в степном ландшафте

Рудопроявление приурочено к линзам доломитовых мраморов, расположенных среди докембрийских кристаллических сланцев и гнейсов. По мраморам развиваются магнезиальные и известковые скарны и кальцифиры, с которыми связана магнетитовая и боратовая минерализация (Лисицын и др., 1966). Бораты представлены людвигитом, ссайбелинитом, суанитом и флюоборитом. Преобладает ссайбелинит, образующий как самостоятельные выделения, так и аполодвигитовые и апосуанитовые агрегаты.

Бороносные породы вскрываются на водоразделе небольшого широтного увала с пологими (5—7°) протяженными склонами. Окружающий ландшафт — ковыльно-типчачовая каменная степь с карбонатными черноземовидными почвами на гнейсах. Класс водной миграции ландшафта — кальциевый. Выходы поверхностных и подземных вод на участке отсутствуют. Среди черноземных степей наблюдаются редкие и небольшие вкрапления пересохших болот с лугово-болотными карбонатными почвами.

В связи со скарнами по обоим склонам увала наблюдается ореол рассеяния бора в почвах, прослеженный на 900 м на север и 1200 м на юг и оставшийся незамкнутым. Ширина ореола 250—400 м, что примерно соответствует ширине бороносной части зоны скарнов.

Таблица 24

## Содержания бора в ореоле рудопроявления боратов в степном ландшафте

Элемент ландшафта	Компонент ландшафта	$\bar{x}$ в геохимическом однотипном фоне, в $\mu\text{г} \cdot 10^{-3} \%$	$\bar{x}$ в ореоле рас- сеяния, в $\mu\text{г} \cdot 10^{-3} \%$	Коэффициент бо- ра в ореолах
Водоразделы и пологие склоны	Горизонт почв А <sub>1</sub>	3 (37)	6 (45)	2,0
	Горизонт почв В	3 (35)	6 (43)	2,0
	Горизонт почв ВС	3 (20)	5 (28)	1,7
	Польнь понтийская	55 (23)	65 (12)	1,2
	Польнь холодная	23 (25)	22 (12)	1,0
	Зопник клубненосный	58 (4)	24 (6)	0,4
Лугово-болотные западины	Шалфей степной	47 (12)	40 (11)	0,9
	Горизонт почв А <sub>1</sub>	3 (5)	8 (6)	2,7
	Горизонт почв В	3 (5)	8 (6)	2,7
	Горизонт почв ВС	3 (5)	5 (6)	1,7

Приведенные в табл. 24 данные показывают, что ореол в почвах проявлен отчетливо, хотя и имеет невысокий коэффициент концентрации. Характерно некоторое накопление бора в почвах болотистых западин. Биогеохимические ореолы здесь не проявлены.

## Рудопроявления в горно-степном ландшафте

В горно-степном ландшафте было изучено два проявления боратов в гипабиссальных магнезиальных скарнах. Оба рудопроявления приурочены к контакту гранодиоритов преднижнепермского возраста с каменноугольными доломитами и доломитизированными известняками. В зоне контактового воздействия интрузии развиты форстеритовые, шпинель-хондродит-пироксеновые и клиногумитовые магнезиальные скарны и кальцифиры, а также замещающие их гранатовые и гранат-пироксеновые известковые скарны. Магнезиальные скарны интенсивно серпентинизированы. К магнезиальным скарнам приурочена боратовая и магнетитовая минерализация. Бораты и ассоциирующий с ними магнетит образуют небольшие тела, имеющие резкие контакты с вмещающими породами. Реже наблюдается минерализация прожилково-вкрапленного типа. Бораты представлены людвицитом, в значительной степени замещенным ссайбелинито-магнетитовым агрегатом.

В современных процессах выветривания бораты замещаются карбонатами и гидроксидами железа с выносом бора. Однако в условиях крутосклонного рельефа коры выветривания часто бывают отпрепарированы, и на дневной поверхности обнажаются сравни-

тельно слабо выветрелые породы. В доломитах и гранодиоритах содержатся 0,001—0,002% В. Бороносность скарнов выше и варьирует в пределах 0,003—0,05%. Таким образом, источником повышенной бороносности в ландшафте являются не только боратовые рудные тела, но и вмещающие их скарны, развитые на более значительной площади.

Изученные участки расположены в сильно расчлененном ландшафте горных полынно-злаковых степей с карбонатными темно-коричневыми почвами. Класс водной миграции ландшафта — кальциевый. Оба боропроявления расположены на водоразделах и приводораздельных частях склона.

Бороносные зоны сопровождаются ореолами рассеяния бора в почвах, развитыми очень широко, биогеохимическими ореолами, распространенными значительно локальнее, и очень слабыми гидрохимическими аномалиями бора.

Приводимые ниже данные характеризуют преимущественно лишь одно из двух изученных проявлений, так как на другом

Таблица 25

Распределение бора в ореоле рассеяния боратового рудопроявления в горно-степном ландшафте \*

Элемент ландшафта	Компонент ландшафта	x в условиях геохимически однородного безрудного ландшафта, в п.10 <sup>-3</sup> %	Боратовый ореол			Коэффициент концентрации бора в ореоле	
			N	$\bar{x} \pm \lambda_5\%$ , в п.10 <sup>-3</sup> %	v, %		
Склон	Почвы	горизонт А	7,0	34	13,0±1,4	32	1,9
		горизонт В	7,0	27	13,0±1,7	35	2,1
		горизонт ВС	6,0	31	10,0±1,6	40	2,0
Долина дренирующего склона сая	Почвы	горизонт А	7,0	23	12,0±0,7	13	1,7
		горизонт В	7,0	22	12,0±1,2	24	1,7
		горизонт ВС	5,0	22	8,0±1,5	46	1,6
Склон	Растения	роза самаркандская	103,0	23	99,0±13,5	19	1,0
		лапчатка	66,0	8	66,0±4,0	22	1,0
		полынь персидская	69,0	21	65,0±9,0	33	1,2
		арча	40,0	19	42,0±3,0	34	1,2
Долина дренирующего склона сая	Растения	роза самаркандская	103,0	12	106±35,0	59	1,0
		полынь-эстрагон	53,0	11	46,0±10,4	38	0,8

\* Примечания и условные обозначения приведены в табл. 13; данные по распределению в условиях фона взяты в табл. 17.

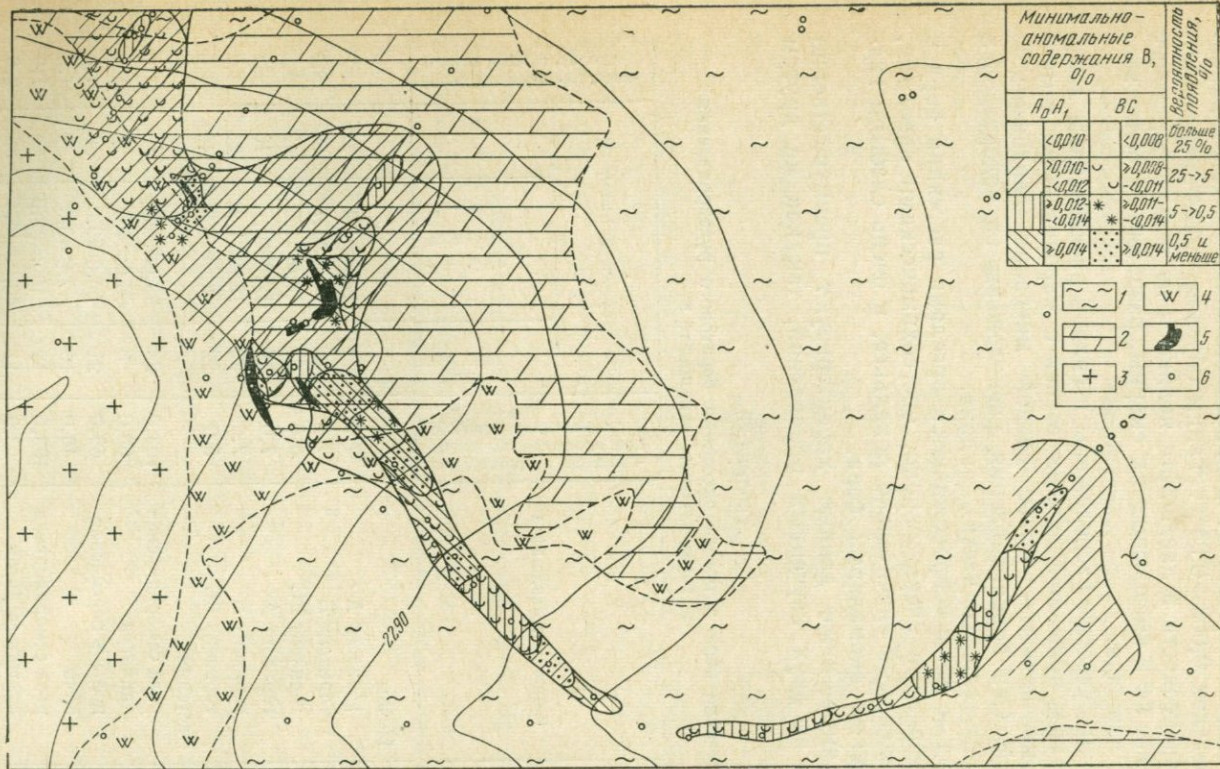


Рис. 18. Ореол рассеяния рудопроявления боратов в горно-степном ландшафте

Геохимическим однотипным фоном, по сравнению с которым выделен ореол, является ландшафт с кальциевым классом водной миграции

1 — лёссовидные карбонатные суглинки;  
2 — доломиты и известняки;

3 — гранодиориты;  
4 — участки гидротермальноизмененных карбонатных пород;  
5 — ссаибелит-людвиговитовые рудные тела;

6 — точка наблюдения и опробования почв и растительности:

А<sub>0</sub>А<sub>1</sub> — гумусовый горизонт почв (глубина 0 — 10 см);  
ВС — минеральный горизонт почв (глубина 30 — 60 см)

Таблица 26

Аномалии бора в почвах и растениях, связанные с искусственным заражением местности

Компонент ландшафта	$\bar{x}$ фоновое, в $\mu\cdot 10^{-3}$ %	$\bar{x}$ аномальное, в $\mu\cdot 10^{-3}$ %	Коэффициент концентрации бора
Горизонт почв А	5,0	60 (48)	12
Горизонт почв В	5,0	30 (48)	6
Горизонт почв ВС	5,0	47 (48)	9
Роза самаркандская	71,0	177 (15)	2,5
Полынь персидская	73,0	132 (23)	1,8
Ферула	45,0	85 (8)	2,1

\* В скобках указано число проб; данные по содержаниям в условиях фона взяты из табл. 17

распределение бора оказалось во многом зависимым от искусственного заражения в результате взрывных работ.

В табл. 25 приведены данные по распределению бора в почвах и растениях.

Ореол рассеяния бора в почвах прослеживается по всем генетическим горизонтам примерно с одинаковым коэффициентом концентрации. Контрастность увеличения средних содержаний бора в пределах ореола невелика, однако выделяется он вполне уверенно и локализует содержания, появляющиеся в условиях фона с вероятностью 25% и ниже (рис. 18). Наиболее значителен по площади ореол в гумусовом горизонте почв, которым маркируется как зона скарнированных пород, так и боратовые рудные тела. Зона скарнированных пород фиксируется содержаниями 0,010—0,011%, имеющих вероятность появления в фоне 25—5%. С боратовыми телами связаны более контрастные ореолы (0,014% и более). Они имеют потоковидную форму и контролируются микрорельефом склона. В минеральном горизонте ВС ореол и поток рассеяния отличаются большей дробностью и прерывистостью. Аномалии бора в этом горизонте хорошо фиксируют рудные тела и очень слабо отражают зоны скарнированных пород. Морфологически ореол в горизонте ВС близок к ореолу в горизонте А, но размеры его значительно меньше.

В золах растений биогеохимических ореолов на участке не наблюдается.

Характерные данные имеются по участку, распределение бора в пределах которого обусловлено искусственным заражением местности (табл. 26).

В отличие от участка с природным ореолом бора, здесь очень контрастна аномалия в почвах и в связи с ней появляется биогео-

химическая аномалия, но значительно меньшей контрастности.

Гидрохимические ореолы рассеяния бора, как отмечалось выше, очень слабы. Н. Г. Петровой (Крайнов, 1964) в подземных водах боропроявления были обнаружены содержания бора до 2 мг/л при полном отсутствии бора в фоновых водах. Одновременно был прослежен водный ореол бора в поверхностных водах с содержаниями более 0,02 мг/л. Однако годом позже М. А. Федоровой были установлены более низкие содержания бора: 0,138—0,075 мг/л в подземных трещинных водах и «следы» (менее 0,01 мг/л) в поверхностных. При этом «следы» бора достаточно широко распространены в поверхностных водах района и приурочены не только к водостокам, дренирующим боратосодержащие зоны, но и к участкам развития тектонических нарушений и зон гидротермально-измененных пород. Все это говорит о нестабильности гидрохимического ореола рассеяния бора.

### **Ореолы рассеяния бора рудопоявлений боросиликатов (датолита)**

Датолитовая минерализация в скарнах известковой формации имеет большое промышленное значение. Вторичные ореолы рассеяния, обусловленные датолитом, по сравнению с ореолами боратовых проявлений имеют более стабильные характеристики. Это связано с большей устойчивостью датолита при выветривании, с геохимической однородностью ландшафтов в изученных датолитовых проявлениях — всегда наблюдался хорошо выраженный кальциевый класс водной миграции — и, наконец, с высокой способностью растений к поглощению бора из датолита — кальциевый боросиликат, являющийся лучшим борным удобрением. Имеющиеся материалы показывают, что аномалии бора, связанные с минерализацией боросиликатов, хорошо выделяются по почвам, растениям и водам. Особенности вторичных ореолов, связанных с датолитом, будут продемонстрированы на примере проявлений в ландшафте широколиственных лесов и в степном ландшафте.

### **Рудопоявление в ландшафте широколиственных лесов**

Датолитовая минерализация приурочена к инфильтрационной залежи скарнов мощностью до 60—70 м, замещающих известняки триаса. Скарны представлены перемежающимися зонами гранатгеденбергитового и геденбергит-воластонитового состава, участками замещенными более поздними кварцево-кальцитовыми агрегатами. Залежь массивных скарнов сопровождается ореолом скарирования в известняках. Борная минерализация, преимущественно датолит, наложена на скарны. Кроме того, наблюдается рассеянная минерализация бора в скарированных известняках.

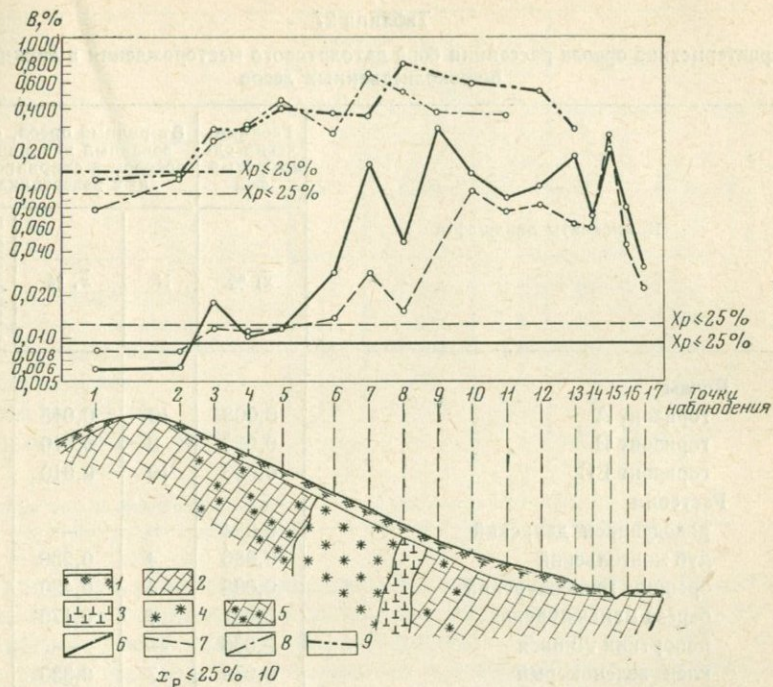


Рис. 19. Геохимический профиль с данными распределения бора по рудопроявлению датолита в ландшафте широколиственных лесов

- 1 — почвы и делювий;
- 2 — известняки неизмененные;
- 3 — диоритовые порфириды;
- 4 — гранат-волластонитовые скарны с датолитовым оруденением;
- 5 — скарированные известняки с первичным датолитовым ореолом; Графика распределения бора:
- 6 — в горизонте почв ВС,
- 7 — в горизонте почв А,
- 8 — в золе клена зеленокорого,
- 9 — в золе орешника маньчжурского;
- 10 — минимально-аномальный предел содержаний в положительных ореолах — ореолах концентрации

Иногда отмечается довольно интенсивное выветривание бороносных пород. Однако в условиях крутосклонного рельефа на исследованном участке коры выветривания обычно почти не сохраняются.

Бороносные скарны выходят на дневную поверхность на водоразделе и в верхней части крутого склона, спускающегося к долине небольшого ключа. Вся территория участка занята дубово-березовым и березово-липовым лесом с подлеском из клена зеленокорого и орешника маньчжурского. Здесь развиты бурые горно-лесные почвы, обладающие повышенной щелочностью (рН 7,5—7,6) и высоким содержанием  $\text{CO}_2$  карбонатов. Все это свидетельствует о кальциевом классе водной миграции в ландшафте.

Вторичные ореолы рассеяния бора контрастно проявлены во всех компонентах ландшафта: почвах, растениях и водах (рис. 19, табл. 27).

Таблица 27

## Характеристика ореола рассеяния бора датолитового месторождения в ландшафте широколиственных лесов

Компоненты ландшафта	Геохимически однотипный фон	Вторичный ореол, образованный первичным ореолом в скарнированных известняках		
	$\bar{x}$ , %	N	$\bar{x}$ , %	коэффициент концентрации
<b>Почвы</b>				
горизонт А	0,008	10	0,015	1,9
горизонт В	0,006	8	0,010	1,7
горизонт ВС	0,006	10	0,010	1,7
<b>Растения</b>				
рододендрон даурский	0,084	—	—	—
дуб монгольский	0,086	4	0,230	2,7
орешник маньчжурский	0,098	4	0,420	4,2
береза маньчжурская	0,061	4	0,170	2,8
папортник Линнея	0,036	—	—	—
клен зеленокорый	0,079	7	0,330	4,1
липа амурская	0,089	5	0,230	2,6
хвощ зимующий	0,020	—	—	—
Поверхностные воды, мг/л бора	—	—	—	—

Компоненты ландшафта	Вторичный ореол рассеяния, образованный датолитовой минерализацией в скарнах			Поток рассеяния		
	N	$\bar{x}$ , %	коэффициент концентрации	N	$\bar{x}$ , %	коэффициент концентрации
<b>Почвы</b>						
горизонт А	27	0,073	9,1	20	0,123	15,4
горизонт В	25	0,109	18,2	—	—	—
горизонт ВС	25	0,891	149,0	18	0,165	27,5
<b>Растения</b>						
рододендрон даурский	8	0,490	5,8	—	—	—
дуб монгольский	9	0,450	5,2	—	—	—
орешник маньчжурский	20	0,410	4,1	10	0,390	4,0

Компоненты ландшафта	Вторичный ореол рассеяния, образованный датолитовой минерализацией в скарнах			Поток рассеяния		
	N	$\bar{x}$ , %	коэффициент концентрации	N	$\bar{x}$ , %	коэффициент концентрации
береза маньчжурская	11	0,350	5,7	17	0,430	7,0
папортник Линнея	11	0,280	7,8	10	0,200	5,5
клен зеленокорый	21	0,240	3,4	5	0,300	3,8
липа амурская	11	0,225	2,5	3	0,210	2,3
хвощ зимующий	11	0,220	11,0	7	0,130	6,5
Поверхностные воды, мг/л бора	—	—	—	10	0,5—3,0	—

\* Данные по распределению бора в условиях фона взяты из табл. 14.

Ландшафт участка, содержащий датолитовый ореол рассеяния бора, геохимически неоднороден, что обусловлено, прежде всего, характером распределения бора в породах. В его пределах могут быть выделены: участки, сложенные неизменными известняками, не имеющие по условиям миграции в ландшафте геохимической связи с бороносными зонами — местный геохимический фон; участки, на которых вторичные ореолы рассеяния генерируются первичная ореолами датолита в скарнированных известняках с относительно невысокими содержаниями бора — сотые — первые десятки доли процента; участки, где вторичные ореолы и потоки рассеяния генерируются датолитсодержащими скарнами с высокими содержаниями бора — целые проценты.

Для аномалии бора в почвах в данном случае характерна очень высокая концентрация в ореоле и потоке рассеяния, связанная с датолитсодержащими скарнами. Интенсивность ореола более чем в 10 раз увеличивается вниз по профилю почвы. В потоке рассеяния бор распределен в почве равномерно. Характерно, что по сравнению с ореолом на склоне в потоке рассеяния содержание бора относительно увеличивается в гумусовых горизонтах почв и уменьшается в минеральных. Это говорит об интенсивности поверхностной миграции бора и о большей степени смещения ореола вниз по склону в гумусовых горизонтах. На рис. 19, характеризующем распределение бора по одному из исследованных профилей, видно, что по горизонту ВС почв контрастная аномалия бора начинается сразу с верхней по склону границы бороносной зоны и прослеживается до линии ключа. В горизонте А аномалия над бороносной зоной имеет меньшую контрастность, чем в нижней части склона на

участке смещенного ореола и в потоке рассеяния. Площадные исследования ореола показывают, что он состоит из серии зон с возрастающими концентрациями, последовательно сменяющими друг друга вниз по склону. В нижней более пологой части склона ореол осложнен линейными, вытянутыми по направлению стока зонами с наиболее высокими содержаниями бора, приуроченными к внутри-склоновым понижениям рельефа. Эти зоны пространственно не совпадают с бороносными участками скарнов и расположены ниже по склону.

Аномалии бора в почвах, связанные с первичными ореолами рассеяния датолита в скарнированных известняках, характеризуются невысокой контрастностью, а иногда и вообще не могут быть выделены. Так, например, по профилю, приведенному на рис. 19, где первичные ореолы развиты на участке, расположенном гипсометрически выше скарново-датолитовой зоны, содержания в горизонте почв А ниже минимально-аномальных.

Характеристика биогеохимического ореола бора существенно иная. Содержания бора в растениях здесь очень велики. Так, в отдельных пробах наблюдались уникально высокие концентрации бора — 1,8% в золе рододендрона даурского, 1,3—0,9% в золе орешника маньчжурского. Однако в целом в золах растений бор в пределах ореола распределен более равномерно, чем в почвах — коэффициент вариации 20—30%. Содержания бора в растениях примерно одинаковы как над первичным ореолом с относительно низкой бороносностью почв и пород, так и над скарново-датолитовой зоной и сопровождающим ее ореолом и потокам рассеяния бора в почвах. В связи с этим биогеохимические ореолы по сравнению с почвенными имеют более высокую контрастность на участках первичного ореола бора в скарнированных известняках и более низкую — над скарново-датолитовой зоной с высокими содержаниями бора.

В поверхностных водах ключей, дренирующих боропроявление и связанные с ним вторичные ореолы рассеяния, фиксируются очень высокие содержания бора, достигающие 3 мг/л при фоне менее 0,01 мг/л. Но протяженность ореола невелика и ограничена протяженностью водотока, дренирующего бороносную зону. Так, в одном из ключей, истоки которого расположены близ зоны, содержание бора в верховьях 0,08 мг/л; в средней части через 75—100 м — 1,5—2,0 мг/л и в устье еще через 50 м — всего 0,05 мг/л.

### Рудопроявления в степном ландшафте

Датолитовая минерализация приурочена к известковым гранатовым скарнам, образованным в экзоконтакте молодой интрузии гранит-порфиоров, прорывающей известняки верхнего мела и мергели палеогена. Рудоносные зоны расположены на южном склоне возвышенности, высотой порядка 900 м с относительным превышением

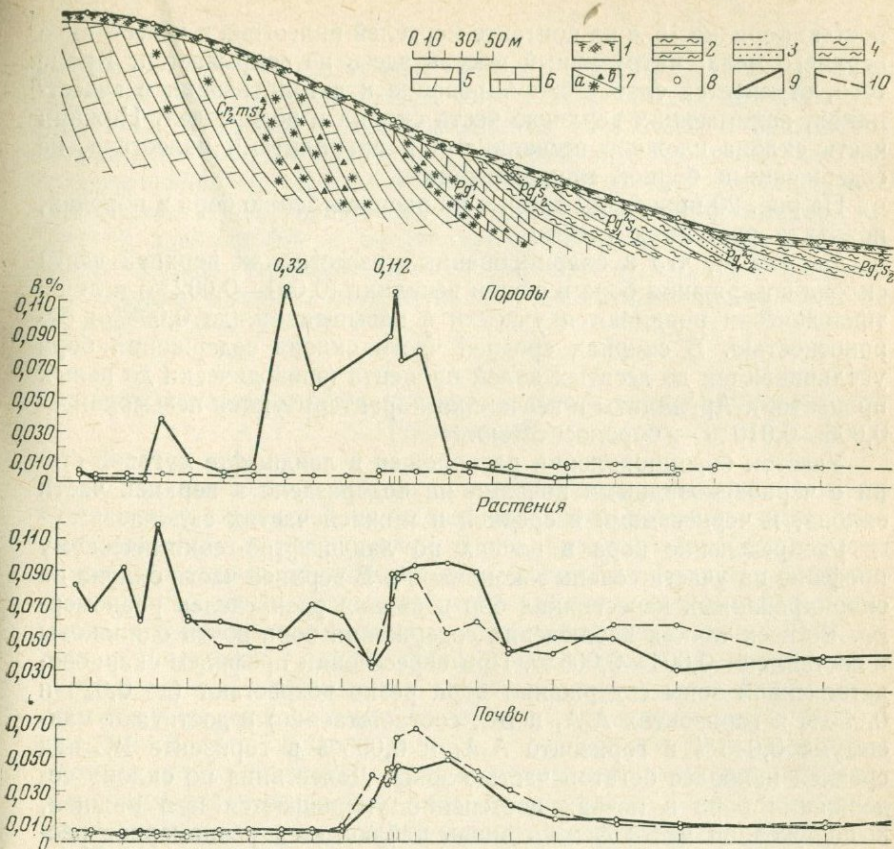


Рис. 20. Геохимический профиль с данными распределения бора по рудопроявлению датолита в ландшафте луговых степей

- |  |  |
|--|--|
| 1 — почвенный слой;                              | 8 — точки наблюдения;  |
| 2 — верхний палеоцен, верхняя свита, аргиллиты;  | 9 — содержания бора в коренных породах, горизонте $A_0A_1$ почв и в дубровнике беловойлочном;  |
| 3 — верхний палеоцен, средняя свита, песчаники;  | 10 — содержание бора в горизонте BC почв, шалфее мутовчатом и линия средних содержаний в породах на участках, удаленных от контактового воздействия интрузий |
| 4 — верхний палеоцен, нижняя свита, аргиллиты;   |  |
| 5 — нижний палеоцен, мергели;                    |  |
| 6 — верхний мел, маастрихтский ярус, известняки; |  |
| 7 — а — скарнирование, б — датолитизация;        |  |

250—300 м. Склон большей частью довольно крутой — 20—30° и выполаживается только вблизи подножья. Весь участок находится в кальциевом ландшафте луговой злаково-разнотравной степи с черноземными почвами.

Датолитсодержащие скарны участка выходят под почвенный слой в средней части склона и образуют линзообразное тело мощ-

ностью порядка 15 м на контакте мергелей палеогена и известняков верхнего мела; интрузивный массив здесь не вскрывается. Кроме того, отмечается слабое скарнирование и даптолитизация в известняках, занимающих верхнюю часть склона и водораздел. Нижняя часть склона сложена песчаниками и аргиллитами палеогена, не содержащими борной минерализации.

На рис. 20 приведены данные по распределению бора в породах, почвах и растениях участка.

Мы видим, что в скарнированных известняках верхней части склона содержания бора в общем невелики (0,001—0,002%) и лишь эпизодически появляются участки с повышенной (до 0,005%) бороносностью. В скарнах средней части склона содержания бора увеличиваются до десятых долей процента (эпизодически до целых процентов). Аргиллиты и песчаники характеризуются невысокой — 0,006—0,010% — бороносностью.

Участок боропроявления расположен в ландшафте луговой степи с черноземовидными почвами на водоразделе и верхней части склона, и черноземами в средней и нижней частях склона.

Распределение бора в почвах по ландшафтно-геохимическому профилю на участке очень закономерно. В верхней части склона на скарнированных известняках бор в почвах распределен равномерно. Во всех точках наблюдения содержания бора почти одинаковы и составляют 0,004—0,005%. При пересечении профилем скарно-даптолитовой зоны содержания бора резко возрастают (до 0,020 и 0,035% в горизонтах  $A_0A_1$  и ВС, соответственно) и достигают максимума 0,045% в горизонте  $A_0A_1$  и 0,065% в горизонте ВС над средней наиболее богатой частью зоны. Далее вниз по склону содержания бора в почвах постепенно уменьшаются и в нижней, выположенной части склона вновь наблюдается равномерное распределение с содержаниями бора 0,009—0,012%. Кривая распределения бора по профилю показывает, что отдельные точки с повышенными содержаниями бора в скарнированных известняках не сопровождаются аномалиями бора в почвах. Вместе с тем, почвенная аномалия четко фиксирует более богатую бороносную зону. Снос с этой зоны прослеживается всего лишь на расстоянии 100—110 м вниз по склону. Несколько повышенная бороносность почв на аргиллитах выположенной части склона (содержания здесь в 2,5 раза выше, чем в почвах на скарнированных известняках) связана, вероятно, с более высокой «фоновой» бороносностью терригенных пород.

В биогеохимическом ореоле бор распределен сложнее. Повышенные содержания бора здесь фиксируются на значительно большей площади. В частности очень характерна пространственная связь высоких содержаний в золе дубровника белойочного (0,12%) с участками повышенных содержаний бора в скарнированных известняках верхней части склона, где аномалия в почвах отсутствовала. Таким образом, так же как и в ландшафте широколиственных лесов, биогеохимические аномалии отражают даже сравнительно

слабые даптолитовые эндогенные ореолы в породах, не фиксируемые почвами. Скарново-даптолитовая зона и сопровождающий ее ореол рассеяния в почвах также выделяются аномалией в растениях. Содержания бора по абсолютной величине здесь не выше, чем над скарнированными известняками (0,07—0,09%), но сгруппированы они локально над бороносной зоной. В нижней части склона, сложенной аргиллитами и песчаниками, содержания бора в золах растений сравнительно невысоки (0,03—0,04%) и слабо варьируют по профилю. В целом, контрастность биогеохимических ореолов невысока — 1,5—1,9.

### **Ореолы рассеяния бора рудопроявлений алюмоборосиликатов (турмалина)**

Турмалин как источник бора промышленного значения не имеет. Однако турмалиновая минерализация самых разнообразных генетических типов распространена очень широко и связанные с нею ореолы рассеяния обнаруживаются значительно чаще других типов ореолов бора. Турмалин встречается в составе некоторых типов магнезиально-скарновых месторождений боратов (в условиях абиссальных фаций в гнейсах, вмещающих боратосодержащие скарны, часто наблюдаются интенсивно турмалинизированные разности) и реже известково-скарновых месторождений боросиликатов. В этих случаях вторичные ореолы генерируются двумя принципиально разными с точки зрения поведения при выветривании минеральными источниками и, естественно, имеют смешанную «турмалин-боратовую» или «турмалин-даптолитовую» природу.

Как отмечалось, турмалин очень устойчив к выветриванию. В связи с этим появление турмалина не создает основы для усиленной водной или биогенной миграции бора, а ореолы турмалиновых проявлений почти исключительно механогенны. Это обуславливает их высокую стабильность. Наблюдающиеся вариации в характеристиках отдельных ореолов связаны с различиями в ландшафте и могут быть проявлены на боропроявлениях любых других типов. Имеющиеся данные показывают, что аномалии, связанные с турмалиновой минерализацией, контрастно проявлены в почвах и рыхлых отложениях и практически не отражаются в водах и растениях.

### **Турмалин-сульфидное рудопроявление в южно-таежном ландшафте**

Турмалиновое проявление в южно-таежном ландшафте расположено неподалеку от описанного в этом ландшафте боратового проявления. Оно связано с массивом верхнеюрских гранодиоритов, прорывающих толщу ниже- и среднеюрских кварцевых и поли-

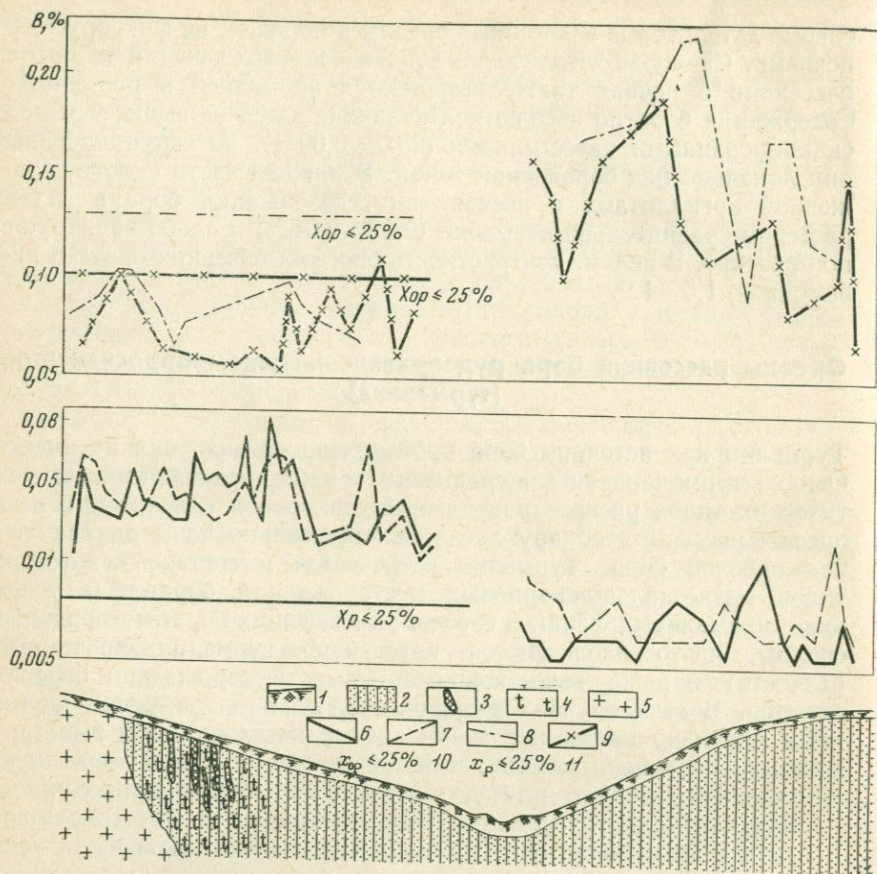


Рис. 21. Геохимический профиль с данными распределения бора по турмалин-сульфидному рудопоявлению в южно-таежном ландшафте

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1 — почвенный слой;                   | 9 — в березе плосколистной;   |
| 2 — полимиктовые алевриты, песчаники; | 10 — минимально-аномальные содержания бора с вероятностью 25%, верхний предел содержаний отрицательного ореола — ореола выноса;     |
| 3 — кварц-турмалин-пиритовые жилы;    | 11 — минимально-аномальные содержания бора с вероятностью 25%, нижний предел содержаний положительного ореола — ореола концентрации |
| 4 — турмалинизация;                   |   |
| 5 — гранодиориты;                     |   |
- Графики распределения бора:
- 6 — в горизонте почв ВС;
  - 7 — в горизонте почв А<sub>0</sub>;
  - 8 — в рододендроне даурском;

миктовых песчаников. К экзоконтакту массива приурочена серия пространственно сближенных кварц-турмалин-сульфидных жил, мощностью до 1,5—2,0 м. Вмещающие породы серицитизированы, окварцованы и турмалинизированы. Турмалин тесно ассоциирует с сульфидами, среди которых преобладает пирит, реже встречается халькопирит и сфалерит.

Таблица 28

## Характеристика турмалинового ореола рассеяния бора в южнотаежном ландшафте

Компоненты ландшафта	Геохимически однотипный фон*		Вторичный ореол рассеяния бора, образующийся над турмалин-сульфидными телами (верхняя часть склона)		
	$\bar{x}$ в $n \cdot 10^{-3}$ %	$x_p \leq 25\%$ в $n \cdot 10^{-3}$ %	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$ в $n \cdot 10^{-3}$ %	коэффициент концентрации
Почвы					
горизонт A <sub>0</sub>	7,0	8,0	25	39±8	5,6
горизонт A <sub>1</sub>	6,0	8,0	24	32±5	5,3
горизонт В	7,0	9,0	13	33±6	4,7
горизонт ВС	6,0	8,0	25	41±8	6,8
Растения					
багульник болотный	—	—	13	94±11	—
рододендрон даурский	164	128—230	20	79±1	0,5
лиственница даурская	—	—	14	75±9	—
спирея средняя	100	79—143	7	74±19	0,7
береза плосколистная	123	97—172	17	71±9	0,6
брусника	68	56—91	11	58±7	0,8
ольха	106	—	6	60±10	0,6
мох	—	—	10	35±11	—
донные осадки	2	—	—	—	—
Поверхностные воды (бор в мг/л)	Менее 0,01	—	—	—	—

Компоненты ландшафта	Смешанный участок вторичного ореола рассеяния (нижняя часть склона)			Поток рассеяния (долина ручья)		
	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$ в $n \cdot 10^{-3}$ %	коэффициент концентрации	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%}$ в $n \cdot 10^{-3}$ %	коэффициент концентрации
Почвы						
горизонт A <sub>0</sub>	17	19±8	2,7	10	15±7	2,1
горизонт A <sub>1</sub>	18	21±5	3,5	9	17±4	2,8
горизонт В	18	34±8	4,9	6	18±3	2,6
горизонт ВС	17	40±8	6,7	9	24±8	4,0

Компоненты ландшафта	Смещенный участок вторичного ореола рассеяния (нижняя часть склона)			Поток рассеяния (долины ручья)		
	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%},$ $n \cdot 10^{-3},$ в %	коэффициент концентрации	N	$\bar{x} \pm \lambda_{5\%},$ $n \cdot 10^{-3},$ в %	коэффициент концентрации
Растения						
багульник болотный	9	94±15	—	6	120±16	—
рододендрон даурский	17	76±8	0,5	—	—	—
лиственница даурская	18	61±13	—	—	—	—
спирея средняя	—	—	—	—	—	—
береза плосколистная	—	—	—	15	75±10	0,6
брусника	—	—	—	—	—	—
ольха	—	—	—	—	—	—
мох	—	—	—	17	31±3	—
донные осадки	—	—	—	18	40	20
Поверхностные воды (бор в мг/л)	—	—	—	18	Менее 0,01	—

\* Более детальные данные по распределению бора в безрудном ландшафте приведены в табл. 13 (кислый ландшафт на кварцевых песчаниках):

$x_p \leq 25\%$  — минимально-аномальные содержания с вероятностью 25%.

Для растений указана вся область содержаний, появляющихся в условиях фона с вероятностью более 25% и определяющая верхний предел содержаний в отрицательных ореолах (ореолах выноса), и нижний предел содержаний в положительных ореолах (ореолах концентрации). Для почв приведем лишь нижний предел содержаний в положительных ореолах.

Гипергенные изменения турмалин-сульфидных руд выражаются в замещении сульфидов гидроксидами железа. Турмалин в этих процессах не изменяется.

Турмалин-сульфидные тела расположены в верхней части протяженного склона. Склон вогнутый, постепенно выполаживающийся с 27 до 5° и переходящий в хорошо развитую слабо наклоненную долину и пойму ручья. Весь участок боропроявления покрыт смешанным лиственнично-березовым лесом с подлеском из рододендрона и густым бруснично-моховым напочвенным покровом. В долине распространены заболоченные заросли кустарниковой березы, перемежающиеся с участками открытых болот. Класс водной миграции ландшафта кислый и сернокислый (за счет окисляющихся сульфидов).

В результате проведенного на участке комплексного опробования установлено, что турмалин-сульфидные рудные тела сопровож-

Таблица 29

Характеристика турмалинового ореола в ландшафте хвойно-широколиственных лесов

Горизонт почв и вид растений	Среднее содержание бора, %		Коэффициент концентра- ции
	в геохимичес- ки однотоип- ном фоне	в ореоле	
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0,002 (28)	0,011 (16)	5,5
BC	0,002 (25)	0,022 (20)	11,0
Орешник маньчжурский	0,062 (41)	0,071 (14)	1,1
Береза плосколистная	0,072 (6)	0,066 (13)	0,9
Папоротник	0,033 (32)	0,037 (13)	1,1
Вейник	0,014 (6)	0,011 (5)	0,8

даются ореолами рассеяния в почвах с очень высокими содержаниями бора, аномально низкими содержаниями бора в растениях (отрицательным биогеохимическим ореолом) и не сопровождаются гидрохимическим ореолом рассеяния бора (рис. 21, табл. 28).

Аномалия бора в почвах очень контрастна. В пределах ореола рассеяния не встречается содержания ниже 0,011—0,013% В, вероятность появления их в условиях геохимически однотипного фона всего 0,5%.

В несмещенной части ореола бор в разрезе почв распределен довольно равномерно, что объясняется поверхностным сносом из разрушающихся коренных обнажений турмалиносодержащих пород. В направлении от источника сноса вниз по рельефу довольно быстро начинает проявляться дифференциация почвенных горизонтов по степени боросодности и в смещенной части ореола гумусовые горизонты содержат бора примерно в 2 раза меньше, чем минеральные. Содержание бора в минеральных горизонтах в пределах склона меняется довольно слабо и лишь в долине оно резко уменьшается.

В золах растений содержания бора на участке крайне низки. Данные, приведенные в табл. 28 и на рис. 21, показывают, что в подавляющем большинстве проб содержание бора значительно ниже, чем нижний предел минимально-аномальных содержаний, появляющихся в условиях фона с вероятностью не более 25%. Таким образом, здесь формируется контрастный отрицательный биогеохимический ореол бора. Это тем более характерно, что в условиях подобного безрудного ландшафта нами была описана нерудная положительная биогеохимическая аномалия бора, обусловленная недостатком микроэлементов минерального питания растений. Вторичный ореол в данном случае отличается высокой концентрацией в породах и почвах как бора, так и целого ряда других элементов (медь, мышьяк, молибден, серебро, свинец, цинк, кобальт, висмут,

никель), появление которых определяется сульфидной составляющей руд. В этих условиях, как мы видим, потребность растений в боре резко снижается.

### Турмалиновое рудопроявление в ландшафте хвойно-широколиственных лесов

В ландшафте хвойно-широколиственных лесов были исследованы вторичные турмалиновые ореолы, образующиеся в связи с зонами турмалинизации в палеозойских гранитах. Турмалинизация приурочена к участкам окварцованных и альбитизированных гранитов. В отличие от турмалинового проявления в южно-таежном ландшафте, сульфидная минерализация здесь отсутствует.

На выбранном для исследования участке бороносная зона расположена близ вершины на протяженном (600—800 м) пологом (10—15°) склоне, заканчивающемся болотистой долиной небольшого ключа. Весь склон покрыт березовым лесом с подлеском из орешника маньчжурского. Класс водной миграции ландшафта — кислый.

Результаты опробования почв и растений, приведенные в табл. 29, показывают очень контрастную аномалию бора в почвах, особенно в минеральных горизонтах.

В золах растений содержания бора в пределах турмалиновой аномалии в почвах остаются в общем на уровне фоновых и, следовательно, биогеохимическая аномалия здесь отсутствует.

Опробование поверхностных вод также не дало положительных результатов.

### Турмалин-боратовое рудопроявление в северо-таежном ландшафте

«Турмалин-боратовые» ореолы очень сложны для интерпретации и вместе с тем в некоторых условиях (древние осадочно-метаморфические толщи) могут быть весьма характерны. По этому типу ореолов известны лишь данные В. Л. Кожары (1964), которые будут кратко изложены.

В. Л. Кожарой было изучено людвигит-магнетитовое проявление, приуроченное к пачкам магнезиально-скарнированных доломитов, среди докембрийских гранитизированных гнейсов. В районе боропроявления гнейсы интенсивно турмалинизированы (рис. 22). Коренные породы покрыты тонким (0,5—3 м) чехлом делювиальных отложений и почв. В зоне выветривания бораты сильно корродированы, но гипергенных минералов — даже гидроокислов железа — не обнаружено. Таким образом, здесь, вероятно, развиты кислые выщелоченные коры выветривания.

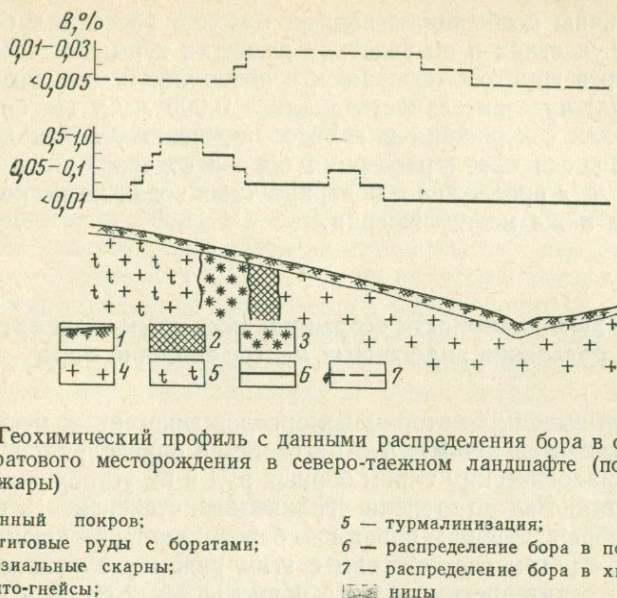


Рис. 22. Геохимический профиль с данными распределения бора в ореолах турмалин-боратового месторождения в северо-таежном ландшафте (по материалам В. Л. Кожары)

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 1 — почвенный покров;             | 5 — турмалинизация;                    |
| 2 — магнетитовые руды с боратами; | 6 — распределение бора в почвах;       |
| 3 — магнезиальные скарны;         | 7 — распределение бора в хвое листвен- |
| 4 — гранито-гнейсы;               | ницы                                   |

Боропроявление выходит на дневную поверхность в приводораздельной части пологого и длинного (1500 м) склона и возвышается над дном дренирующих его долин на 150—200 м. Здесь развита многолетняя мерзлота, протаивающая над бороносной зоной на несколько метров. Вся территория участка входит в зону листовничного редколесья с подзолистыми почвами.

Бороносная зона сопровождается вторичными ореолами рассеяния бора в почвах, растениях и водах (см. рис. 22).

Аномалия в почвах очень интенсивная. Содержания бора здесь достигают 1%, но, что особенно важно, максимальные концентрации приурочены не к людвиговитовым телам, а к турмалинсодержащим гнейсам, залегающим гипсометрически выше боратовых зон. Непосредственно над боратами и ниже их по склону интенсивность аномалии значительно слабее и содержания не выше 0,1—0,05%. Ореол рассеяния в почвах прослежен на всю длину склона. Участки максимальной концентрации бора в ореоле смещены от боратовой зоны на 400 м вверх по склону.

Совершенно иную характеристику имеет биогеохимический ореол рассеяния бора. Содержания бора в золе хвои лиственницы даурской в пределах ореола повышены до 1,0—0,11% при фоне 0,011% и, следовательно, ореол достаточно контрастный. В отличие от почвенного ореола, максимальные концентрации в растениях строго приурочены к боратовым телам и рудному элювию. Турмалинсодержащие гнейсы с очень контрастным турмалиновым ореолом в почвах растительностью совершенно не фиксируются. Протяженность биогеохимического ореола 800 м.

Аналогичны особенности водных ореолов рассеяния бора. На безрудных участках и на участках развития турмалиносодержащих гнейсов бор в грунтово-почвенных и поверхностных водах обнаружен не был; чувствительность анализа  $0,005 \text{ мг/л}$ . На боратовых рудных телах содержания в грунтово-почвенных водах достигает  $15 \text{ мг/л}$ . Водный ореол рассеяния бора с содержаниями порядка  $0,01—0,02 \text{ мг/л}$  прослежен в поверхностных водах на несколько сотен метров ниже месторождения.

### **Общие закономерности формирования вторичных ореолов рассеяния эндогенных месторождений бора**

Важнейший вывод для вторичных ореолов эндогенных месторождений бора сводится к тому, что их свойства определяются прежде всего минералогическим типом борных руд и их устойчивостью при выветривании. Ряд по степени увеличения интенсивности выветривания минералов бора: бораты — боросиликаты — алюмоборосиликаты. В строгом соответствии с этим рядом увеличивается стабильность характеристик ореолов и уменьшается степень их связи с геохимическим режимом в ландшафте. В этом же направлении уменьшается значение водной и биогенной миграции при формировании ореолов и возрастает роль механической составляющей.

Аномалии, связанные с минерализацией боратов, проявляются в почвах и рыхлых отложениях, в большинстве случаев отражаются в поверхностных и подземных водах и часто, но не всегда, фиксируются растительностью. Минерализация боросиликатов хорошо выделяется по геохимическим аномалиям в почвах, растениях и водах. Турмалиновая минерализация фиксируется только контрастными аномалиями в почвах и рыхлых отложениях и практически не отражается в водах и растениях.

Все это свидетельствует о сложном механизме формирования рудных вторичных аномалий бора и их полигенетичности. Ореолы рассеяния бора образуются в результате взаимосвязанных процессов механической, солевой и биогенной миграции, причем удельный вес и степень проявления каждого процесса зависят в конечном счете от минерального типа боропроявления и ландшафтно-геохимических условий.

Ореолы рассеяния в почвах и рыхлых отложениях наиболее универсальны. Они характерны для всех типов боропроявлений и отмечаются в самых разнообразных условиях геохимического ландшафта.

«Турмалиновые» ореолы в почвах во всех случаях наиболее интенсивны вблизи рудных тел и наиболее контрастны в нижних минеральных горизонтах, где содержания иногда выше, чем в породах. Они, как было показано, не сопровождаются биогеохимическими и водными аномалиями и, очевидно, полностью механо-

генны. На ореолы турмалиновых проявлений геохимические условия ландшафта практически не оказывают влияния.

Ореолы дацитовых проявлений в почвах имеют значительно более сложный характер. Они сопровождаются биогеохимическими и водными аномалиями и, следовательно, полигенетичны. Особенности «дацитовых» ореолов в почвах в значительной степени связаны с содержаниями бора в рудах. Для богатых руд (боропроявление в ландшафте широколиственных лесов) мы видим очень резкую концентрацию бора в минеральных горизонтах почв, где аномалия бора многократно интенсивнее аномалий в гумусовых горизонтах почв, растениях и водах. Здесь вероятнее всего преобладает механическое рассеяние. Для бедных руд (первичные ореолы рассеяния боропроявления в ландшафте широколиственных лесов, боропроявления в степном ландшафте и ландшафте буковых лесов) более резко проявлены биогенная и водная миграции. Здесь коэффициент концентрации бора в гумусовых горизонтах равен, а часто выше, чем коэффициент концентрации в минеральных горизонтах почв.

Ореолы боратовых проявлений, источником которых являются наиболее неустойчивые при выветривании минералы бора, самые сложные. В них особенно отчетливо проявляется влияние ландшафтно-геохимических условий на особенности ореола. Так, интенсивность ореола в почвах почти не связана с уровнем содержания бора в рудах и, например, ореолы в южно-таежных и горно-степных ландшафтах (сравнительно богатые руды) почти не отличаются по коэффициенту концентрации бора в почвах от ореолов в ландшафте хвойно-широколиственных лесов и в степном ландшафте (очень бедные руды). Особенности ореолов боратовых проявлений во многом определяются классом водной миграции ландшафта и его биогенными свойствами. Так, например, мы видели, что «боратовые» аномалии чаще всего имеют равную контрастность во всех горизонтах почвенного профиля. Однако особенности морфологии и площади проявления ореолов зависят прежде всего от типа геохимического ландшафта. Большая часть ореолов характеризуется кальциевым или кальциево-магниевым классом водной миграции, но особенности лесных и степных ландшафтов резко различны. В лесных гумидных ландшафтах ореолы имеют большую площадь распространения в минеральных горизонтах почв. Ореолы в этих горизонтах отражают как боратовые тела, с которыми связаны участки наиболее высоких содержаний, так и зоны скарнов с первичными ореолами рассеяния бора, фиксируемые вторичными ореолами с более низкими содержаниями бора. В лесных ландшафтах ореолы рассеяния бора в гумусовых горизонтах почв более локальны, маркируют только боратовые тела и часто сильно смещены вниз по склону. В степных и горно-степных ландшафтах картина распределения ореолов в генетических горизонтах почв практически обратна. Здесь более широко развиты ореолы в гумусовых горизонтах почв, которыми фиксируется вся зона повышенной бороносности

в породах, а ореолы в минеральных горизонтах локальны и характеризуют только рудные тела.

Очень характерны данные по «боратовым» ореолам в южно-таежных ландшафтах, где, в отличие от других участков, они развиваются в условиях кислого класса водной миграции. Здесь, так же как и в степных ландшафтах, более широкие ореолы характеризуют гумусовые горизонты почв.

Биогеохимические аномалии бора наблюдаются только для датолитовых и боратовых проявлений и практически отсутствуют у турмалиновых. Всего было рассмотрено восемь боратовых проявлений и три датолитовых, причем биогеохимические ореолы сопровождали все датолитовые и лишь половину боратовых. Единых закономерностей, обуславливающих возникновение или отсутствие биогеохимических аномалий, указать трудно, так как биологический механизм, регулирующий уровень поступления бора, связан с разнообразными, подчас трудно уловимыми факторами. Так, в северо-таежных и горно-степных ландшафтах было изучено по два боратовых проявления, сходных по геолого-минералогическим и ландшафтным особенностям. В каждом из указанных ландшафтов биогеохимическая аномалия наблюдалась только на одном из боропроявлений.

Характеризуя биологическое поглощение бора в ландшафте, мы отмечали биологическую необходимость бора. Вместе с тем, избыток бора приносит растениям непоправимый ущерб и даже приводит к их гибели. В связи с этим растение очень четко регулирует степень поглощения бора и устанавливает различную его норму в каждом конкретном экологических и геохимических условиях. В результате степень концентрации бора растениями далеко не всегда связана с содержаниями общего или воднорастворимого бора в почвах и в неблагоприятных для поглощения случаях биогеохимические аномалии не возникают. Об этом свидетельствуют и многочисленные факты пространственного несовпадения биогеохимических и почвенных ореолов, установленные практически повсеместно. Как отмечалось, бор восполняет в растениях физиологический ущерб, наносимый избытком кальция. В то же время, этот эффект в некоторой степени может быть достигнут с помощью магния и железа. Именно с этим, вероятно, связана большая стабильность биогеохимических ореолов на датолитовых проявлениях, основой которых является кальциевый силикат (датолит), образующийся в известняках и известковых скалах.

Менее стабильные биогеохимические ореолы боратовых проявлений генерируются в эндогенных месторождениях магниевыми или магниевыми-кальциевыми боратами, приуроченными к магниезальным скалам и доломитам и сопровождаемыми обычно минерализацией железа.

Известно, что кальциевые боросиликаты в качестве борного удобрения эффективней, чем более растворимые бораты. Отсюда становится понятным, почему для датолитовых проявлений био-

геохимические аномалии очень контрастны даже на сравнительно слабых ореолах в почвах. Для ландшафтов широколиственных лесов и степных ландшафтов была показана равная интенсивность биогеохимических ореолов как над рудными телами, так и над первичными ореолами в околорудном пространстве.

Для боратовых проявлений, где условия поглощения бора растениями менее благоприятны, биологический механизм, регулирующий уровень поступления бора, очень чувствителен и малейшее изменение внешних условий может привести к резким различиям содержаний бора в растениях.

Имеющиеся фактические материалы не дают нам возможности сделать выводы, позволяющие в каждом конкретном случае боратого ореола точно предугадать реакцию растений. Мы можем лишь перечислить те факторы, влияние которых установлено более или менее достоверно.

Прежде всего следует отметить ботаническую специфичность механизма поглощения бора. В условиях геохимического фона и аномалий вариации содержаний бора в выборках по каждому отдельно взятому ботаническому виду сравнительно невелика — редко достигает 50%. Значительно больше различия между ботаническими видами. Они достигают 3—5-кратной величины в условиях фона и 10—12-кратной величины на аномалиях. Особенно характерны факты резких морфологических несоответствий биогеохимических ореолов в различных совместно произрастающих видах: данные по березе кустарниковой и рододендрону даурскому для ореола в южно-таежном ландшафте. Эти факты показывают, что условия, благоприятные для формирования ореола в одном виде растения, могут оказаться неблагоприятными для другого.

Несомненно также важнейшее значение ассоциации бора с другими микроэлементами, участвующими в минеральном питании растений. Мы приводили целый ряд примеров, показывающих уменьшение содержаний бора в растениях в условиях ландшафтов, богатых микроэлементами (в том числе часто и бором). В некоторых таких случаях (ореолы турмалин-сульфидного проявления в южно-таежном ландшафте) даже формируются отрицательные биогеохимические аномалии бора. Какие конкретно элементы оказывают влияние, сказать трудно. В этом плане интересно сравнение боратого и турмалинового рудопроявлений в южно-таежном ландшафте. Ореолы того и другого проявления формируются в условиях кислого класса водной миграции, и в том и в другом случае проявлена сульфидная минерализация. В то же время «боратовый» ореол сопровождается контрастной положительной биогеохимической аномалией, а «турмалиновый» — столь же контрастной отрицательной аномалией. Влияние микроэлементов тут несомненно, так как при прочих равных условиях для «турмалинового» ореола содержания бора в растениях не должны были бы отличаться от фоновых. Сопоставление комплекса элементов, концентрирующихся по сравнению с фоном в почвах этих ландшафтов, показывает,

что из проанализированных элементов накапливаются примерно в одинаковых количествах вольфрам, молибден, олово, хром, медь и серебро. В турмалиновом ореоле кроме перечисленных элементов появляются кобальт, кадмий, мышьяк, висмут и свинец. Возможно именно этими элементами и обусловлено снижение бороносности растений в ореоле рассеяния турмалин-сульфидных жил.

Уровень содержания бора в бороносных породах и почвах не всегда имеет значение для возникновения биогеохимической аномалии. Однако в ореолах боратовых проявлений в степных и горно-степных ландшафтах наблюдались биогеохимические аномалии только над богатыми бором (десятые — большие сотые доли %) участками ореолов в почвах. В гумидных районах такой закономерности не наблюдается. Например при равных содержаниях бора в почвенном ореоле на проявлении боратов в южно-таежном ландшафте и в ландшафте хвойно-широколиственных лесов в первом случае биогеохимическая аномалия контрастна, а во втором — отсутствует.

Большую роль играют и вопросы динамики бора в растениях. Многочисленные данные, показывающие неравномерность распределения бора по органам растения и в зависимости от фенологической стадии его развития, приводятся в работах физиологов — обобщены у М. Я. Школьника, 1950. В. Л. Кожара на «боратовом» ореоле наблюдал увеличение в 5—30 раз содержания бора в старых частях растений по сравнению с молодыми. Вне контуров ореола различия были небольшими.

Перечисленные факторы вряд ли полностью учитывают разнообразие условий, влияющих на формирование биогеохимического ореола.

Гидрохимические аномалии сопровождают боратовые и датолитовые проявления и практически отсутствуют в турмалиновых. Наиболее интенсивно эти аномалии проявлены в грунтово-почвенных и подземных трещинных водах, непосредственно омывающих рудоносные зоны. В наиболее доступных для опробования поверхностных водах содержания бора в пределах аномалии обычно невысоки — 0,01—0,02 мг/л и находятся на грани чувствительности применяемых методов анализа. Зачастую бор в водотоках, дренирующих боропоявления и их вторичные ореолы рассеяния, обнаружен не был. Следует отметить высокую динамичность и вследствие этого невысокую стабильность гидрохимических ореолов. Так, при повторном опробовании размеры и интенсивность ореолов уменьшались и в некоторых случаях они исчезали вообще. Закономерности изменения бороносности вод в пределах ореолов могут быть названы лишь предположительно. Они детально обсуждаются в монографии С. Р. Крайнова (1964). Данных по динамике бора в ореолах исключительно мало и они не всегда однозначны. С. Р. Крайнов в горно-луговом ландшафте для боросиликатного месторождения описывает увеличение содержания бора по мере уменьшения расхода водотока. В то же время М. А. Федорова для

лесного гумидного ландшафта наблюдала постепенное увеличение содержаний бора в водах при увеличении расхода водотока вследствие сильного ливня.

Таким образом, рудные ореолы рассеяния бора для всех типов минерализации бора и геохимических ландшафтов имеют более постоянные и универсальные характеристики в почвах; они значительно сложнее и более локально проявлены в растениях и водах. В общем плане объяснение этому вполне понятно. В почвах суммируются процессы физико-химической, механической и биогенной миграции. В результате здесь увеличивается степень свободы формирования ореола и, соответственно, возрастает вероятность его возникновения и сохранности. Биогеохимические и водные ореолы имеют меньшее число степеней свободы и для них более резко проявлены ограничивающие условия.

Свойства рудных аномалий различных минеральных типов боропроявлений являются основой для их выделения и интерпретации.

**МЕТОДИКА ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ  
ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОРА**

## Глава 1

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОРА  
ПО ЭКЗОГЕННЫМ ОРЕОЛАМ**

Геохимическими критериями при поисках эндогенных месторождений бора по экзогенным ореолам являются ореолы бора в компонентах геохимического ландшафта — рыхлых отложениях, почвах, растениях и водах. Ассоциация элементов-спутников для месторождений бора нестабильна и связана не столько с собственно борной минерализацией, сколько с наложенными процессами, характер которых определяется целым рядом превосходящих факторов. Именно поэтому ореолы бора являются наиболее надежным критерием при поисках его месторождений.

Геохимические поиски бора включают решение двух обязательных задач: во-первых, выявление геохимических аномалий бора и, во-вторых, их интерпретация с целью установления источников аномалий и выделения среди них ореолов, связанных с потенциально-промышленными типами минерализации: боратами и боросиликатами. Вторая задача значительно сложнее и для своего решения требует применения специальных методов исследования. Задача выявления ореолов более проста. В применении к бору она практически заключается в оценке надежности и эффективности геохимических поисковых критериев с целью последующего выбора представительного метода или комплекса методов геохимического опробования. Последний должен удовлетворять следующим общим пожеланиям: 1) высокая контрастность выявления аномалий (высокий коэффициент концентрации бора); 2) относительно большая площадь аномалий; 3) минимальное количество выявленных нерудных аномалий и 4) легкость геохимической интерпретации.

Рассмотрим с отмеченных позиций возможности геохимических аномалий бора в почвах, растениях и водах (табл. 30 и 31).

**Геохимические аномалии бора в почвах** фиксируют все минеральные типы боропроявлений в условиях всех исследованных геохимических ландшафтов. Четко проявлены и нерудные аномалии бора в почвах. Таким образом, повышенная бороносность почв является обязательным критерием, но совершенно недостаточна для суждения о типе аномалии и, главное, о характере ее минерального источника.

Таблица 30  
 Продуктивность ореолов бора \*

Тип ореола	Ландшафт	Продуктивность ореолов бора		
		в гумусовые горизонты почв	минеральные горизонты почв	в воздушных видах растений
Связанные с боратами	Северо-таежный **	2,7	1,3	4,6
	То же	2,8	11,7	0,0
	Южно-таежный	2,1	1,8	3,5
	Хвойно-широколиственных лесов	2,0	7,4	0,0
	Степной	2,0	1,7	0,0
	Горно-степной	3,8	2,0	0,0
	То же	10,0	10,0	2,0
Связанные с датолитом	Широколиственных лесов ***	2,0	1,5	5,0
	То же	9,0	100,0	14,0
	Буковых лесов	3,0	20,0	1,5
	Степной	8,5	10,0	2,5
Связанные с турмалином	Южно-таежный	5,0	30,0	0,0
	Хвойно-широколиственных лесов	5,5	11,0	0,0
	Широколиственных лесов	2,2	3,5	0,0

\* Продуктивность рассчитана как произведение коэффициента концентрации бора на его площадь. Показатель продуктивности приведен в сопоставимых для каждого ореола условных единицах.

\*\* Ореол участка с мерзлым минеральным горизонтом.

\*\*\* Вторичный ореол, обусловленный первичным ореолом датолита.

Не дают таких оснований и данные по распределению бора в вертикальном разрезе почв или коэффициенту его концентрации в аномалии, так как четких и однозначных различий аномалий по этим признакам не установлено. Можно лишь отметить, что аномалии, обусловленные турмалином, породами с высокой «фоновой» борноспособностью и датолитом, значительно контрастнее в минеральных горизонтах почв, чем аномалии, связанные с другими типами минерализации. Аномалии, связанные с минерализацией боратов, аномалии, вызванные первичными ореолами датолита и нерудные аномалии, обусловленные пересечением границ геохимически разнотипных ландшафтов, слабоконтрастны и характеризуются либо равномерным распределением по разрезу, либо преимущественной концентрацией в гумусовых горизонтах почв (особенно в степных и горно-степных ландшафтах).

Таблица 31

## Коэффициенты концентрации в аномалиях

Тип аномалии	Коэффициент концентрации бора			Содержания бора в поверхностных водах, дренирующих аномалий (при фоне в основном менее 0,01 мг/л)
	гумусовые горизонты	минеральные горизонты	зола растений	
«Турмалиновый»	2,5—100	5—1000	1,0	Менее 0,01
«Турмалин-боратовый»	—	до 1000	2,0—10	0,01—0,02 (до 10 мг/л)
«Датолитовый»	2,0—10	1,5—100	2,0—7,0	0,01—2,0
«Боратовый»	2,0—3,0	1,5—4,0	1,0—5,0	0,01—0,05 (до 5 мг/л)
Нерудные аномалии, связанные с породами, обладающими повышенной «фоновой» бороносностью	2,0—3,0	3,0—10,0	1,0	Менее 0,01
Нерудные аномалии, связанные с пересечением профилем опробования границ геохимически различных ландшафтов	1,5—2,5	1,5—2,5	2,0—4,0	То же
Нерудные аномалии, связанные с изменением опробуемого горизонта почв или вида растений	1,5—2,5	1,5—2,5	до 5,0	»

**Биогеохимические аномалии бора** фиксируют только минерализацию датолита и боратов. Известны и нерудные аномалии, связанные с ландшафтами, характеризующимися кальциевым классом водной миграции и с ландшафтами, отличающимися резко пониженными содержаниями микроэлементов минерального питания растений. Биогеохимические аномалии бора очень четко проявлены на месторождениях и проявлениях датолита (даже на первичных ореолах) и нестабильны для эндогенных боратов. Таким образом, повышенные содержания бора в растениях являются хорошим критерием для интерпретации аномалии и в ряде случаев для их поисков. В то же время отсутствие аномалии не дает оснований для какой-либо оценки. Сложность использования биогеохимического метода обусловлена большим комплексом взаимосвязанных факторов, влияющих на бороносность растений. В связи с этим мы не всегда можем предугадать реакцию растений в тех или иных условиях и вынуждены экспериментально устанавливать эффективность биогеохимии в каждом конкретном случае.

**Гидрогеохимические аномалии бора** сопровождают только рудопроявления боратов и боросиликатов. Для турмалиновых проявлений и всех отмечавшихся типов нерудных аномалий повышение содержания бора в водах нехарактерно. Следует заметить, что этот вывод основан на данных определения бора в водах с чувствитель-

ностью 0,01 мг/л и что не рассматриваются минеральные воды, а также аридные районы с борным соленакоплением, неперспективные на эндогенные бораты и боросиликаты. Таким образом, гидрогеохимические аномалии бора являются весьма эффективным критерием при поисках его месторождений и интерпретации аномалий других типов. Наиболее контрастны гидрогеохимические аномалии бора в подземных и грунтово-почвенных водах, которые, однако, труднодоступны для опробования. В поверхностных водах содержание бора в пределах аномалий чаще всего невысоко — 0,015—0,020 мг/л — и находится на грани чувствительности применяемых методов анализа. Сложность использования гидрогеохимии связана, кроме того, с существованием двух типов аномалий бора в водах: локальных и площадных. Первые приурочены к водотокам, непосредственно дренирующим боропоявления. Вторые возникают в результате дренирования трещинных подземных вод, промывающих скрытые бороносные зоны. Поэтому рудные водные ореолы бора могут быть обнаружены на участках, не имеющих видимых геологических перспектив на бор. Эти случаи трудны для интерпретации.

Анализ эффективности основных геохимических поисковых критериев показывает, что лишь комплексное изучение аномалий бора в почвах, растениях и водах позволяет интерпретировать их с достаточной уверенностью. В то же время применение на всех этапах поисков столь широкого комплекса исследований нерентабельно. В связи с этим исключительно важны критерии интерпретации аномалий бора в почвах, являющихся наиболее универсальными и легкооткрываемыми. Такие критерии основаны на изучении форм нахождения бора в почвах, изучение ассоциации элементов-спутников бора, изучение геофизических особенностей аномалий.

**Формы нахождения бора в почвах** изучены плохо, так как практически отсутствуют надежные приемы выделения и прямого определения различных форм.

Данные по интенсивному выносу бора в корках выветривания боратowych и датолитовых руд позволяют предположить, что изучение способности бора к водной миграции в почвах может явиться основой для интерпретации аномалий (Сает, 1966).

Рис. 23. Соотношение общего  $x$  ( $\mu \cdot 10^{-3}$ ) %

бора ( $x$ ) и его способности к водной миграции ( $K_B$ ) в рудных и нерудных аномалиях в ландшафте хвойно-широколиственных лесов

- I — ореол рассеяния рудопоявления боратов;
- II — ореол рассеяния рудопоявления турмалина;
- III — нерудная аномалия ландшафта с кальциевым классом водной миграции

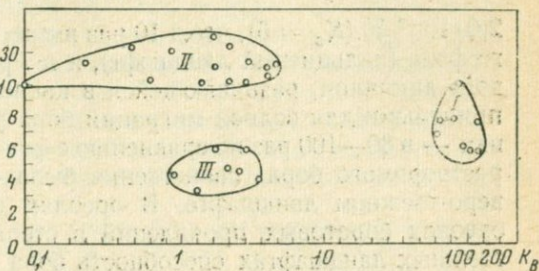


Таблица 32

## Распределение бора между кислотнорастворимой и нерастворимой фазами в почвенных аномалиях

	Горизонты почв	«Датолитовые» ореолы (5 разрезов почв)	«Боратовые» ореолы (9 разрезов почв)
Кислотно-растворимый бор $\bar{x}_K$	A <sub>0</sub> + A <sub>1</sub>	21,3 (26—18)*	12,3 (7—22)
	B + BC	(22—30) 26	(44—8) 17,5
Кислотно-нерастворимый бор $\bar{x}_H$	A <sub>0</sub> + A <sub>1</sub>	1,3 (4—0,0)	0,8 (2—0,4)
	B + BC	(5—4) 4,4	(3—0,0) 0,8
$\frac{\bar{x}_K}{\bar{x}_H}$	A <sub>0</sub> + A <sub>1</sub>	16 (5—30)	15,4 (4—100)
	B + BC	(5—30) 6	(4—50) 22

\* Приведены наблюдавшиеся пределы содержаний в  $\mu \cdot 10^{-3} \%$ .

Так, например, в ландшафте хвойно-широколиственных лесов по этому признаку очень четко отделялись слабоконтрастные аномалии, связанные с боратами (рис. 23). В ландшафте широколиственных лесов, в очень контрастной аномалии, связанной с датолитом и развивающейся в условиях кальциевого класса водной миграции, содержания воднорастворимого бора в почвах достигали

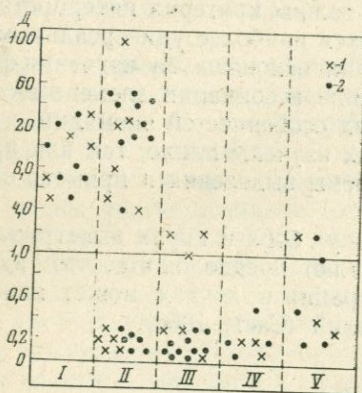


Рис. 24. Коэффициенты распределения бора (D) между кислотнорастворимой и нерастворимой фазами в почвенных аномалиях

- I — ореолы рудопоявлений датолита;  
 II — ореолы рудопоявлений боратов;  
 III — ореолы рудопоявлений турмалина; IV — нерудные аномалии, связанные с бороносными сланцами; V — нерудные аномалии кальциевых ландшафтов;  
 I — гумусовые горизонты почв;  
 2 — минеральные горизонты почв

$2,0 \cdot 10^{-3} \%$  ( $K_b = 5$ ), что в 10 раз выше, чем в почвах геохимического фона (кальциевый ландшафт), и в 7 раз выше, чем в «турмалиновой» аномалии, развивающейся в кислом ландшафте с более благоприятными для водной миграции бора условиями. Очень интенсивная — в 80—100 раз по сравнению с фоном — концентрация воднорастворимого бора свойственна была «боратовой» аномалии в северо-таежном ландшафте. В ореолах датолитовых проявлений, в ореолах боратовых проявлений в степных, горно-степных, южно-таежных ландшафтах способность бора к водной миграции в почвах

«Боратовый» ореол в южно-таежном ландшафте (5 разрезов почв)	«Турмалиновые» ореолы (10 разрезов почв)	Нерудные аномалии, связанные с бороносными сланцами (4 разреза почв)	Нерудные аномалии кальциевых ландшафтов (3 разреза почв)
3,4 (2—5)	7,7 (3—12)	3,3 (1—6)	3,6 (2—4)
(1—4) 3,0	(1—7) 3,6	(1—3) 1,7	(2—4) 2,5
20,1 (12—32)	19,0 (3—34)	16 (7—28)	5,0 (2—9)
(16—27) 22,4	(21—47) 28,6	(4—17) 11	(2—9) 4,5
0,16 (0,1—0,2)	0,4 (2—0,05)	0,2 (0,15—0,2)	0,7 (0,3—2,0)
[(0,1—0,2) 0,13]	(0,3—0,5) 0,1	(0,10—0,5) 0,15	(0,2—2,0) 0,6

была повышена неконтрастно — в 1,3—1,6 раза по сравнению с фоном. Это объяснялось либо условиями стока и климата, либо образованием очень труднорастворимых органо-минеральных комплексов. Таким образом, большая интенсивность водной миграции бора в почвенных аномалиях — надежный критерий для их интерпретации, малая интенсивность не всегда позволяет дать отрицательную оценку.

Значительно увереннее можно интерпретировать почвенные аномалии с помощью крепкокислотных вытяжек из почв, позволяющих извлекать различные типы сорбированного и минерального бора. Это обусловлено количественным перевесом закрепленных форм бора над водноподвижными, значительной механической составляющей аномалий и резко различной устойчивостью минералов бора к воздействию сильных растворителей. Наиболее разработана сейчас вытяжка 10%-ной горячей HCl, которая извлекает сорбированный бор, часть борорганических соединений и бор в форме боратов и боросиликатов<sup>1</sup>. Результаты вытяжек, представляемые в виде коэффициента распределения бора (отношение кислотнорастворимой и нерастворимой фаз) позволяют чаще всего однозначно интерпретировать аномалии. В ореолах, связанных с проявлениями боратов и датолита в почвах, резко преобладает бор в кислотноподвижных фазах; в турмалиновых ореолах и нерудных аномалиях бор преимущественно содержится в неподвижной фазе (рис. 24). Среди всех изучавшихся ореолов наблюдалось лишь одно отклонение от этой закономерности: в ореоле боратового проявления в южно-таежном ландшафте бор не извлекался кислотой даже из грубогумусовых горизонтов почв. Этот факт предположительно объясняется образованием кислотн неподвижных органо-минераль-

<sup>1</sup> 100 мл кислоты на 2 г почвы, определение бора фотоколориметрическое по методике, разработанной И. А. Блюмом и основанной на реакции фторидного комплекса бора с кристаллическим фиолетовым (Немодрук, Каралова, 1964).

Таблица 33

Микроэлементы во вторичных ореолах рассеяния бора ( $\text{в } \mu \cdot 10^{-3} \%$ )  
в различных ландшафтах

Тип ореолов	«Боратовые» ореолы											
	хвойно-широколиственных лесов			северо-таежный			южно-таежный			горно-степной		
	$\bar{x}_\Phi$	$\bar{x}_0$	K	$\bar{x}_\Phi$	$\bar{x}_0$	K	$\bar{x}_\Phi$	$\bar{x}_0$	K	$\bar{x}_\Phi$	$\bar{x}_0$	K
Литий	0	0	0	0	0	0	12	6	0,5	3,1	5,1	1,7
Титан	400	430	1,0	50	466,7	9,2	138	112	0,8	182	347	1,9
Марганец	60	170	2,8	102	233	2,2	112	64	0,4	23,6	52	22
Хром	0	0	0	0,7	2,5	3,6	4	3	0,7	15,7	25,7	1,6
Никель	3	20,6	1,1	4,1	4,1	3,9	3	2	0,7	3,3	5,5	1,7
Кобальт	0	0	0	0,7	1,2	1,7	0,8	1	1,2	0,6	4,4	7,3
Ванадий				0,8	7,1	9,0	7	4	0,6	4,3	18,2	4,2
Стронций	0	37	+	6,0	27,4	4,5	0	0	0	0,36	0	—
Барий	200	37	0,1	17,0	58,5	3,7	140	88	0,6	13,8	64	4,6
Медь	4	10,2	2,3	4	4	1,8	8	85	10,0	4,5	110	24,4
Свинец	5	20,4	1,7	4,8	4,8	3,0	2	1	0,5	4,8	4,5	0,9
Цинк				11,0	25	2,3	19	29	1,5	15	23	1,6
Молибден	0,3	0	—	0,06	0,1	1,7	0,16	0,3	2,0	0,2	5,2	26,0
Олово	0,4	0	—	0,2	0,2	1,0	0,25	0,3	1,2	0,65	1,5	2,3
Бериллий				0	0,3	+	0,2	0,2	1,0	0,13	0,18	1,4
Иттрий	1	11,0	0,4	3,0	3,0	7,2	4,5	3	0,6	1,6	2,3	1,4
Иттербий				0,03	0,5	17,0	0,3	0,3	1,0	0,16	0,24	1,5
Цирконий	13	90,7	3,7	19,5	19,5	5,1	44	32	0,7	32,4	29	0,9

$\bar{x}_\Phi$  — среднее содержание в геохимически однотипном с ореолом безрудном ландшафте;

$\bar{x}_0$  — среднее содержание в ореоле рассеяния;

K — коэффициент концентрации элемента в ореоле;

ных соединений бора и требует дальнейших исследований. Следует заметить, что абсолютный уровень содержаний кислотнорастворимого бора критерием не является. Так, даже в турмалиновых ореолах, в гумусовых горизонтах почв встречались довольно высокие содержания кислотнорастворимого бора. При этом, однако, нерастворимого бора значительно больше и коэффициент распределения невысок (табл. 32).

Ассоциация элементов-спутников обычно является наиболее распространенным методом интерпретации аномалий. Однако для месторождений бора не наблюдается сколько-нибудь тесной связи с каким-либо другим оруденением. Характеризуя геохимические особенности борных руд и вмещающих их пород, мы показали от-

«Датолитовые» ореолы						«Турмалиновые» ореолы								
широколист- венных лесов			степной			хвойно-ши- роко- лиственных лесов			южно-таежный			широколиствен- ных лесов		
$\bar{x}_\Phi$	$\bar{x}_0$	K	$\bar{x}_\Phi$	$\bar{x}_0$	K	$\bar{x}_\Phi$	$\bar{x}_0$	K	$\bar{x}_\Phi$	$\bar{x}_0$	K	$\bar{x}_\Phi$	$\bar{x}_0$	K
4	3	0,7	8	8	1,0	0	0	0	4	4	1	2	4	2,0
600	150	0,2	1000	1000	1,0	570	530	1,0	200	240	1,2	187	200	1,0
40	500	12,5	10	100	1,0	120	40	0,3	25	32	1,3	24	60	2,0
3	1	0,3	4	6	1,5	0	0	0	17	22	1,3	0,6	4,0	6,0
20	4	0,2	3	5	1,7	2	4	2,0	3,5	4,4	1,2	0,2	2,0	10,0
0,5	0,6	1,2	1,4	3,0	2,0				2,4	2,9	1,2	0,2	2,0	10,0
2	3	1,5	7	12,0	1,7				19	21	1,1	2,0	7,0	3,5
0	10	+	0	0	0	40	0	—	0	0	0	0	0	0
30	8	0,2	70	70	1,0	65	50	0,7	105	108	1,0	90	0	—
1	3	3,0	0,9	2	2,2	1	4	4,0	4	12	3,0	0,6	4	6,6
2	60	30,0	20	11	0,6	3	4	1,3	4	4	1,0	3	8	2,6
11	60	5,0	11	15	1,3				19	25	1,3	20	14	0,7
0,1	0,2	2,0	0,2	0,2	1,0				0,18	0,35	2,0	0,1	0,2	2,0
0,3	0,8	2,6	0,4	0,2	0,5	0,4	1,5	3,7	0,4	0,4	1,0	0,6	0,5	0,8
0,2	0,3	1,5	1,1	1,3	1,0				0,19	0,19	1,0	0,2	0,2	1,0
2	1	0,5	2	3	1,5	2	3	1,5	2,8	2,1	0,75	2	2	1,0
0,6	0,1	0,1	0,2	0,2	1,0				0,3	0,3	1,0	0,6	0,2	0,3
14	10	1,0	60	20	0,3	17	17	1,0	45	28	0,6	2	2	1,0

— элемент не обнаружен;

> — элемент отсутствует в безрудном ландшафте, но накапливается в ореоле;

> — элемент обнаружен в безрудном ландшафте, но отсутствует в ореоле.

сутствие в них типоморфных ассоциаций элементов, специфичных для разных типов ореолов минерализации бора. Все это не создает основы для геохимической интерпретации минеральных типов аномалий по комплексу элементов-спутников.

В табл. 33 дан фактический материал по содержанию микроэлементов в ореолах бора и в однотипных безрудных ландшафтах.

Мы не наблюдаем здесь единообразных закономерностей. Практически все перечисленные в таблице элементы могут концентрироваться и концентрируются во всех типах борных месторождений. Не наблюдается также каких-либо строгих закономерностей и в степени концентрации. Один и тот же элемент может в ореолах одного и того же типа не концентрироваться вообще и концентрироваться

Таблица 34

Магнитная восприимчивость почв с аномалиями бора (в  $10^{-6}$  CGSM)

Тип минерализации в ландшафте	Фон		Аномалия	
	гумусовые горизонты	минеральные горизонты	гумусовые горизонты	минеральные горизонты
Датолитовая в ландшафте широколиственных лесов	17 (8—28)*	18 (10—25)	14 (12—17)	23 (13—32)
Боратовая (ссайбелиитовая) в ландшафте хвойно-широколиственных лесов	7 (6—8)	8 (6—9)	6 (3—7)	5 (3—7)
Боратовая (людвигитовая) в горно-степном ландшафте	6 (4—7)	8 (6—9)	34 (30—40)	47 (30—70)
Боратовая (людвигитовая) в северо-таежном ландшафте	5 (2—11)	25 (20—27)	17 (4—25)	100 (57—150)
Боратовая (людвигитовая) в южно-таежном ландшафте	6 (3—8)	20 (11—30)	100 (9—190)	170 (40—500)
Турмалиновая в южно-таежном ландшафте	6 (3—8)	20 (11—30)	9 (5—12)	20 (18—25)
Нерудные, связанные со сланцами в южно-таежном ландшафте	4 (3—5)	3 (2—4)	5 (4—7)	15 (3—25)

\* В скобках указаны наблюдавшиеся пределы вариации магнитной восприимчивости почв.

очень контрастно. Следует отметить, что иногда коэффициент концентрации ассоциирующих элементов значительно выше, чем коэффициент концентрации бора. При этом в пределах бороносных зон и вмещающих их пород собственная минерализация этих элементов, как правило, либо отсутствует, либо незначительна. Примером могут явиться молибден, кобальт, ванадий, барий и олово в ореоле рудопроявления боратов южно-таежного ландшафта; молибден, медь, олово и никель в турмалиновом ореоле в ландшафте хвойно-широколиственных лесов; медь, кобальт, ванадий, никель и хром в ореоле датолитового рудопроявления в степном ландшафте. При проведении литогеохимических поисков, где бор, как правило, не изучается, такие аномалии элементов легко могут быть приняты за нерудные, тогда как они маркируют минерализацию бора. Эти данные показывают, что комплексные малоконтрастные аномалии элементов, отбракованные металлометрией как неперспективные, могут оказаться очень полезными для ориентации поисковых работ на бор.

**Геофизические свойства аномалий бора** изучены слабо. Для месторождений боратов, в которых обычно присутствует магнетит, несомненна повышенная магнитность. И действительно, все изучавшиеся людвигитовые проявления сопровождаются магнитными аномалиями, интенсивность которых достигает 30 000—40 000 *гамм*.

Имеющиеся данные (табл. 34) показывают, что все людвигитовые проявления очень четко и контрастно выделяются по увеличению в 6—8 раз магнитовой восприимчивости почв. В ореолах датолитовых и турмалиновых проявлений магнитная восприимчивость по сравнению с фоном не меняется. Нерудные аномалии бора, образованные линзами сланцев среди карбонатных пород, фиксируются увеличением магнитной восприимчивости в минеральном горизонте почв, но по абсолютному уровню она невелика и много ниже, чем в людвигитовых ореолах.

Бороносные магнезиальные скарны, не содержащие людвигита (ореол в ландшафте хвойно-широколиственных лесов), не обладают повышенной магнитной восприимчивостью. Таким образом, магнитометрические данные могут служить хорошим критерием для интерпретации аномалий бора, связанных с людвигит-магнетитовыми проявлениями. Используя этот метод, следует иметь в виду, что наиболее устойчивы и контрастны данные по магнитной восприимчивости в минеральных горизонтах почв. В гумусовых горизонтах даже магнитные свойства очень переменны. В ряде случаев при очень интенсивных аномалиях магнитности в минеральных горизонтах, в гумусовых горизонтах наблюдаются фоновые значения магнитной восприимчивости.

## МЕСТО И РОЛЬ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В КОМПЛЕКСЕ ПОИСКОВЫХ РАБОТ НА БОР

Состояние поисковых работ на бор сейчас таково, что требует во многих районах проведения специализированных поисков бора. Это связано прежде всего с недостаточностью информации по бору, собираемой при обычных съемочных и поисковых работах. В подтверждение достаточно указать лишь на почти полное отсутствие определений бора в спектральных анализах металлотрических и литохимических проб, что обусловлено рядом вполне оправданных технических причин (например, недостаточное количество безборовых спектральных углей). Вместе с тем, очень многие перспективные на бор по геологическим соображениям районы уже открыты геохимическими съемками различных масштабов. Специализированные поиски бора необходимо четко разделить на следующие три этапа (табл. 35): прогнозная оценка перспектив бороносности региона и составление программы поисковых работ; геохимические поиски в масштабе 1 : 50 000—1 : 25 000; детальные геохимические поиски и вскрытие аномалий.

### **Прогнозная оценка перспектив бороносности района и составление программы поисковых работ**

В результате исследований первого этапа должны быть выделены участки для площадных поисков и намечена методика их проведения. Работы этого этапа включают как камеральное обобщение и анализ фондовых и литературных данных, так и полевые исследования.

Прогнозная оценка перспектив бороносности района и выбор участков для площадных поисковых геохимических работ начинаются с подробного анализа материалов всех предыдущих исследований. В результате составляются предварительная прогнозная карта масштаба 1 : 200 000 и карты перспективных участков масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000, на которые выносятся следующая нагрузка:

- 1) площади распространения карбонатных пород (известняков, доломитов, магнезитов, мергелей);
- 2) интрузивные массивы, дифференцированные по возрасту и петрографическому составу;
- 3) данные по степени регионального метаморфизма и гранитизации (для древних толщ);
- 4) участки скарнирования и типы скарнов;
- 5) все данные по проявлению минерализации бора и ее типу;
- 6) данные по бороносности вод;

Таблица 35

## Комплексирование геохимических методов поисков бора

Этапы поисковых работ	Ревизионно-геохимический	Гидрохимический	Почвенно-геохимический	Биогеохимический	Интерпретация
Прогнозная оценка перспектив бороносности	Ведущий	Вспомогательный	Проводятся небольшие объемы работ опытно-методического характера		Изучение минерализации бора в породах. Магнитометрические исследования. Гидрохимические исследования
Площадные поиски масштаба 1:50 000 и 1:25 000	Вспомогательный	Ведущий	Ведущий	Вспомогательный	Исследование подвижности бора в водных или крепкокислотных вытяжках из почв. Изучение элементоспутников бора. Гидрохимические исследования. Биогеохимические исследования
Детальные поиски и вскрытие аномалий	Ведущий	Вспомогательный	То же	То же	Биогеохимические исследования. Изучение минерализации бора в породах. Исследование подвижности бора в водных или крепкокислотных вытяжках из почв. Магнитометрические исследования
			Выбор зависит от результатов опытно-методических работ		

7) магнитные аномалии (как положительные, так и отрицательные и, особенно, приуроченные к участкам развития карбонатных пород).

Анализ перечисленных данных позволяет в первом приближении оценить перспективы бороносности района, возможные генетические типы боропроявлений и площади поисковых работ.

Одновременно с картой предварительного прогноза в камеральный период составляется карта, на которой учитываются условия поисков бора. Эта карта прежде всего выделяет площади, перекрытые сравнительно маломощными рыхлыми отложениями (до 3—5 м), для которых на современной стадии изученности возможно применение геохимических методов поисков, и площади с мощными наносами, методика поисков в пределах которых почти не разработана. Кроме того, на этой карте выделяются предварительно участки ландшафтов различного класса водной миграции и возможные типы нерудных аномалий. Основой для этого служит сопряженный анализ топографических (рельеф), почвенных, геоботанических, гидрохимических и геолого-литологических материалов.

Полевые работы первого этапа организуются с целью выявления и изучения потенциально рудоносных образований, а также известных по литературе рудопроявлений и минералогических находок боровых минералов. Кроме того, в этот период проводятся опытно-методические исследования с целью привязки основных методических приемов поисков бора к конкретным условиям данного района.

Изучение потенциально-рудоносных образований и рудопроявлений проводится ревизионно-опробовательскими методами и заключается в посещении, изучении и опробовании отдельных наиболее интересных и перспективных точек (известные обнажения скарнов, магнитные аномалии, мелкие плохо исследованные боропроявления и т. д.), а также в выборочном маршрутном опробовании всех основных литолого-стратиграфических и петрографических разностей пород. В районах, перспективных на бораты в магнезиальных скарнах (особенно в районах развития древних осадочнометаморфических толщ), очень важно изучение магнезиальности карбонатных пород. Данные, собираемые при этих исследованиях, позволяют отметить основные аспекты геохимии бора в районе и оценить возможность появления литогенных нерудных аномалий, связанных с повышенной бороносностью каких-либо пород. В случае положительных результатов (повышенная бороносность или наличие минерализации бора в потенциально-перспективных образованиях) эти работы позволяют дать уверенный геохимический прогноз перспективам того или иного участка. При проведении ревизионно-опробовательских работ необходимо использовать нейтронно-абсорбционные методы определения бора, позволяющие оперативно получать данные прямо в полевых условиях (Остроумов, 1963).

Вероятность выявления промышленно-интересных концентраций бора при ревизионно-опробовательских работах в общем невелика, так как с таких позиций многие «интересные точки» в ряде районов

уже рассмотрены. Эффективность этих работ—в данных прогнозного характера.

Опытно-методические работы проводятся на известных проявлениях и участках предполагаемых типов нерудных аномалий. Основные цели этих работ—установление представительного горизонта опробования и приемов интерпретации аномалий (по данным биогеохимии, гидрохимии и фазового анализа почв и рыхлых отложений). Анализ проб опытно-методических исследований должен проводиться чувствительными количественными методами.

При проведении опытно-методических работ гидрохимическое опробование технически возможно и удобно осуществлять на более широких площадях. Тем самым, практически, начинаются работы следующего этапа и подготавливается фронт для площадного почвенно-геохимического или биогеохимического опробования.

В результате обобщения литературных данных и результатов ревизионно-опробовательских работ, перспективные по общегеологическим соображениям районы с известной долей условности, могут быть разделены на участки трех типов:

I тип — площади наиболее перспективные, максимально насыщенные геологическими и геохимическими показателями потенциальной бороносности и характеризующиеся небольшой мощностью чехла современных элювиально-делювиальных отложений (I очередь работ).

II тип — площади перспективные по общегеологическим данным, для которых ревизионно-опробовательские работы не могли быть проведены достаточно широко (например, из-за большой закрытости) и их результаты, следовательно, не являются однозначными. Коренные породы здесь также перекрыты маломощным чехлом рыхлых отложений (II очередь работ).

III тип — перспективные по общегеологическим данным площади, на территории которых развит сравнительно мощный покров рыхлых отложений (III очередь работ).

Вполне понятно, что граница между площадями I и II типа довольно условна и последующие работы могут их изменить.

### **Геохимические поиски в масштабе 1:50 000—1:25 000**

Комплексные площадные геохимические исследования в масштабе 1:50 000—1:25 000 являются ведущим методом поисков эндогенных месторождений бора. Уровень прогнозной оценки ныне таков, что выделяемые для поисков площади достаточно велики. Как показывает практический опыт, даже на базе геологических карт масштаба 1:50 000, площади, намечаемые к опосредованному поиску, в перспективных районах составляют десятки и сотни квадратных километров. Вместе с тем, параметры ореолов бора (подробнее об этом будет сказано ниже) при рекомендуемых масштабах обеспечивают высокую вероятность их выявления.

Основой комплекса является сочетание опережающего гидрохимического опробования с почвенно-геохимическим (литохимическим) опробованием. Этот комплекс позволяет проводить поиски потенциально-промышленных типов эндогенных и метаморфогенных месторождений боратов и боросиликатов на наиболее перспективных площадях, гибко менять направление и последовательность обработки участков непосредственно в ходе полевых работ, производить предварительную (а часто, и окончательную) геохимическую интерпретацию аномалий и проводить детализацию самых интересных участков (выявленных гидрохимией), не дожидаясь окончания полевых работ и получения всех химико-аналитических данных. Только комплексирование дает возможность проводить поиски оперативно, гибко и эффективно.

Данные гидрохимического опробования могут быть использованы как для прогнозной оценки перспектив опробовываемой площади на минерализацию бора потенциально-промышленного типа (об этом говорит сам факт появления площадных или локальных аномалий, практически всегда для рассматриваемых типов месторождений, являющихся рудными), так и для поисков местонахождения рудного источника при локальных аномалиях. Локальные аномалии, четко увязывающиеся с определенным, ограниченным по площади участком ландшафта, позволяют сразу переходить к детальным поискам.

Положение и роль гидрохимических поисков в общем комплексе поисковых работ на бор требуют проведения их с опережением перед остальными видами работ. Это достигается тем, что площадное гидрохимическое опробование начинается еще в период прогнозной оценки района. Кроме того, оно значительно оперативнее, чем литохимическое или биогеохимическое.

По результатам гидрохимических поисков производится уточнение очередности и направления более трудоемких литохимических поисков на площадях I и II очереди, а также уточнение прогнозной оценки перспектив бороносности на площадях III очереди (для которых условия применения других геохимических методов пока вообще не разработаны).

Почвенно-геохимическое опробование рекомендуется как основной метод среднемасштабных поисков бора. Широкое использование биогеохимических методов здесь не рационально, так как в связи с достаточно большими площадями ландшафтно-геохимические условия обычно довольно разнообразны и резко сказывается нестабильность биогеохимических аномалий. Однако иногда не исключено использование биогеохимии как основного метода, особенно когда опытно-методическими работами в однотипной геохимической обстановке доказана его высокая эффективность (например, приводимые ранее данные по южнотаежным ландшафтам).

Почвенно-геохимически поиски проводятся вслед за гидрохимическими на участках I очереди работ и на части участков II очереди, перспективность которых не могла быть отвергнута гидрохимически-

ми и ревизионно-опробовательскими работами из-за отсутствия водотоков и обнажений.

Следует подчеркнуть, что имеющиеся геохимические данные по вторичным ореолам рассеяния бора характеризуют лишь боропроявления, выходящие под сравнительно маломощный почвенно-делювиальный покров. Таким образом, в долинах и нижних выложенных частях склонов, в тех случаях, когда есть основания ожидать более мощные рыхлые отложения, данные почвенного опробования характеризуют лишь снос с верхних и средних частей склонов. Для этих участков поисковую информацию дают нам гидрохимические данные.

В комплекс среднемасштабных геохимических поисковых работ входят также и геолого-геохимические исследования. Основная их задача — продолжение и развитие ревизионно-опробовательских геохимических исследований, начатых еще на этапе прогнозирования. Кроме того, проводится маршрутное и геохимическое опробование участков гидрохимических аномалий и, в меньшей степени, изучение и опробование крупнообломочного делювия, вскрываемого почвенными шурфами и закопушками. Делювий изучается и опробуется как для характеристики бороносности наиболее распространенных на поисковых участках разновидностей пород (с целью определения степени концентрации бора в почвах и сопоставления ее с известными данными по фону и ореолам), так и для обнаружения рудных обломков. Изучение делювия важно в закрытых районах, где опробование по обнажениям дает слишком скудную информацию по геохимии бора в породах.

Интерпретация аномалий возможна здесь уже по комплексу признаков (геолого-петрографические данные, результаты гидрохимии, элементы-спутники, фазовые анализы). В целом, после проведения среднемасштабных поисков рекомендации по аномалиям бора могут быть следующими:

1) аномалия интерпретируется как рудная и требует проведения более детальных геохимических поисков с целью обнаружения рудного источника и его оценки;

2) аномалия не интерпретируется определенно и требует постановки дополнительных исследований с целью установления ее природы и принятия решения о дальнейших работах;

3) аномалия интерпретируется как нерудная и не требует дальнейших исследований.

Аномалии, требующие дополнительных исследований с целью более точной интерпретации, должны быть изучены повторно по более густой сети (например, в масштабе 1 : 25 000 или отдельными профилями масштаба 1 : 10 000). Дополнительные исследования заключаются в повторном гидрохимическом и почвенном опробовании и, главное, в привлечении биогеохимического опробования, магнитометрии и тщательном геолого-минералогическом осмотре с целью поисков коренных выходов или делювиально-элювиальных обломков пород, благоприятных для локализации оруденения.

## Детальные геохимические поиски и вскрытие аномалий

Задача детальных поисков состоит в установлении местонахождения рудного источника, его вскрытии и предварительной оценке.

Детальные поиски могут быть разделены на две последовательные стадии: 1) установление местоположения рудного источника и уточнение размеров выхода бороносной зоны под современные отложения; 2) вскрытие бороносной зоны.

Методы исследования, применяемые при детальных поисках, зависят от минерального типа минерализации бора и от ландшафтно-геохимических условий, обуславливающих те или иные формы проявления ореола.

Проявления боратов и датолита обычно могут быть изучены в результате почвенного опробования, которое в данном случае лучше проводить по минеральному горизонту почв ВС, где аномалии более контрастны и слабее смещены от рудной зоны (примеры были приведены при характеристике ореолов).

Для ореолов смешанного «турмалин-боратового» или «турмалин-датолитового» происхождения локализации перспективных зон по данным опробования почв затруднена, так как относительно слабые «боратовые» или «датолитовые» ореолы маскируются интенсивной турмалиновой аномалией, распространяющейся на более широкую площадь. Если биогеохимические аномалии достаточно контрастны, то они обычно позволяют надежно определить положение и размеры рудной зоны. Если таких аномалий не возникает, то опробуются почвы и оконтуривание производится по выходу бора в кислотно-подвижную фазу.

Биогеохимическое опробование необходимо также применять при детализации аномалий, требующих после среднемасштабных работ дополнительных исследований с целью интерпретации.

При поисках боратов, часто сопровождаемых магнетитом, основные задачи детальных поисков могут быть решены методом магнитометрической съемки, что резко сокращает трудоемкость и сроки работ и позволяет быстро перейти к вскрытию рудной зоны. Геохимическое опробование здесь не исключается полностью, так как не вся магнитная аномалия может быть бороносна. Необходимо также и проверка бороносности за пределами магнитных зон.

При детальных поисках, если это технически несложно, рационально использовать гидрохимию. Опробуются все выходы грунтовых и подземных вод (в частности, воды почвенных шурфов), что позволяет в случае успеха быстро локализовать рудный источник и начать его вскрытие, не дожидаясь аналитических данных по детальному геохимическим работам.

Вскрытие аномалий бора производится, как правило, после проведения детальных поисков. При планировании горных выработок необходимо учитывать возможность смещения эпицентров и даже верхней кромки ореола вниз по рельефу от рудного тела.

Оценка бороносных зон заключается прежде всего в определении степени и характера выветривания. При карбонатных, лимонитовых или выщелоченных корах для боратов и глинистых корах для датолитовых пород небольшие содержания бора (порядка 0,010) могут быть связаны с промышленно интересным оруденением на глубине. Необходима тщательная документация кор выветривания для обнаружения радиально-лучистых, волокнистых или игольчато-призматических апоборатовых псевдоморфоз, которые иногда сохраняются в условиях даже глубоко проработанных кор. Вместе с тем, следует помнить, что боросиликаты и многие бораты очень трудны для диагностики. Так, например, в котоитовых мраморах, содержащих до 5% В, даже с лупой трудно установить какую-либо минерализацию. Таким образом, уверенная оценка может быть дана только после получения данных анализа. В полевых условиях для предварительной оценки может быть использована реакция бора с хинализирином, очень чувствительная и четкая для боратов и боросиликатов, особенно при светло-окрашенных породах, а также нейтронный анализ проб и образцов.

## МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Эффективность геохимических поисков месторождений по экзогенным ореолам зависит от решения на местности трех основных методических задач: 1) система расположенных точек опробования — характер и направление маршрутов; 2) густота опробования; 3) методика опробования — представительный горизонт, вес проб, характер обработки и т. д. — и документации. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений (1965) предусматривает общую стандартную схему решения этих вопросов. В то же время несомненно, что в каждом конкретном случае эта схема может быть видоизменена в зависимости от геохимических особенностей ожидаемых ореолов и ландшафтно-геохимических условий поисков.

**Система расположения и густота поисковой сети опробования**

Литогеохимические и биогеохимические исследования по рекомендациям инструкции должны проводиться по сети  $500 \times 50$  м (масштаб 1 : 50 000) и  $100 \times 20$  (масштаб 1 : 10 000), ориентированной вкрест господствующему простираению рудоконтролирующих структур.

Во всех ли случаях этот метод дает полноценную и объективную информацию о геохимических ореолах в опоскованном районе? Вероятно не всегда, так как видимая равномерность опробования площади иногда оборачивается неравномерностью степени опробования отдельных геохимических ландшафтов и микроформ рельефа. Это относится, прежде всего, к небольшим по площади участкам ландшафта, например, геохимическим барьерам и микрозападинам, представляющим, однако, особый интерес при поисках месторождений.

Данные по ореолам рассеяния бора показывают, что они характеризуются потоковидной, вытянутой вниз по склону формой, контролируемой микрорельефом. Лишь при протяженных бороносных зонах, вытянутых вдоль склона и при условии коротких и ровных склонов ореолы имели относительно изометричную форму. Однако и здесь они были проявлены практически на всем склоне и образовали зоны наиболее высоких концентраций, приуроченные к едва заметным, не отражающимся на карте масштаба 1 : 25 000 микрозападинам.

Аналогичные особенности указываются целым рядом исследователей для других элементов. Так, Г. И. Бедровым (1957), Р. И. Дубовым (1956), В. И. Красиковым (1959), О. А. Савадской (1957),

Х. Е. Хоксом и Дж. С. Узббом (1964) приводятся примеры формирования узких вытянутых ореолов на крупных месторождениях олова, молибдена, полиметаллов. Таким образом, при проведении поисков необходимо в каждом конкретном случае оценивать условия и направления возможной миграции элементов во вторичном ореоле рассеяния, определяемые индивидуальными особенностями геохимического ландшафта.

При геохимических исследованиях пород и руд месторождений профили обычно ориентируются вкрест простирания рудных зон или потенциально-рудоносных структур, для которых это направление совпадает с направлением максимальной изменчивости их свойств. В этом же направлении и с этой же целью часто ориентируются профили опробования при литохимических поисках.

Вместе с тем, линия максимальной изменчивости в ландшафте — геохимическое сопряжение элементарных ландшафтов или направление от местных водоразделов к местным понижениям. В этом направлении происходит смещение ореолов и, в связи с этим, максимальная изменчивость по линии ореол — фон ориентирована по изогипсам рельефа. Таким образом, во многих случаях ориентировка литохимического профиля вкрест простирания перспективной зоны или структуры является случайной по отношению к направлению максимальной изменчивости ожидаемого ореола и, строго говоря, не отвечает поставленной задаче.

Высказанные соображения показывают, что в условиях горных районов, где широко проявлены смещения ореолов рассеяния и они зачастую имеют значительную протяженность, наиболее эффективной системой поисков будет система маршрутов, проходящих в направлении, пересекающем возможные пути миграции в индивидуализированном участке геохимического ландшафта. Ближе всего к этому направлению стоят маршруты по горизонталям. Этот же вывод сохраняется и для изометрических ореолов. Лишь в тех случаях, когда мы можем предположить протяженные рудоносные зоны и отсутствие смещения ореолов, рациональным является проведение маршрутов вкрест простирания структур.

Таблица 36

Некоторые параметры вторичных ореолов рассеяния бора

	Хр. Джугд- жур	Приморский край	Малый Хин- ган	Восточное Забайкалье	Чаткальский хребет	Северный Кавказ
А — ширина ореола, м	70—120	450	150	50—200	30—70	200—250
В — длина ореола (вниз по склону), м	200—650	350	300	600—800	200—250	550—600
В/А	3—6	0,8	2,0	4—10	3—8	2—3

А. П. Соловов (1959) считает, что металлометрические съемки по горизонталям рельефа неэффективны, так как на выпуклых и плоских склонах ореолы рассеяния не формируются. Этот вывод основан на анализе теоретической модели процессов поверхностной денудации элювиально-делювиальных образований под действием поверхностного стока атмосферных осадков. Рассматривая незакрепленные рыхлые элювиально-делювиальные отложения в условиях горного склона, А. П. Соловов приходит к неоспоримому для данной модели выводу об отсутствии осаждения материала на участках выпуклых и плоских склонов. Однако перенос выводов на реальные склоны, ореолы рассеяния и методику поисков, на наш взгляд, невозможен по следующим причинам:

1) механизм формирования элювиально-делювиального и почвенного покрова не укладывается в рамки упомянутой выше модели. Даже на довольно крутых выпуклых и плоских склонах современные отложения и почвы наблюдаются практически повсеместно и нет причин отделять от них ореолы рассеяния;

2) в модели А. П. Соловова ореол рассеяния формируется за счет плоскостного смыва рудных частиц и отложения их на участках замедленной денудации. Здесь совершенно не учитывается роль биогенеза, водной миграции и других факторов, приводящих к перемещению элементов во всем объеме рыхлых отложений;

3) металлометрия по профилям также не избегает опробования выпуклых и плоских склонов и в этом смысле отличается от поисков по горизонталям рельефа лишь тем, что счет эти склоны в произвольном случайном направлении;

4) данные по бору (даже по турмалиновым ореолам, имеющим существенно механическое происхождение) показывают, что в большинстве случаев ореолы рассеяния образуются на склонах всех типов.

Направление маршрута может уточняться в каждом конкретном случае в соответствии со специфическими особенностями морфологии рельефа. Ведущими являются маршруты вдоль горизонталей рельефа, сочетающиеся с маршрутами вдоль осей узких логов (по обоим их бортам) и профилями вкрест более широких логов и долин. Маршруты прокладываются через каждые 450—500 м склона, считая от водоразделов. По ходу маршрута опробование производится в среднем через 50 м. Расстояние между точками опробования может разрезаться до 75 м на ровных склонах и сгущаться до 25 м на сильно изрезанных склонах и участках сложного рельефа. По ходу маршрута обязательно опробуются все микрозападины и внутрисклоновые понижения, где наиболее вероятно проявление ореолов. Здесь рационально производить сгущение точек опробования. Средняя плотность опробования при предлагаемых параметрах поисковой сети 40 точек на 1 км<sup>2</sup>. Эта плотность при средних параметрах ореолов бора 100—200 × 300—800 м обеспечивает расстояние между маршрутами не более 0,9 длины ореола и расстояние между точками отбора проб не более 0,5 его ширины. Таким обра-

зом, каждый ореол будет выявлен не менее, чем двумя аномальными точками.

При детальном исследовании ореолов также необходимо учитывать их связь с морфологией рельефа. Однако направление профилей опробования должно быть здесь совершенно иным. Цель детальное исследование — оконтуривание ореолов и поиски их источников. В связи с этим детальные работы должны быть сосредоточены только в пределах участков, на которые приходится аномальные точки среднemasштабных поисковых работ. Профили при этих работах прокладываются в направлении, прослеживающем миграцию элемента в ореоле, т. е. вверх по рельефу или под углом  $90^\circ$  к направлению среднemasштабных поисковых профилей. Это увеличивает вероятность повторного пересечения ореола (Семенова, 1966). Такая ориентировка профилей при детальном исследовании позволяет в ряде случаев найти источник меньшим количеством профилей и более точно наметить места заложения горных выработок.

Рекомендуемая упомянутой инструкцией (1965, табл. 3) плотность поисковой сети для масштаба  $1 : 10\,000$   $100 \times (20-25)$  м. Практический опыт детальное исследование вторичных ореолов рассеяния бора показывает, что для установления положения рудной зоны и общей характеристики ее размеров часто вполне достаточна плотность  $100 \times 50$  м. Более детальное съемки нецелесообразны, так как из-за значительных смещений ореолов они практически не уточняют нижней по склону границы рудной зоны. Вместе с тем, стоимость и трудоемкость детальное опробования и анализа обычно выше стоимости шурфов, необходимых для первоначального вскрытия зоны и ее предварительной оценки по данным исследования коренных пород.

Методика полевых гидрохимических исследований детально рассмотрена в специальной работе С. Р. Крайнова (1964). Инструкцией (1965) рекомендуются к опробованию водотоки с расходом не более  $0,2$  м<sup>3</sup>/сек. Как правило, к ним относятся ручьи, протяженностью не более  $3-4$  км. Для гидрохимических ореолов бора в поверхностных водах характерен тот факт, что они часто развиваются по всей или большей части длины водотока, но после впадения в следующий водоток более низкого порядка дальше не прослеживаются. В связи с этим очень важно опробование всех, даже самых мелких притоков. Относительно протяженные водотоки опробуются через  $200-250$  м, более короткие —  $2-3$  пробами — в устьевой, средней и привершинной частях. Все известные выходы подземных и грунтовых вод также опробуются, но, к сожалению, количество их в закрытых районах, как правило, невелико.

При детальном поисках густота опробования поверхностных водотоков увеличивается до  $50$  м. Кроме того, производится отбор грунтово-почвенных вод из горных выработок (подробнее дано у С. Р. Крайнова, 1964).

Методика геохимического опробования, документации и обработки проб в основных чертах мало отличается от общепринятой и рекомендуемой инструкцией (1965).

Опробование почв проводится по представительному горизонту, которым в условиях горно-степных, степных и южно-таежных ландшафтов является гумусовый горизонт  $A_1$  или  $A_0$ , а в условиях ландшафтов широколиственных лесов и северо-таежных ландшафтов — минеральный горизонт ВС. Положение представительного горизонта в каждом районе уточняется при опытно-методических исследованиях. Вес почвенных проб должен быть не меньше, чем 250—300 г, что связано с необходимостью производства водных или соляно-кислых вытяжек для интерпретации аномалий. Пробы отбираются бороздой по всей мощности генетического горизонта почв.

Опробование растений может проводиться по представителям всех основных жизненных форм — деревьям, кустарникам, травам. Вместе с тем, для каждого района желательно, чтобы число опробуемых видов было сведено к минимуму — одному, двум, трем видам. Для каждого вида должны быть собраны фоновые пробы. Выбор опробуемого вида зависит от местных условий и общих рекомендаций здесь не может быть дано. Можно лишь отметить, что в лесных ландшафтах хорошие результаты были получены при опробовании таких широко распространенных видов, как береза плосколистная, лиственница даурская, клен мелколистный, орешник маньчжурский, рододендрон даурский, багульник болотный, кедровый стланик, береза кустарниковая. В степных ландшафтах могут опробоваться полыни. Во всех случаях эффективней и технически удобней опробование деревьев или кустарников. Отбор пробы производится по периметру растения на постоянной для каждого вида высоте от земли. Для древесных и кустарниковых видов в пробу отбираются ветви с листьями по возможности одинаковой толщины. При опробовании трав отбирается целиком надземная часть. Корни желательно не брать, так как при их отборе вносится большое и неучитываемое загрязнение за счет плохо очищающейся почвы.

Водные пробы отбираются объемом 0,5 л в полиэтиленовые флаги. Это количество обеспечивает только определение бора и фтора (Крайнов, 1964). Одновременно прямо на точке производится осаждение методом ТПИ или сульфидом кадмия для изучения других элементов-индикаторов.

Документация при опробовании должна обязательно включать краткую ландшафтную характеристику. В частности отмечаются общий тип растительности и почв, положение точки опробования в рельефе и характер микрорельефа, условия обводненности. Характеризуя опробуемый почвенный горизонт, следует отметить глубину его залегания, генетический тип, цвет, приближенный механический состав (песок, суглинок, глина). Описание почв жела-

тельно сопровождать почвенным мазком, что при камеральной обработке значительно упрощает их сравнение. При опробовании растений отмечается название вида — иногда условное или приближенное, но всегда собирается гербарий для более точного определения — и фенофазы развития: цветение, завязь, плодоношение, увядание. При опробовании вод документация сводится к краткой характеристике типа водотока или водопроявления, описанию физических свойств воды и донных отложений — ил, песок, рапа, пленки гидроокислов железа, торф и т. д.

Обработка почвенных проб производится путем их ситования. На анализы направляется фракция — 1 мм, которая, как правило, обогащена бором. Лишь в турмалиновых ореолах и непосредственно близ выходов на поверхность рудных зон других типов высокие содержания встречаются в крупнообломочных фракциях.

Обработка растительных проб производится озолением в окислительной обстановке до черной или темно-серой золы. Озоление проводится на кострах в открытых формах. Очень удобно при этом применять железные формы, используемые для выпечки хлеба, так как здесь полностью исключается возможность смешивания проб и легко следить за озолением каждой пробы. Горения проб при озолении допускать не следует. После получения черной золы пробы направляются в лабораторию, где производится их доозоление (до светло-серой или белой золы) в муфельных печах при температуре 400—500° С и окислительном режиме.

Полевые аналитические работы производятся только при гидрохимических исследованиях. При специализированных работах на бор они включают определение бора, фтора, минерализации, проведения соосаждения на точках и, выборочно, общий анализ воды. Эти анализы проводятся по общепринятым методам и подробно рассматриваются в методическом руководстве по определению микрокомпонентов в природных водах при поисках рудных месторождений (1961) и в работе А. А. Немодрук, З. К. Караловой (1964). Следует, однако, отметить, что методика определения бора в природных водах пока еще очень несовершенна и малочувствительна. Достаточно напомнить, что чувствительность определения бора 10 мкг/л при аномальных содержаниях в 15—20 мкг/л. Особенно много аналитических трудностей возникает в замутненных и окрашенных водах и в водах, богатых органикой.

Из двух наиболее распространенных методов определения бора — колориметрическое определение с кармином и фотоколориметрическое определение с кристаллическим фиолетовым — наиболее стабильные результаты дает более старый метод с кармином. Более прогрессивная методика с кристаллическим фиолетовым пока еще недоработана и, когда воды богаты органическим веществом, дает завышенные результаты. Вместе с тем, именно эта методика обладает потенциальными возможностями для повышения чувствительности и точности анализа.

## МЕТОДИКА КАМЕРАЛЬНЫХ И АНАЛИТИЧЕСКИХ РАБОТ

Общий характер обработки полевых материалов при поисках бора сохраняется таким же, что и для других элементов. Поэтому, как и при характеристике методики полевых работ, отметим лишь некоторые специфические особенности отдельных этапов камеральных и аналитических исследований.

**Аналитические работы.** Определение бора при поисках его месторождений проводится спектральным методом. Экзогенные ореолы бора отличаются невысокими коэффициентами его концентрации. В связи с этим к методике определения бора предъявляются повышенные требования по точности и воспроизводимости анализа. Особенно это важно при среднемасштабных работах, когда выделение аномалий производится по повышенным содержаниям всего в двух-трех точках отробования.

Опыт анализов в спектральной лаборатории Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ<sup>1</sup> показывает, что всем необходимым требованиям отвечает спектральное количественное определение бора на приборе ДФС-13 с просыпкой пробы на угольных безборовых электродах. Чувствительность этого анализа  $0,5 \cdot 10^{-4}\%$  для алюмосиликатных пород и почв,  $1,0 \cdot 10^{-3}\%$  для карбонатных пород и почв,  $10,0 \cdot 10^{-3}\%$  для зол растений. Ошибка воспроизводимости при содержаниях более  $1 \cdot 10^{-3}\%$  варьирует в пределах 10—20%, относительная ошибка по сравнению с химическим анализом для проб с содержаниями более 0,04% составляет не более 20—30%. Опыт работ в той же лаборатории показал, что замена довольно дорогостоящего количественного анализа приближенно-количественным опасна, так как результаты, получаемые этими двумя методами, существенно различаются (табл. 37).

Кроме того, было установлено отсутствие линейной корреляционной связи между результатами двух сравниваемых методов анализов. Таким образом, выбор метода анализа на бор может быть осуществлен только после детальной проверки возможностей лаборатории, в которой планируется вести массовые определения.

При поисках бора для изучения и определения класса водной миграции ландшафтов необходим комплекс выборочных исследований почв. Эти исследования проводятся по хорошо известным методикам и очень несложны. Они включают определение карбонатности почв, рН, степени и характера засоления. Для гумидных районов определяются рН почв и содержание  $\text{CO}_2$  карбонатов. Для аридных и субаридных районов — рН,  $\text{CO}_2$  карбонатов, минерализация водной вытяжки, качественные испытания на гипсоносность

<sup>1</sup> Данных по другим лабораториям у нас не имеется.

и соленосность. Методика всех этих исследований описана в работе Е. В. Аринушкиной (1961).

С целью интерпретации аномалий производится вытяжка из почвы (10%-ной соляной кислотой), в которой определяется бор. Одновременно должно производиться химическое определение общего содержания бора в почве, так как при расчете коэффициента распределения между кислотнoподвижной и неподвижной фазами бора сопоставление разных типов анализов приводит к большим ошибкам. При определении содержаний общего и кислотнoподвижного бора рекомендуется методика с кристаллическим фиолетовым (Немодрук, Каралова, 1964).

**Выделение и оконтуривание аномалий.** Математическая обработка данных при поисках бора специфических особенностей не имеет, и здесь можно пользоваться любой из предложенных и, в сущности, равноправных методик. Все приводимые данные основаны на схемах расчетов, изложенных в работе А. А. Беуса (Беус и др., 1965).

Выделение аномалий при поисках бора требует очень большой осторожности. Выше подчеркивались низкие коэффициенты концентрации бора в ореолах и, особенно, в ореолах, связанных с боратовой минерализацией. Следовательно, при выделении аномалий, анализируя данные поискового опробования, нельзя ограничиваться высокими уровнями значимости при расчете минимально-аномальных содержаний. Практический опыт показывает, что при поисках бора содержания, появляющиеся в условиях геохимического фона с вероятностью 25% и реже, должны рассматриваться как аномальные или, что близко, как содержания, превышающие среднефоновые на величину одного стандартного отклонения и больше.

Данные по коэффициентам концентрации бора показывают необходимость ландшафтно-геохимической оценки поисковых участков. Выделение аномалий бора в почвах и растениях возможно только при сопоставлении данных поискового опробования с однотипным в ландшафтном отношении геохимическим фоном. Так, например, охарактеризованный выше ореол проявления боратов в южно-таежном ландшафте образован в условиях кислого класса водной миграции. В связи с этим он был выделен и описан путем сопоставления с распределением бора в кислом безрудном ландшафте на

Таблица 37

Сопоставление данных количественного (1) и приближенно-количественного (2) спектрального анализа на бор по 196 пробам

Вид анализа	$\bar{x}$	$S^2, n \cdot 10^{-6}$	$F_{\text{табл.}} \%$	$F_{\text{расч.}}$	$t_{\text{табл.}} \%$	$t_{\text{расч.}}$
1	0,0030	8,77	1,00	4,82	1,96	4,85
2	0,0017	1,81				

аналогичных горных породах. Сравнение с широко распространенными в районе кальциевыми ландшафтами, очень типичными для подобных боропроявлений, приводит к резкому уменьшению площади и интенсивности ореола. Коэффициент концентрации бора в ореоле уменьшается с 2,0 до 1,2 в почвах и с 2,8 до 1,4 в растениях или в 2 раза. Площадь ореолов уменьшается в 20 раз в почвах и в 5 раз в растениях. В данном случае ореол практически не может быть выделен по результатам опробования почв и очень слабо выделяется по результатам биогеохимического опробования.

**Интерпретация и разбровка аномалий.** Задача интерпретации и разбровки аномалий возникает главным образом после проведения геохимических поисков в масштабе 1 : 50 000. В распоряжении геолога на этом этапе работ в общем случае должны быть следующие данные: а) сведения о наличии потенциально-перспективных пород и типов распространенной на изучаемой площади минерализации бора. Эти сведения собираются в ходе ревизионного обследования и опробования имеющихся обнажений и горных выработок; б) сведения о гидрогеохимических аномалиях бора; в) сведения об аномалиях «валового» бора в опробуемых горизонтах почв; г) сведения об аномалиях других микроэлементов в опробуемых горизонтах почв; д) сведения о ландшафтно-геохимической дифференциации района поисков и встречающихся здесь типах нерудных аномалий.

Участки, где наблюдается пространственное совпадение первых четырех перечисленных признаков (с учетом данных о нерудных аномалиях), естественно, являются наиболее перспективными.

В частности, наиболее уверенная интерпретация может быть дана для тех аномалий, в пределах которых имеются находки потенциально-перспективных пород — магнезиальных или известковых скарнов. Эти аномалии достаточно однозначно могут быть рекомендованы под детальные работы. В то же время в закрытых районах сведения о потенциально-перспективных породах не могут быть получены для всех аномалий. Больше того, в ряде лесных и таежных районов при проведении поисковых и методических исследований на крупных скарно-рудных полях ни в обнажениях (обычно единичных), ни в делювиальных обломках из почвенных шурфов перспективные породы не наблюдались. Таким образом, в закрытых районах видимое отсутствие потенциально-перспективных пород на площади аномалии без детального ее вскрытия не дает материалов для разбровки ее как безрудной, и требуется обязательная геохимическая интерпретация.

Общие принципы геохимической интерпретации аномалий бора были подробно нами уже изложены (ч. III, гл. I). Лишь кратко остановимся на наиболее рациональной последовательности использования этих критериев при камеральной обработке материалов.

1. Аномалии дифференцируются на следующие пять основных групп: а) аномалии бора (в почвах, водах или комплексные), сопровождающиеся потенциально-перспективными породами, б) комп-

лексные аномалии бора в почвах и водах, сопровождаемые аномалиями других элементов, в) аномалии бора в почвах, сопровождаемые аномалиями других микроэлементов и несопровождаемые аномалиями бора в водах, г) аномалии бора в почвах, несопровождаемые аномалиями бора в водах и аномалиями других микроэлементов, д) аномалии бора в водах, несопровождаемые аномалиями бора в почвах и аномалиями других микроэлементов.

2. Для каждой аномалии оценивается ее ландшафтно-геохимическая ситуация и, в частности, возможность возникновения здесь нерудной аномалии, обусловленной дифференциацией ландшафта по классам водной миграции. Принципы и методика таких исследований нами характеризовались (см. ч. II, гл. I, II).

3. Все аномалии выносятся на геологическую основу и проводится анализ закономерностей пространственного размещения каждой группы, пространственных соотношений групп и их связей с определенными геологическими структурами или типами пород. После проведения этого этапа систематизации материалов уже возможна предварительная разбраковка аномалий. В приложении к выделенным выше группам аномалий наиболее вероятны следующие варианты предварительной оценки:

группа 1 — очень перспективные аномалии, интерпретируемые как рудные и рекомендуемые для проведения детальных работ;

группа 2 — перспективные аномалии, требующие более детальной интерпретации;

группа 3 — либо может быть отбракована как нерудная, связанная с определенным видом ландшафта (например, на высокобуроносных терригенных породах), либо может быть оценена как перспективная, требующая более детальной интерпретации (при отсутствии пород, являющихся источником повышенных содержаний бора и других микроэлементов, но неперспективных для поисков собственных месторождений бора);

группа 4 — либо может быть отбракована как нерудная, связанная с определенным классом водной миграции ландшафта, характеризующимся концентрацией бора (например, кальциевым или соленосным), либо может быть оценена как перспективная, но в меньшей степени, чем группа 3, требующая более детальной интерпретации;

группа 5 — во всех случаях требует проверки правильности определения бора в водах, и если подтверждаются результаты, чаще всего требует дополнительных исследований на территории водосборного бассейна (очень часто оказывается, что не вся площадь водосборного бассейна опробована). Эта группа аномалий наиболее сложна, так как может быть обусловлена скрытыми рудными зонами, не проявляющимися при опробовании поверхности.

4. Для всех аномалий, оставшихся в числе перспективных, проводится более детальная интерпретация, заключающаяся в изучении фазового состава бора в почвах и исследовании магнитной восприимчивости почв.

Высокая магнитная восприимчивость почв достаточно однозначно интерпретирует аномалию как рудную и требующую постановки детальных исследований. Низкая или слабоконтрастная магнитная восприимчивость не позволяет дать какую-либо оценку, так как многие типы месторождений бора не сопровождаются повышенной магнитностью.

Фазовые анализы трудоемки, но являются более универсальным критерием интерпретации аномалий, особенно метод крепкокислотных вытяжек. Напомним, что для проведения фазовых исследований рекомендуются минеральные горизонты почв.

Все аномалии, для которых коэффициент распределения бора между кислотноподвижной и кислотнонеподвижной фазами почвы больше 3—5, однозначно оцениваются как перспективные и могут быть рекомендованы для более детальных исследований.

Сложнее оценка аномалий с коэффициентами распределения бора порядка 1 или значительно меньше 1.

Для аномалий группы 4, т. е. для аномалий бора в почвах, не сопровождаемых аномалиями бора в водах, и аномалиями других микроэлементов низкие коэффициенты распределения свидетельствуют об их турмалиновом или нерудном характере и позволяют довольно уверенно отбраковать такие аномалии.

Для аномалий групп 2 и 3 низкие коэффициенты распределения могут возникнуть в трех случаях: а) турмалинового или нерудного характера этих аномалий; б) турмалин-боратового и турмалин-боросиликатного характера минерализации со значительной долей турмалина в анализируемых пробах; в) значительного участия биогенных процессов при формировании аномалии и образовании труднорастворимых в кислотах органо-минеральных комплексов бора (предположительно это было встречено в южно-таежном ландшафте, рис. 24).

Для этих групп аномалий дополнительным критерием является абсолютный уровень содержания кислотнорастворимого бора в почвах. Если содержание мало — не отличается от содержания в геохимически однотипных почвах фона, то аномалия, особенно если она относится к группе 3, довольно уверенно отбраковывается как турмалиновая или нерудная. В противоположном случае аномалию отбраковать нельзя, и она должна быть рекомендована для дополнительных исследований, в комплекс которых обязательно входит биогеохимическое опробование. Естественно, что при интерпретации и разбраковке аномалий всегда должны учитываться результаты методических работ в районе, а также выводы по перспективности района на тот или иной тип борной минерализации, что позволяет разумно ограничить варианты интерпретации.

Охарактеризованные варианты интерпретации аномалии, разумеется, не исчерпывают всех возможных природных вариантов характеристик геохимических аномалий бора. Дальнейшими исследованиями они должны быть уточнены и расширены.

Существующие геолого-структурные и геохимические критерии прогнозирования эндогенных месторождений бора выделяют лишь довольно крупные регионы или районы, перспективные для поисков. В связи с этим поиски путем ревизионного опробования, применяемые сейчас в большинстве случаев, неэффективны и необходимы площадные геохимические поиски. Важнейшая задача геохимических поисков бора — выявление и интерпретация вторичных ореолов рассеяния его месторождений и, в частности, разбраковка ореолов, создаваемых потенциально-промышленной минерализацией боратов и боросиликатов, ореолов турмалина, не имеющих промышленного значения и нерудных аномалий, создаваемых гипергенной аккумуляцией рассеянного бора. Подводя итоги настоящей работы, подчеркиваем ее важнейшие тезисы, разделив их на две группы.

1. Миграция и распределение бора в корках выветривания, почвах, растениях и водах в условиях геохимического фона (безрудные ландшафты) определяется главным образом геохимическими особенностями ландшафта. Неравномерность распределения бора в ландшафтах с различным геохимическим режимом приводит к открытию при поисках нерудных аномалий бора.

Эта группа тезисов подтверждается следующими основными выводами.

1. В процессе образования нерудных кор выветривания (древних и современных) бор интенсивно выносится из любых пород в условиях гумидного климата и из магматических пород в условиях аридного климата.

2. В ландшафтах, образованных в условиях гумидного климата, интенсивность водной миграции в почвах регулируется главным образом щелочно-кислотными условиями среды и наличием ионов-осадителей бора (кальция и магния). Она резко снижена в ландшафтах с кальциевым классом водной миграции, которые в гумидных районах образуются литогенно (на участках распространения карбонатных пород), либо биогенно (в связи со способностью некоторых видов растений накапливать кальций даже на изверженных породах). Это приводит к концентрации бора в почвах ландшафтов кальциевого класса даже при условии его относительно пониженных содержаний в горных породах.

3. В субаридных и аридных районах бор наиболее интенсивно мигрирует в условиях ландшафтов с содовым и соленосным классами водной миграции. Однако это приводит здесь к его накоплению в почвах в связи с испарительной концентрацией.

4. Биологическое поглощение бора не связано прямо с содержанием общего или воднорастворимого бора в почвах. Оно обусловлено важнейшими физиологическими функциями бора в организме,

в результате чего для каждого ботанического вида устанавливается различная норма биологического поглощения в различных экологических и геохимических условиях. Биологическое поглощение бора усиливается в ландшафтах с кальциевым классом водной миграции, в ландшафтах, бедных другими микроэлементами минерального питания растений, в некоторых мерзлотных ландшафтах. Оно уменьшается в ландшафтах с кислым классом водной миграции, в ландшафтах, богатых магнием, железом и другими микроэлементами (в частности, халькофильной группы), в щелочных ландшафтах с содовым классом водной миграции.

5. Местные геохимические различия ландшафтов, определяемые их видом или классом водной миграции, обуславливают возникновение нерудных аномалий бора следующих основных типов: а) аномалии в почвах и растениях, образующиеся в ландшафтах с кальциевым классом водной миграции (характерны для гумидных районов); б) аномалии в почвах и водах, образующиеся в ландшафтах с содовым или соленосным классами водной миграции (характерны для субаридных и аридных районов); в) аномалии в почвах, связанные с повышенной «фоновой» бороносностью горных пород и, в частности, терригенных отложений лагун и соленых озер (азональны); г) аномалии в растениях, образующиеся в ландшафтах, бедных микроэлементами минерального питания (азональны); д) аномалии, возникающие в пределах геохимически однородного ландшафта в связи с изменением опробуемого горизонта почв или вида растения.

Контрастности нерудных аномалий 1,5—10,0 и не ниже, чем у рудных аномалий.

II. Вторичные ореолы рассеяния эндогенных месторождений бора образуются в результате взаимосвязанных процессов механической, водной и биогенной миграции. Свойства ореолов зависят от минералогического типа борных руд и ландшафтно-геохимических особенностей. Это приводит к различным формам проявления ореолов бора, что может служить основой для их выделения и геохимической интерпретации.

Вторая группа тезисов подтверждается следующим.

1. Интенсивность выноса бора из кор выветривания его руд определяется главным образом их минералогическим типом. На месторождениях эндогенных боратов коры выветривания формируются в любых ландшафтно-климатических зонах. Их образование сопровождается интенсивным, иногда полным, выносом бора. На месторождениях боросиликатов вынос бора наблюдается главным образом при выветривании в кислых условиях гумидного климата. На месторождениях турмалина сколько-нибудь заметного выноса бора не наблюдается даже в условиях сернокислотного выветривания в зонах окисления.

2. Ореолы рассеяния бора в почвах сопровождают все типы его месторождений. Их особенности, в частности степень связи с геохимическими условиями ландшафта, определяются только мине-

ралогическим типом руд и их устойчивостью при выветривании:

а) ореолы месторождений боратов слабоконтрастны даже в случаях богатых и крупных рудных тел. Представительные горизонты почв, морфология ореола и форма нахождения бора в почвах для этих ореолов зависит от типа ландшафта; б) ореолы датолитовых месторождений более контрастны; их особенности больше связаны с содержанием бора и размерами рудных тел; в) ореолы турмалиновых месторождений полностью механогенны и почти не связаны по своим особенностям с геохимическими характеристиками ландшафта.

3. Биогеохимические ореолы бора сопровождают только боратовую и датолитовую минерализацию. Их характеристика зависит прежде всего от геохимических особенностей ландшафта. В неблагоприятных для биологического поглощения бора условиях биогеохимические аномалии не возникают даже при условии сравнительно контрастных ореолов общего и воднорастворимого бора в почвах. В результате этого: во-первых, на месторождениях магнезиально-железистых боратов в магнезиальных скарнах биогеохимические ореолы нестабильны и часто не образуются; во-вторых, на месторождениях датолита в известковых скарнах биогеохимические аномалии всегда очень контрастны; и, в-третьих, на месторождениях турмалина биогеохимические аномалии не проявлены, а над турмалин-сульфидными телами возникают даже ореолы пониженных содержаний бора в растениях.

4. Гидрохимические ореолы бора сопровождают только месторождения боратов и боросиликатов. В поверхностных водах они образуются либо в результате непосредственного дренирования водотоком рудных зон, либо в результате дренирования подземных бороносных вод, промывающих скрываете месторождения. В последнем случае может создаться ложный эффект нерудной аномалии.

Данные по геохимии бора в условиях безрудных ландшафтов и вторичных ореолов рассеяния позволяют наметить методику геохимических поисков эндогенных месторождений бора, основные положения которых заключаются в следующем:

1) выявление ореолов наиболее вероятно в ходе маршрутов по изогипсам рельефа, которые ориентированы в направлении максимальной изменчивости по линии ореол — фон;

2) выделение аномалий должно проводиться с учетом вариации геохимического фона в местных типах геохимических ландшафтов, так как содержания бора в фоне одних ландшафтов могут быть выше, чем аномальные содержания в других. При выделении аномалий нельзя ограничиваться слишком высокими минимально-аномальными содержаниями, из-за того, что при этом могут быть пропущены слабоконтрастные ореолы наиболее интересных в промышленном отношении боратов;

3) почвенный метод опробования является наиболее представительным при поисках бора. Однако его применение обязательно требует геохимической интерпретации аномалий;

4) интерпретация аномалий бора возможна только по комплексу признаков. Во всех случаях интерпретация возможна лишь по получению позитивных результатов. Негативные результаты не дают основания для интерпретации и отбраковки. Важнейшими свойствами, отличающими минерализацию боратов и боросиликатов от минерализации турмалина и нерудных аномалий, являются: а) наличие гидрогеохимического ореола рассеяния бора; б) наличие биогеохимического ореола рассеяния бора; в) высокая интенсивность водной миграции бора в почвах; г) наличие в почвах аномалий высокой магнитной восприимчивости; д) высокий выход кислотно-подвижных форм в почвах. Наличие в почвах аномалий меди, свинца, хрома, вольфрама, бериллия, олова позволяет отделить рудные аномалии от нерудных, но не дает возможности выделить среди рудных аномалий и отбраковать неперспективный на бор турмалиновый тип;

5) при проведении поисков бора рекомендуется комплексирование различных геохимических методов, необходимость и характер которого определяется задачей геохимической интерпретации аномалий, типом минерализации бора, детальностью работ и ландшафтно-геохимическими условиями.

- Александров С. М.* Геохимические особенности вторичных изменений людовитовых руд.— *Геохимия*, 1959, № 2.
- Александров С. М.* Некоторые геохимические особенности процесса ашаритизации магнезиально-железистых боратов.— *Геохимия*, 1961, № 6.
- Александров С. М., Барсуков В. Л., Щербина В. В.* Геохимия эндогенного бора. Изд-во «Наука», 1968.
- Ариушикина Е. В.* Руководство по химическому анализу почв. Изд. МГУ, 1961.
- Баранов В. И., Барсуков В. Л.* Применение геохимических и геофизических методов при поисках и разведке борного сырья (методические основы). В сб. «Закономерности размещ. полезн. ископ.», ч. II. Изд-во АН СССР, 1959.
- Баранов И. Я., Родзянко Н. Г.* О связи датолитового оруденения с малыми интрузиями.— Изв. высш. учебн. завед. Геол. и разв. 1963, № 9.
- Барсуков В. Л.* Геохимия гипогенного бора. В сб. «Геохимические циклы». Госгеолтехиздат, 1960<sub>1</sub>.
- Барсуков В. Л.* О минералах-индикаторах бороносности скарнов.— *Геохимия*, 1960<sub>2</sub>, № 5.
- Барсуков В. Л.* Некоторые вопросы геохимии бора.— *Геохимия*, 1961, № 7.
- Барсуков В. Л.* Об источнике рудного вещества и его значение для металлогенических построений. В сб. «Генетические типы, условия образования и закономерности размещ. местор. олова и вольфрама Сев.-Зап. сектора Тихоокеанск. рудного пояса», Владивосток, 1966.
- Барсуков В. Л., Курильчикова Г. Е.* О бороносности серпентинитов.— *Геохимия*, 1957, № 5.
- Бедров Г. И.* Выступление на Первом Всесоюзном совещании по геохимическим методам поисков рудных месторождений. В кн. «Геохимические поиски рудных месторождений в СССР». Госгеолтехиздат, 1957.
- Берлин Л. Е., Перцев Н. Н.* Требования промышленности к качеству минерального сырья. Справочник для геологов, вып. 69. Бор. Госгеолтехиздат, 1961.
- Беус А. А., Григорян С. В., Ойзерман М. Т., Чолакян П. Г., Стояновский А. А.* Руководство по предварительной математической обработке геохимической информации при поисковых работах. «Недра», 1965.
- Бобко Е. В.* Содержания важнейших микроэлементов в почвах СССР и методика определения некоторых из них.— Труды Почв. ин-та, АН СССР, 1944, т. V, вып. 1.
- Борисов В. Ф., Сает Ю. Е., Шустерман Б. С.* Опыт геохимических поисков месторождений бора. В сб. «Литогеохимические поиски рудных месторождений по их гипергенным ореолом и потокам рассеяния». Алма-Ата, 1968.
- Буренков Э. К., Кузина К. И.* О значении поисковой достоверности растений-индикаторов при поисках полезных ископаемых (на примере поисков месторождений бора). Советская геология, 1965, № 8.
- Буялов Н. И., Швыряева А. М.* Комплексные методы исследований при поисках бора. В сб. Всес. заочн. политех. ин-та, вып. 13, 1956.
- Валяшко М. Г.* Некоторые черты геохимии бора. В сб. «Химия боратов». Изд-во АН Латв. ССР, 1953.
- Валяшко М. Г.* Геохимия бора. В сб. «Бор, его соединения и сплавы». Изд-во АН УССР, 1960.
- Валяшко М. Г.* Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. Изд. МГУ, 1962.
- Виноградов А. П.* Бор в почвах Союза.— Почвоведение, 1947, № 1.
- Виноградов А. П.* Закономерности распределения химических элементов в земной коре.— *Геохимия*, 1956, № 1.
- Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд-во АН СССР, 1957.

- Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры.— *Геохимия*, 1962, № 7.
- Гетлинг Р. В., Савинова Е. И. О распределении бора в породах и скарновых минералах Вадимо-Александровского даболового месторождения.— *Геохимия*, 1959, № 1.
- Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков. Госгеолтехиздат, 1957.
- Гинзбург И. И., Витовская И. В. Выветривание гранатовых, аксинитовых и термолитовых пород в засушливых районах Казахстана.— В сб. «Кора выветривания», 1956, № 2.
- Глазговская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Изд. МГУ, 1964.
- Гольдшмидт В. М., Петерс К. К геохимии бора. В сб. «Геохимия редких элементов». ГОНТИ, 1938.
- Горбов А. Ф. О процессах карбонатизации Индерских боратов.— Докл. АН СССР 1956, т. 109, № 1.
- Горбов А. Ф. Условия образования и закономерности размещения боратовых месторождений вулканогенно-осадочного типа.— Труды ВНИИГалургии, 1960, вып. 40.
- Горбов А. Ф. Основы генетической классификации боратов.— Труды ВНИИГалургии, 1960, вып. 40.
- Дубов Р. И. Результаты опытно-методических металлотрических работ в Забайкалье. В кн. «Материалы совещ. геологов Вост. Сиб. и Дальн. Востока по методике геолого-съем. и поисковых работ». Чита, 1956.
- Золотарев С. А. Леса и почвы Дальнего Востока. Сельхозиздат, 1962.
- Иванов О. П. К вопросу о миграции вещества в зоне окисления сульфидных месторождений Заполярья.— Колыма, 1966, № 12.
- Игумнов Н. Я., Саев Ю. Е. Почвенно-биогеохимические поиски бора в условиях ландшафтов широколиственных лесов.— Бюлл. научно-техн. информ. Серия: Методика съемки, поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых, § 4, ОНТИ ВИЭМС, 1968.
- Капранов С. Д. Опыт разработки гидрохимического метода поисков месторождений боросиликатов. VI конф. младш. науч. сотруд. и ст. инженеров ВСЕГИНГЕО, 1961.
- Катальмов М. В., Ковда В. А., Тюрюканов А. Н., Якушевская И. В. Значение бора в земледелии СССР. Микроэлементы в почвах Советского Союза. Изд. МГУ, 1959.
- Кожара В. Л. Некоторые особенности водной миграции химических элементов в районах многолетней мерзлоты в связи с гидрохимическими поисками.— Труды ИГЕМ АН СССР, 1963, вып. 99.
- Кожара В. Л. Литохимические и биогеохимические поиски в мерзлотных ландшафтах.— Разведка и охрана недр, 1964, № 3.
- Козин А. Н. К геохимии бора на примере хлоридных вод.— *Геохимия*, 1966, № 6.
- Крайнов С. Р. Гидрогеохимический метод поисков месторождений бора (методическое руководство). Изд-во «Недра», 1964.
- Крайнов С. Р. О возможности и условиях применения гидрохимического метода поисков в высокогорных районах (на примере Восточного Памира).— Бюлл. научно-техн. информ. МГ и ОН СССР, № 1, 1962.
- Крайнов С. Р., Капранов С. Д. Применение гидрогеохимического метода при поисках месторождений бора.— Советская геология, 1962, № 8.
- Крайнов С. Р., Капранов С. Д. Применение гидрогеохимического метода для поисков несulfидных месторождений в аридной зоне и прилегающих горных районах. В сб. «Вопросы геохимии подземных вод». ВСЕГИНГЕО, 1962.
- Красиков В. И. Рациональные поиски рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.
- Кузина К. И. Особенности биогеохимического метода поисков бора в условиях полупустынных ландшафтов.— Бюлл. научно-техн. информ. Серия: Методика съемки, поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых, № 4, ОНТИ ВИЭМС, 1968.

- Курпирянова Т. П., Лебедева Л. А., Саев Ю. Е. Поиски рудных месторождений в районе Чаткальского хребта с помощью погеечника Федченко. Материалы 5-ой науч. конф. молод. сотрудин. ИМГРЭ, 1967.
- Курман И. М. О поисковых предпосылках для некоторых типов месторождений минерального сырья.— Бюлл. науч.-техн. информ. № 4 (16). Госгеолтехиздат, 1958.
- Курман И. М., Мельницкий В. В. Борные провинции и опыт классификации месторождений борного сырья.— Труды ГИГХС, 1955, вып. 2.
- Курман И. М., Мельницкий В. В. Основные направления поисковых работ на борное сырье. В кн.: «Вопросы геологии агрономических руд», 1956.
- Лисицын А. Е. О некоторых геохимических особенностях в процессе образования известковых скарнов на Урале.— Минеральное сырье, вып. 7, 1963.
- Лисицын А. Е. Геологические особенности известково-скарновых месторождений бора.— Геол. рудн. месторождений, 1965, № 3.
- Лисицын А. Е., Малинко С. В., Орлова Е. В. Геологические особенности и поисковые критерии промышленных месторождений бора. Серия Геол. месторождений твердых полезн. ископ., вып. 2. Изд-во «Недра», 1966.
- Малинко С. В. К вопросу изоморфизма бора в пироксенах.— Геохимия, 1967, № 9.
- Малюга Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. Изд-во АН СССР, 1963.
- Мельницкий В. В. Изоморфизм бора в прените, везувиане и других силикатах и значение при поисках.— Геол. рудн. месторождений, 1966, № 4.
- Методическое руководство по определению микрокомпонентов в приторных водах при поисках рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1961.
- Микельсон Э. Э. К вопросу о поисках месторождений эндогенного бора гидрохимическим методом.— Информ. сб. ВСЕГЕИ, № 56, Л., 1962.
- Немодрок А. А., Каралова З. К. Аналитическая химия бора. Изд-во «Наука», 1964.
- Николаев В. И., Янатьева О. К., Поляков В. Д. Физико-химические характеристики районов соляных куполов Сталинградского края и Калмыкии.— Изв. АН СССР, серия хим., 1937, № 4.
- Остроумов Г. В. Нейтронный абсорбционный анализ борных руд с помощью сцинтилляционной установки РАП-2М («Нейтрон»).— Разведка и охрана недр, 1963, № 9.
- Отрощенко В. Д., Зенин М. Ф., Зарецкая А. В. К геохимии бора в некоторых палеозойских комплексах пород Тянь-Шаня.— Геохимия, 1956, № 10.
- Павлов В. А. О полиминеральных псевдоморфозах по лодвигиту. В сб. «Очерки осадочных месторождений полезных ископаемых».— Труды СОПСА АН СССР, 1958.
- Пейве Я. В. Значение микроэлементов бора, меди и кобальта в сельском хозяйстве. Изд-во АН Латв. ССР, 1952.
- Пейве Я. В. Содержание микроэлементов в почвах СССР и эффективность применения микроудобрений.— Докл. сов. почвоведов к VII межд. конгр. Изд-во АН СССР в США, 1960.
- Пейве Я. В., Риньск Г. Я. Методы быстрого определения доступных растениям микроэлементов (Cu, Zn, Mn, Co, Mo, B) в почвах.— Почвоведение, 1959, № 9.
- Перельман А. И. Размещение геохимических типов коры выветривания и континентальных отложений на территории СССР. В сб. «Кора выветривания», вып. 5. Изд-во АН СССР, 1963.
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта.— Высшая школа, 1966.
- Перельман А. И., Шарков Ю. В. Опыт выделения на территории СССР провинций и районов с различными условиями геохимических поисков. В сб. «Геохим. поиски рудн. местор.». Госгеолтехиздат, 1957.
- Поляков В. А. Сорбция миллиграммовых количеств бора из раствора осадком гидроокиси железа.— Тезисы докл. на 8-ой конф. младш. научн. сотруд. ВСЕГИНГЕО, 1962.
- Родин Л. Е., Базилиевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. Изд-во «Наука», 1965.

- Савадский О. А.* Выступление на Первом Всесоюзном совещании по геохимическим методам поисков и разведки. В кн. «Геохим. поиски рудн. месторождений в СССР». Госгеолтехиздат, 1957.
- Саен Ю. Е.* Коэффициент миграционной способности элементов и его применение для интерпретации геохимических аномалий при поисках месторождений бора. В сб. «Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов». Изд-во «Наука», 1966.
- Саен Ю. Е.* Коры выветривания магнетит-боратовых руд и поведение в них бора. В сб. «Материалы 5-ой науч. конф. мол. сотруду. ИМГРЭ. Изд. ИМГРЭ, 1967.
- Саен Ю. Е.* Ландшафтно-геохимические основы комплексных поисков эндогенных месторождений бора. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геол.-мин. наук. Изд. ИМГРЭ, 1968.
- Саен Ю. Е.* Геохимические основы комплексных поисков бора по вторичным ореолам рассеяния.— Советская геология, 1969, № 2.
- Саен Ю. Е., Лебедева Л. А.* Первичные ореолы рассеяния и генетические особенности датолитового месторождения известково-скарновой формации. Тезисы докладов III конф. по геологии и полезн. ископ. Северного Кавказа. Ессентуки, 1963.
- Саен Ю. Е., Фридман Г. А., Игумнов Н. Я., Федорова М. А.* Методические основы проведения геохимических поисков бора в условиях таежно-мерзлотных, лесных и степных ландшафтов. В сб. «Материалы к Всесою. семинару по эффективности геохим. поисков рудн. месторожд.» Изд. ИМГРЭ, 1967.
- Сафронов Н. И.* Поисковая классификация месторождений цветных и редких металлов. В кн. «Руководство по комплекс. методике поисков цвет. и редк. металлов в восточ. районах СССР».— Труды ВИТР, сб. 4. Госгеолтехиздат, 1961.
- Семенова О. Г.* Способ приближенной оценки эффективности первичных и повторных поисков. В сб. «Вопросы рудной геофизики», вып. 7. Изд-во «Недра», Л., 1966.
- Сердюченко Д. П.* Борные осадочно-метаморфические формации. В сб. «Проблемы седиментологии». Изд-во АН СССР, 1960.
- Сердюченко Д. П., Глебов А. В., Павлов В. А.* Людвиговитовая минерализация и (Fe—B—TR) парагенезис в древних платформах. Изд-во АН СССР, 1963.
- Сердюченко Д. П., Лутц Б. Г., Минеев Д. А., Кочетков О. С., Павлов В. А.* Редкие элементы в породах различных метаморфических фаций. Изд-во «Наука», 1967.
- Скок Дж.* Функции бора в растительной клетке. В сб. «Микроэлементы». ИЛ, 1962.
- Соловов А. П.* Основы теории и практики металлометрической съемки. Алма-Ата, 1959.
- Сыромятников Ф. В.* Некоторые теоретические вопросы возникновения и развития гидротермальных растворов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1955, № 3.
- Ткалич С. М.* Практическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.
- Федорова М. А.* Химический состав вод и водные ореолы рассеяния бора. В сб. 5-ой науч. конф. молод. сотруду. ИМГРЭ, 1967.
- Хардер Г.* Геохимия бора. Изд-во «Недра», 1965.
- Хокс Х. Е., Уэбб Дж. С.* Геохимические методы поисков минеральных месторождений. Изд-во «Мир», 1964.
- Черных И. Д., Ковалевская О. М., Ковалевский А. Л.* Результаты биогеохимических исследований на бор в Бурятской АССР. Тезисы докл. V Всес. совещ. по микроэлементам в сельск. хоз. и медицине, т. 1, Улан-Удэ, 1966.
- Шабьнин Л. И.* К вопросу о направлении и методах поисков эндогенных борных концентраций скарнового типа.— Бюлл. ОНТИ, 1958, № 4.
- Шабьнин Л. И.* О закономерностях размещения и условиях образования концентраций бора в эндогенных боратах скарновых месторождений.— Изв. АН СССР, серия геол., 1959, № 3.
- Шабьнин Л. И.* О контактово-метасоматических месторождениях бора в магнетитовых скарнах.— Геол. рудн. месторожд., 1961, № 3.

- Шабынин Л. И., Перцов Н. Н., Малинко С. В.* Условия нахождения и диагностические признаки борных минералов скарновых месторождений. Изд-во «Недра», 1964.
- Швыряева А. М.* О возможности применения биогеохимического метода при поисках борного сырья. В сб. «Геохим. поиски рудн. месторожд.». Госгеолтехиздат, 1957.
- Швыряева А. М., Малашкина Н. С.* Морфологические изменения и заболевания растений в борной биогеохимической провинции.— Труды Биогеохим. лабор. АН СССР, т. 11, М., 1960.
- Щербаков А. В.* Гидрогеохимические исследования при поисках и разведке подземных бороносных вод. Госгеолиздат, 1961.
- Школьник М. Я.* Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии. Изд-во АН СССР, 1950.
- Школьник М. Я., Стеклова М. М., Соловьева Е. А.* О причинах различной степени необходимости бора при разных экологических условиях.— Изв. АН СССР, серия биохим., 1959, № 5.
- Яржемский Я. Я.* Минералогия и петрография калийных месторождений Индера. В сб. «Вопросы геологии агрономических руд». Изд-во АН СССР, 1956.
- Яржемский Я. Я.* Проблемы поисков борного сырья в галогенных толщах СССР.— Советская геология, 1958, № 7.
- Scharrer K., Kühn, Jüttner S.* Untersuchungen über die Bindung des Bors durch anorganische Bodenbestandteile.— Z. Pflanzenernähr Düng., Bodenkunde, 1956, Bd. 73, № 1.

Введение . . . . .	3
<b>Часть I. Геолого-геохимические ореолы прогнозирования эндогенных месторождений бора</b>	
Глава 1. Типы месторождений бора и их геологопоисковые критерии . . .	8
Краткие сведения по геохимии бора . . . . .	8
Эндогенные месторождения бора . . . . .	13
Глава 2. Геохимические особенности эндогенных месторождений бора . .	18
Геохимические критерии прогноза бороносности . . . . .	18
Первичные ореолы бора . . . . .	21
Ассоциации элементов-спутников . . . . .	26
Общая оценка возможностей использования геолого-геохимических критериев для прогноза и поисков эндогенных месторождений бора . . . . .	34
<b>Часть II. Геохимические основы поисков эндогенных месторождений бора по вторичным ореолам рассеяния</b>	
Глава 1. Влияние геохимических особенностей ландшафта на миграцию бора . . . . .	36
Бор в нерудных породах выветривания . . . . .	36
Основные факторы миграции и концентрации бора в ландшафте . . . . .	37
Глава 2. Распределение бора в ландшафтах (геохимический фон и нерудные аномалии) . . . . .	46
Глава 3. Вторичные ореолы рассеяния эндогенных месторождений бора	58
Коры выветривания месторождений бора . . . . .	58
Ореолы рассеяния бора месторождений боратов . . . . .	60
Ореолы рассеяния бора рудопроявлений боросиликатов (датолита) . . . . .	76
Ореолы рассеяния бора рудопроявлений алюмоборосиликатов (турмалина) . . . . .	83
Общие закономерности формирования вторичных ореолов рассеяния эндогенных месторождений бора . . . . .	90
<b>Часть III. Методика геохимических поисков эндогенных месторождений бора</b>	
Глава 1. Геохимические критерии поисков месторождений бора по экзогенным ореолам . . . . .	96

Глава 2. Место и роль геохимических методов в комплексе поисковых работ на бор . . . . .	106
Прогнозная оценка перспектив бороносности района и составление программы поисковых работ . . . . .	106
Геохимические поиски в масштабе 1:50 000—1:25 000 . . . . .	109
Детальные геохимические поиски и вскрытие аномалий . . . . .	112
Глава 3. Методика полевых работ . . . . .	114
Система расположения и густота поисковой сети опробования . . . . .	114
Геохимическое опробование, документация и обработка проб . . . . .	118
Глава 4. Методика камеральных и аналитических работ . . . . .	120
Заключение . . . . .	125
Литература . . . . .	129

Ю. Е. Саев, Н. Я. Игумнов,  
Н. И. Несвижская

**Геохимические поиски эндогенных месторождений бора  
по вторичным ореолам рассеяния**

*Утверждено к печати  
институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов*

Редактор Издательства Т. Б. Гришина  
Художественный редактор С. А. Литвак  
Художник Э. Л. Эрман  
Технический редактор Л. И. Куприянова

Сдано в набор 6/III 1973 г. Подписано к печати 30/VIII 1973 г.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Усл. печ. л. 8,76. Уч.-изд. л. 9,2. Тираж 850 экз.  
Т-09823. Бумага № 2. Тип. зак. 2976. Цена 92 коп.

Издательство «Наука»,  
103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., д. 21  
Отдел научной информации НИИ труда  
Чеховский полиграфический комбинат «Союзполиграфпрома»  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли  
при Государственном комитете Совета Министров СССР  
г. Чехов, Московской области  
Отпечатано во 2-ой типографии Издательства «Наука»,  
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

92 коп.

818

2



ИЗДАТЕЛЬСТВО · НАУКА ·