

РЕГИОНАЛЬНЫЕ
И ЛОКАЛЬНЫЕ
ЗАКОНОМЕРНОСТИ
РАЗМЕЩЕНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ВЕРМИКУЛИТА



Fe Ti Pt Cr Co Ni Cu Pb Sn W

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ВСЕГЕИ)

553.678

И. А. ЛЬВОВА, П. П. БОРОВИКОВ, И. Я. ДЯДЬКИНА

РЕГИОНАЛЬНЫЕ И ЛОКАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРМИКУЛИТА

Материалы к совещанию «Основы научного прогноза
месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых»

ВЫПУСК 12



Издательство «Недра»
Ленинградское отделение
Ленинград • 1971



768

Региональные и локальные закономерности размещения месторождений вермикулита. Львова И. А., Боровиков П. П., Дядькина И. Я. «Недра», 1971, стр. 76.

Положение месторождений вермикулита (отдельно по каждому генетическому типу) обусловлено размещением концентраций первичных магнезиально-железистых слюд, с одной стороны, и формирующихся на их основе в коре выветривания вермикулитовых руд — с другой.

Устанавливается связь провинций, содержащих месторождения первичных магнезиально-железистых слюд, с определенными геологическими структурами и региональными тектоническими нарушениями, приуроченность слюдяных концентраций к участкам пространственного совмещения пород определенного состава, зависимость масштаба промышленной слюдяной минерализации от состава и характера метаморфизма этих пород. Нахождение месторождений вермикулита в указанных провинциях определяется их связью с линейно-площадными корами выветривания сиаллитного типа, а в их пределах — с вермикулитовой или гидрослюдистой зонами (в зависимости от содержания Fe^{2+} и F в первичных слюдах и степени сохранности профиля выветривания от процессов эрозии).

Таблиц 1, иллюстраций 4, список литературы — 48 названий.

Научные редакторы Д. В. Рундквист, А. Д. Щеглов.

ВВЕДЕНИЕ

Начиная с 60-х годов XX в. в нашей стране особенно интенсивно проводятся геологоразведочные и научно-исследовательские работы, направленные на выявление и изучение месторождений вермикулита, выяснение возможностей его использования и внедрения в различные отрасли народного хозяйства.

Месторождения вермикулитовых руд представляют сложные геологические образования, обязанные своим происхождением эндогенным (исходные слюды) и экзогенным факторам. Формирование скоплений исходных слюд — флогопита и биотита — происходит в разных по условиям образования комплексах пород и в разных условиях их постмагматического изменения. Все месторождения вермикулита генетически связаны с корами выветривания слюдоносных пород.

Сложный путь формирования вермикулитовых месторождений приводит к довольно пестрому составу руд, в которых магнезиально-железистые слюды представлены разновидностями от слабогидратированного флогопита (или биотита) до типичного вермикулита. Такие руды, именуемые рудами вермикулита, характеризуются разными минералогическими особенностями, различными физико-химическими и технологическими свойствами и, следовательно, разным качеством. Эти различия в свойствах руд, определяющиеся генетическими особенностями концентраций исходных слюд, составом последних и характером их преобразований в условиях выветривания, колеблются, однако, в определенных пределах, благодаря чему качество руд для отдельных месторождений в целом можно считать относительно постоянным.

По комплексам вмещающих пород и условиям концентрации в них исходных слюд выделяются четыре генетических типа вермикулитовых месторождений. Промышленное значение имеют месторождения всех четырех типов, но наиболее крупные по запасам — месторождения первого типа в комплексах ультраосновных щелочных и четвертого — в комплексах метаморфических пород. Для первых характерно и наиболее высокое качество сырья.

В течение последних 10 лет в СССР подготовлена крупная сырьевая база в разных районах страны, удовлетворяющая как текущие, так и потенциальные запросы молодой вермикулитовой промышленности. Установлена возможность широкого использования вермикулита в различных отраслях народного хозяйства.

При изучении многочисленных месторождений вермикулита в СССР и зарубежных странах накоплен обширный геологический материал, позволяющий с достоверностью судить об особенностях их формирования, размещения и практическом значении.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРМИКУЛИТА

Особенности формирования месторождений вермикулита

Вермикулиты и вермикулит-флогопитовые (биотитовые) смешаннослойные минералы пользуются широким распространением в природе, образуются в самых различных геологических условиях и нередко дают промышленные скопления.

Как показывают наблюдения, вермикулиты всегда являются вторичными минералами, возникающими в процессе изменения магнезиально-железистых слюд. При этом из состава последних часто выносятся K, частично Fe^{3+} , в основной своей массе возникшее при окислении Fe^{2+} , и происходит привнос Mg, Ca, реже Na, сопровождающийся интенсивной гидратацией.

В большинстве месторождений исходные для вермикулита слюды появляются при метасоматическом преобразовании пироксена, амфибола, оливина, мелилита и некоторых других минералов пород, различных по своему составу и природе. В одних случаях эти породы представлены интрузивными образованиями ультраосновного и основного состава, в других — метаморфическими пара- или ортопородами, магнезиальными алюмосиликатными или карбонатными. Исключения составляют лишь скопления первичного биотита в меланократовых гнейсах и сланцах, образующиеся при региональном метаморфизме первично-осадочных отложений (Родионовское месторождение в Западном Приазовье и др., см. таблицу).

На всех месторождениях вмещающие их первичные* породы являются источником главных, а иногда и всех элементов, необходимых для образования слюд. Поэтому состав

* Под первичными нами понимаются породы, за счет которых образуются исходные для вермикулита слюды (первичные слюды).

ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРМИКУЛИТА

ТИП		I			II				III		IV		
Формации и комплексы вмещающих пород		Ультраосновная щелочная формация		Формация калиевых основных щелочных пород	Дунит-гарцбургитовая и дунит-пироксенит-габбровая формация				Комплексы алюмосиликатных и магнезиальных карбонатных пород		Гнейсово-амфиболитовые комплексы		
ГРУППА		1	2	3	1	2	3	4	1	2	1	2	3
Первичные меланократовые породы (исходные для образования магнезиально-железистых слюд)		Оливиниты, дуниты, перидотиты, пироксениты	Пироксениты	Шонкиниты, эссекситы, монзониты, пироксениты	Гарцбургиты	Гарцбургиты, дуниты, реже пироксениты	Пироксениты в ассоциации с габбро	Габбро нормальные и меланократовые	Доломиты и гибридные породы зон контактов доломитов с массивами гранитоидов	Гнейсы, сланцы (обычно магнезиальные), гранитоиды, доломиты	Меланократовые биотитовые гнейсы и сланцы	Амфиболиты стратифицированных гнейсово-амфиболитовых толщ	
Породы, с формированием которых связано преобразование меланократовых минералов в слюду		Щелочные породы (иолиит-мельтейгиты, турьиты, сиениты), генетически связанные с ультраосновными и основными породами			Кислые (и щелочные) породы, генетически не связанные с ультраосновными и основными породами				Интрузивные лейкократовые граниты и граносиениты	Аляскитовые граниты, аплиты интрузивные и зон гранитизации и мигматизации	—	Миаскиты и щелочные сиениты районов сиенитизации	Жильные образования и гранито-гнейсы зон мигматизации и гранитизации
Первичные слюды	Состав	Флогопит, железистый флогопит	Железистый флогопит, биотит	Биотит	Железистый флогопит, реже биотит				Флогопит		Биотит		
	Общая железистость (ft,%)	9-13, реже до 25	22-38	Нет данных	16-36	10-33, реже до 47-53	21-31	29-44	6-14	3-19	44-50, иногда до 70	50-60	37-56
	Содержание F %	0.00-0.87	0.13-0.53, иногда до 1.80	Нет данных	0.00-3.63	0.07-0.33, иногда до 2.00	0.07-0.20	0.00-0.70	0.00-0.17	0.03-6.80	0.00-0.80, иногда до 1.20	0.00-0.70	Нет данных
Характер коры выветривания	Минеральный состав верхней зоны профиля	Сунгулит, гидрохлорит, сапонит, вермикулит, каолинит	Каолинит, монтмориллонит, гидробиотит, гидрофлогопит	Монтмориллонит, гидробиотит	Сунгулит, каолинит, нонтронит, гидрофлогопит, вермикулит	Каолинит, монтмориллонит, нонтронит, вермикулит	Каолинит, монтмориллонит, вермикулит	Монтмориллонит, каолинит, нонтронит, гидробиотит	—	Гидрофлогопит, вермикулит	Каолинит, гидробиотит, вермикулит	Монтмориллонит, каолинит, гидробиотит, вермикулит	Каолинит, гидробиотит
	Минеральный состав продуктивных зон профиля	Вермикулит, гидрофлогопит	Гидрофлогопит, гидробиотит	Гидробиотит	Гидрофлогопит	Вермикулит, гидрофлогопит	Гидрофлогопит	Гидробиотит	Вермикулит, гидрофлогопит	Гидрофлогопит, вермикулит	Гидробиотит		
Содержание вермикулитовых слоев в смешаннослойных минералах, %		30-50	5-10, 30-50	Нет данных	5, 10, 20, 30, 50	Нет данных	30-50 реже 5	5-10	50	10, 20, 30-50, 50	5	5, 10, 30-50	Нет данных
Среднее содержание вермикулита и гидратированных слюд в руде %		10	7-9	8-13	40	25-30	10-15	20-25	10-15	3-10	20	25-30	2-25
Масштабы месторождений		Крупные и средние	Средние	Небольшие и средние	Небольшие	Средние	Средние	Средние	Небольшие		Средние и крупные	Крупные	Крупные и средние
Примеры месторождений		Ковдорское и др. (Кольский п-ов), Инаглинское (Алданский щит), Лулекоп, Шава, Дорова (Африка)	Кокшаровское (Приморье), Барчинское и др. (Сев. Казахстан), Либби (США)	Кулантау, Ирису и др. (Южный Казахстан)	Булдымское (Ср. Урал)	Андреевское (З. Приазовье), Караганское (Вост. Саян), Изумрудные Копи (Урал), Дей Бук, Корундумхилл и др. (США), Чатра (Индия), Иосино и др. (Япония), Капикамодзи в Ньясаленде и др. в Кении, Марокко, Египте (Африка)	Субутакское (Ю. Урал), Тайгервиль и др. (Ю. Каролина), Юнг Рива (Австралия), Гудас (Индия)	Каменные Могилы (Зап. Приазовье), Центр Техас (США)	Размановское (Вост. Саян)	Слюдянка (Прибайкалье), Стенливиль и др. (Канада), Ситарампур (Индия)	Родионовское (Зап. Приазовье), Татьяновское и др. (Приморье), Прохатице, Зруче-Сазава (ЧССР)	Потанинское (Ср. Урал)	Караганское (Вост. Саян), Семь Ключей (Ср. Урал), Манинка (Финляндия), Кинайки (Кения), С. Каролина, Джорджия, Ц. Техас (США)

этих пород должен приниматься во внимание как один из главных факторов, определяющих возможность возникновения значительных скоплений слюд. Обычно в этих породах недостаток К и Al, необходимых для образования слюд, восполняется при поступлении в них щелочных растворов. Растворы могут быть связаны либо с тем же источником, что и исходные породы, либо с более молодыми, генетически самостоятельными кислыми или щелочными интрузиями, либо с процессами гранитизации и сиенитизации.

Слюды, возникающие в ходе метасоматического преобразования магнезиальных алюмосиликатных и карбонатных пород, в зависимости от состава их также варьируют по составу и, прежде всего, по железистости. Последней в значительной мере определяются возможности практического использования как неизменных, так и гидратированных слюд. Из первичных слюд промышленное значение имеют лишь те, у которых общая железистость (fm) не превышает 15%, т. е. нормальные и маложелезистые флогопиты. Среди гидратированных слюд применение (то или иное в зависимости от железистости) находит не только вермикулит, но и гидрофлогопит и подавляющая часть гидробиотитов, образующихся за счет высокожелезистых слюд (fm до 60—70%).

Вопрос о генезисе вермикулита, бывший в первые годы изучения месторождений дискуссионным, в настоящее время большинством исследователей решается однозначно с позиций гипергенной теории. Справедливость последней подкрепляется в совокупности с экспериментальными данными такими фактами, как: 1) пространственная приуроченность месторождений вермикулита к коре выветривания; 2) смена в вертикальном разрезе снизу вверх флогопита (биотита) гидрофлогопитом (гидробиотитом), затем вермикулитом и каолинитом или сунгулитом по мере перехода от монолитных пород к выветрелым; 3) парагенетическая ассоциация вермикулита и гидрофлогопита (гидробиотита) с характерными минералами коры выветривания — каолинитом, сунгулитом, сапонитом, нонтронитом, гидрохлоритом, халцедоном, лимонитом и др.; 4) тождество состава катионов в гидратированных слюдах (межслоевых, замещающих К) и в водах зоны гипергенеза.

Возникновение концентраций вермикулита и гидрофлогопита (гидробиотита) в коре выветривания обуславливается, в первую очередь, тектоническими и климатическими условиями, обеспечивающими возможности появления и сохранения благоприятных минералого-геохимических типов кор выветривания. Не менее существенную роль играет также химический состав исходных слюд, в частности, содержание в них

Fe^{2+} и F, повышенные значения которых препятствуют полному развитию вермикулитизации. Устойчивость высокожелезистых и высокофтористых слюд к процессу вермикулитизации объясняется их структурными особенностями, которые влекут за собой недостаток групп $(OH)^-$ и, следовательно, уменьшение сил отталкивания K со стороны протонов $(OH)^-$. В высокожелезистых слюдах этот недостаток возникает при окислении Fe^{2+} в Fe^{3+} , сопровождающемся удалением из решетки соответствующего количества протонов. В высокофтористых слюдах он существует изначально в результате изоморфизма группы $(OH)^-$ с F. Этот вывод, первоначально высказанный как предположение (Bradley, Serratos, 1960), был подтвержден экспериментами по искусственной вермикулитизации слюд с разным содержанием Fe^{2+} и F (Дьяконов, Львова, 1967).

Таким образом, при изучении процессов формирования и закономерностей локализации месторождений вермикулита должны приниматься во внимание факторы, определяющие как возникновение концентраций магнезиально-железистых слюд, так и преобразование их в коре выветривания.

Классификация месторождений вермикулита

На основании систематизации материалов по изучению отечественных месторождений магнезиально-железистых слюд и обобщения опубликованных данных по известным зарубежным месторождениям составлена классификация вермикулитовых месторождений (см. таблицу). В ее основу положены два главных признака, определяющих образование этих слюд: состав и природа первичных пород и состав пород, с формированием которых связано возникновение первичных слюд.

В соответствии с указанными признаками все известные месторождения вермикулита разделены на четыре типа и ряд групп.

Месторождения первого типа генетически связаны с формациями ультраосновных щелочных пород и калиевых основных щелочных пород, в которых они приурочены к оливинитам, пироксенитам, перидотитам, мелилитовым породам, щелочным габброидам. Вмещающие породы содержат все необходимые для образования слюд компоненты, за исключением K и Al, которые привносятся щелочными растворами, имеющими общий источник с ультрабазитами и габброидами. Слюды, возникающие при метасоматическом преобразовании оливина, пироксена, амфибола, мелилита, представлены малофтористыми нормальными и железистыми флогопитами ($f_m = 11 \div 35\%$) и биотитами ($f_m = 35 \div 53\%$). Последние характерны для пироксенитов и щелочных габброидов. Среднее

содержание слюд составляет 8—12%. Таково же примерно и содержание их гидратированных разновидностей в коре выветривания — вермикулита, гидрофлогопита с 30—50%¹ вермикулитовых слоев и гидробиотита, в котором вермикулита обычно меньше 30%. Кора выветривания характеризуется каолиновым, сунгулитовым и реже монтмориллонитовым профилем. Мощность ее в участках развития площадной коры выветривания от 10 до 90 м, а линейной — от 50 до 150 м; верхние зоны (сунгулитовая, каолиновая, монтмориллонитовая и вермикулитовая) нередко бывают редуцированы в результате размыва, а гидрофлогопитовая (гидробиотитовая) зона частично размыва или представлена полностью.

Вермикулитовые месторождения первого типа обладают крупнейшими в мире запасами высококачественного сырья. Промышленная ценность их повышается вследствие комплексного характера оруденения (флогопит, апатит, железные руды, редкоземельная минерализация и др.). Подобные месторождения известны в Советском Союзе (на Кольском п-ве, Алдане, в Приморье и Казахстане), в США и Южной Африке.

Ко второму типу относятся месторождения, приуроченные к интрузивным породам ультраосновного и основного состава в ассоциации с более поздними, генетически самостоятельными щелочными или кислыми интрузиями. Первичные породы в этих случаях представлены дунитами, гарцбургитами, пироксенитами, иногда вместе с габбро, нормальными или меланократовыми, переходными к пироксенитам. В соответствии с этим слюды, образующиеся в этих породах, варьируют по составу от нормальных ($f_m = 10 \div 15\%$) до железистых флогопитов ($f_m = 16 \div 33\%$) и биотитов ($f_m = 36 \div 44\%$); последние свойственны пироксенитам и габброидам. Первичные слюды месторождений этого типа, даже нормальные флогопиты, не находят практического применения вследствие своей мелкочешуйчатости. Промышленную ценность имеют лишь концентрации гидратированных слюд в коре выветривания. Среди них широким развитием пользуются типичные вермикулиты и гидрофлогопиты с 30—50%-ным содержанием вермикулитовых слоев. Более низкая степень гидратации характерна для высокофтористых флогопитов Булдымского месторождения (F до 3,63%) и биотитов с высоким содержанием Fe^{2+} ($FeO = 13 \div 15\%$) Каменномогильского месторождения.

Среднее содержание слюд на большинстве месторождений этого типа не ниже 25—40%, но масштабы ослюденения, как правило, невелики вследствие малой мощности слюдяных тел.

Кора выветривания, развивающаяся на ультрабазитах и базитах, по составу конечного продукта выветривания яв-

ляется вермикулитовой, каолинитовой, сунгулитовой и монтмориллонитовой. Мощность ее в среднем достигает 10—30 м; из продуктивных зон обычно наиболее полно представлена гидробиотитовая или гидрофлогопитовая.

Месторождения, аналогичные перечисленным выше, составляют самую многочисленную группу вермикулитовых месторождений. Они известны в различных регионах Советского Союза (в Прибалхашье, Побужье, на Урале), в Польше, Чехословакии, Франции, США, Африке, Индии, Японии, Австралии.

К третьему типу относятся месторождения в комплексах магнезиальных алюмосиликатных и карбонатных пород. Промышленные концентрации слюд в них приурочены в одних случаях к метасоматическим диопсидовым породам (месторождения Алдана, Саян, Индии), в других — к жильным телам (месторождения Слюдянки, Памира, Канады, Мадагаскара). Диопсидовые породы локализуются на контактах алюмосиликатных и карбонатных пород, вдоль трещин, секущих эти контакты, в алюмосиликатных породах и реже в карбонатных. Образование слюды связывается с замещением ею диопсида (или диопсида и шпинели); некоторыми исследователями допускается также возникновение флогопита одновременно с диопсидом (Коржинский, 1937; Лицарев, 1961, и др.).

Месторождения жильного типа ассоциируются главным образом с алюмосиликатными породами, представленными различными гнейсами и сланцами, гранито-гнейсами, гранитами и пегматитами; реже жилы залегают в мраморах и доломитах (Памир). Слюды жильных тел образуются при кристаллизации из щелочных растворов, связанных с аляскитовыми гранитами, с заимствованием ряда элементов из вмещающих толщ.

По составу слюды в месторождениях третьего типа являются маложелезистыми и нормальными флогопитами ($im = 3 \div 19\%$), в основной своей массе высокофтористыми (до 4% F). Эти особенности состава определяют высокое качество слюд и большую промышленную ценность месторождений как флогопитовых. Вместе с тем высокая фтористость слюд препятствует их вермикулитизации, которая на большинстве месторождений (Алдана, Слюдянки, Канады, Мадагаскара, Индии) имеет незначительное развитие, на некоторых же (КНДР) не отмечается совсем. Немногочисленные и небольшие по запасам вермикулитовые месторождения этого типа известны в Канаде, Индии и Восточном Саяне, где маложелезистый флогопит ($im = 6 \div 10\%$), являющийся и малофтористым ($F = 0,0 \div 0,17\%$), подвергается полной вермикулитизации.

Месторождения четвертого типа приурочены к гнейсово-амфиболитовым или сланцевым комплексам, характеризующимся, как правило, большой пространственной протяженностью (на десятки и сотни километров по простиранию). Во всех месторождениях этого типа образование слюды, представленной биотитом, так или иначе связано с процессами регионального метаморфизма и ультраметаморфизма. В одних случаях (Родионовское месторождение в Западном Приазовье и др.) ослоденение возникает в процессе регионального метаморфизма первично-осадочных отложений, преобразующихся в меланократовые гнейсы и сланцы и являющихся носителями всех элементов, необходимых для образования биотита. В других случаях биотит появляется в результате гранитизации существенно амфиболитовых толщ (Кировское и Лесозаводское месторождения в Приморье и др.). Интенсивное ослоденение амфиболитов происходит также при сиенитизации, когда практически весь амфибол замещается биотитом (Потанинское месторождение на Среднем Урале).

Образование биотита в процессе регионального метаморфизма и ультраметаморфизма обуславливает его высокую железистость ($\text{fm} = 44 \div 60\%$, иногда 70%), препятствующую полной вермикулитизации слюд в условиях выветривания. Вследствие этого изменение обычно не доходит до образования типичных вермикулитов, ограничиваясь смешаннослойными минералами с 5, 10, реже 30 и 50% вермикулитовых слоев. Гидробиотиты с $30\text{—}50\%$ вермикулита характерны только для Потанинского месторождения, слюды которого при высокой общей железистости отличаются сравнительно невысоким содержанием Fe^{2+} .

Наибольшими запасами вермикулитового сырья, при среднем содержании гидробиотита в руде $20\text{—}30\%$, обладают Родионовское и Потанинское месторождения, расположенные в регионах с интенсивно развитой корой выветривания. По минеральному составу конечных продуктов кора выветривания является в основном гидробиотитовой и каолинитовой, в отдельных участках — вермикулитовой и монтмориллонитовой.

Приведенная выше характеристика типов месторождений вермикулита свидетельствует о многообразии и разнородности геологических факторов, обуславливающих скопления магнезиально-железистых слюд и продуктов их гидратации в коре выветривания. Это предопределяет необходимость раздельного рассмотрения и закономерностей размещения месторождений различных типов, а иногда и групп.

II. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРМИКУЛИТА

Для всех месторождений вермикулита характерна приуроченность их к корам выветривания пород, обогащенных магнезиально-железистыми слюдами. В связи с этим целесообразно начать характеристику региональных закономерностей размещения этих месторождений с рассмотрения распределения их в корях выветривания (выделив среди последних перспективные на вермикулит типы) и затем перейти к характеристике распространения первичных пород, благоприятных для формирования концентраций исходных для вермикулита магнезиально-железистых слюд.

Закономерности размещения месторождений вермикулита в корях выветривания

ТИПЫ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ, БЛАГОПРИЯТНЫХ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРМИКУЛИТА

Все месторождения вермикулита связаны с каолиновым выветриванием и приурочены к древним корам выветривания (от мезозойского до неогенового возраста) сиаллитных геохимических типов. Продукты латеритного выветривания не содержат промышленных скоплений вермикулита.

Коры выветривания сиаллитных геохимических типов образованы в результате разложения изверженных и метаморфических алюмосиликатных пород. Развитие и размещение таких кор определяется многими факторами, главными из которых являются климатические и тектонические, а также состав исходных пород. Для формирования таких кор выветривания наиболее благоприятны условия тропического и субтропического климата, характеризующегося чередованием дождливых и засушливых периодов. В умеренном климате процессы выветривания также имеют место, но не приводят к мощному корообразованию. В холодном климате выветривание практически не развивается.

Роль тектонического фактора сказывается в течение всего периода корообразовании. С одной стороны, наличие дизъюнктивных нарушений способствует более глубокому проникновению процессов выветривания, которое развивается тем интенсивнее, чем крупнее нарушения и чем шире распространены они в пределах региона. Вследствие этого в регионах с интенсивно проявленной разрывной тектоникой, кроме площадных кор выветривания, значительным развитием пользуются коры выветривания линейного или трещинного типа.

Такие регионы представляются более благоприятными для формирования и, следовательно, поисков месторождений вермикулита. С другой стороны, тектоническая активность в период корообразования, выражающаяся в резких поднятиях и соответствующем расчленении рельефа, способствует развитию эрозии и денудации и препятствует накоплению и сохранению продуктов выветривания. Наиболее мощные коры формируются при относительно спокойном тектоническом режиме на приподнятых и несколько расчлененных пенепленах, когда создаются условия для преимущественного выноса щелочей, железа, часто магния и накопления Al_2O_3 и SiO_2 .

При длительно развивающемся выветривании на исходных породах возникает профиль, характеризующийся зональным строением, отражающим последовательные стадии их физического и химического выветривания. По мере перехода от неизменных к выветрелым породам выделяются следующие зоны (как в вертикальном разрезе, так и в плане, около тектонических нарушений): дезинтеграции, гидрофлогопитовая (гидробиотитовая), вермикулитовая и каолининовая (или сунгулитовая).

Зона дезинтеграции — продукт преимущественно физического выветривания, представлена крупнощебенчатым материалом и связана постепенными переходами с подстилающими монолитными материнскими породами. Мощность ее очень непостоянна и изменяется от 1 до 200 м, чаще от 40 до 70 м.

Зона гидрофлогопитовая (гидробиотитовая), в отличие от предыдущей, является дресвянистой и песчанистой, с небольшим содержанием глинистого материала, появляющегося в результате проявленного здесь химического выветривания. Последнее выражено главным образом в начинающемся выносе из состава первичных слюд К, части Fe, окисленного до Fe^{3+} , и в привносе гидратированных катионов Ca, Mg, иногда Na. Мощность этой зоны варьирует в тех же пределах, что и первой, составляя для площадных кор в среднем 10—35 м, а для трещинных изменяясь в зависимости от интенсивности дизъюнктивных нарушений.

Зона вермикулитовая характеризуется большей, чем гидрослюдистая, степенью механической раздробленности пород и полным преобразованием слюд в вермикулит. Сущность химического выветривания слюд на стадии образования этой зоны заключается в выщелачивании оставшегося К, полном окислении Fe^{2+} и дальнейшем выносе его в форме Fe^{3+} , в привносе эквивалентных К количеств Ca, Mg и Na и интенсивной гидратации. Мощность зоны колеблется от 1 до 100 м, не превышая для площадных кор 15—25 м. Иногда эта зона в профиле отсутствует.

Зона каолинистая (или сунгулитовая) обычно является самой верхней в профиле выветривания. Она представлена существенно глинистыми породами, полностью утратившими структуру и текстуру материнских пород. Состав преобладающего в этой зоне глинистого минерала, каолинита в одном типе профиля и сунгулита в другом, определяется совокупностью двух основных факторов: составом исходных пород и режимом кислотности — щелочности среды выветривания. Каолинит $Al_2(OH)_4[Si_2O_5]$ образуется при выветривании небогатых Mg алюмосиликатных пород кислого, среднего и основного состава в условиях кислой среды ($pH = 4-7$. Афанасьев, 1966). В то же время при выветривании магниезальных алюмосиликатных пород (ультраосновных) в среде повышенной щелочности (pH около 10) вместо алюминия накапливается магний и возникает сунгулит $Mg_3(OH)_4[Si_2O_5]$.

Мощность верхней зоны профиля самая различная. Для сунгулитовой, например, она иногда достигает 150 м, когда сунгулит проникает на всю глубину зоны разлома (Терновой и др., 1969). В других случаях верхняя зона в профиле отсутствует.

Приведенные данные позволяют кратко сформулировать признаки, благоприятные для нахождения промышленных скоплений вермикулитовых руд. Прежде всего, следует исключить из рассмотрения как не имеющие месторождений вермикулита латеритные коры выветривания, в составе которых продукты выветривания алюмосиликатов представлены гидроксидами Al и Fe. В составе снелитных кор выветривания, формирующихся на обогащенных слюдами алюмосиликатных породах, основное внимание должно быть обращено на средние зоны профиля — гидрослюдистую и вермикулитовую. В этих зонах химическое выветривание выражается в процессах окисления, гидратации первичных минералов и выносе из слюд в основном щелочей и железа и не доходит до разложения алюмосиликатов на окислы и гидроокислы. Среди широко развитых снелитных кор выветривания бесперспективными на вермикулит, следовательно, являются те, в которых основную часть профиля составляют каолинистая и сунгулитовая зоны.

КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВЕРМИКУЛИТА РАЗНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ

Во всех известных слюдоносных провинциях размещение перспективных на вермикулит кор выветривания определяется, прежде всего, площадью развития материнских слюдоносных пород. Мощность продуктивных зон профиля выветривания определяется в зависимости от характера тектонической

раздробленности пород, интенсивности выветривания и степени сохранности профиля. При этом важно иметь в виду, что степень вермикулитизации слюд в процессе выветривания зависит не только от длительности эпохи его проявления, но и в значительной мере от характера железистости и фтористости.

Коры выветривания, с которыми связаны вермикулитовые месторождения первого генетического типа, формируются в наиболее благоприятных условиях (за счет тектонически раздробленных пород, содержащих малофтористые и сравнительно маложелезистые слюды). Вследствие этого они имеют значительное распространение и большую мощность*. По морфологии все они являются линейно-площадными и характеризуются полным развитием профиля выветривания. Однако в результате последующего размыва верхние зоны профиля часто уничтожаются, а средние редуцируются. Поэтому продуктивными зонами обычно являются гидрослюдистые, имеющие в площадных корах мощность от 2 до 20 м, в линейных — до 60 м. Вермикулитовая зона на большинстве месторождений присутствует в виде реликтов или не отмечается совсем. В наиболее полном виде она представлена на Ковдорском месторождении, где мощность ее в площадной коре выветривания до 60 м и в линейной до 80—100 м. По составу конечных продуктов коры выветривания на месторождениях первого типа являются преимущественно каолининовыми. Им подчинены коры с сунгулитовым профилем, формирующимся в специфических геохимических условиях. Сунгулитовые коры выветривания характерны в основном для Ковдорского и некоторых других вермикулитовых месторождений Карело-Кольской провинции (Афанасьев, 1966; Терновой и др., 1969).

Месторождения второго генетического типа приурочены преимущественно к линейным корам выветривания, развитым вдоль зон разломов, по которым происходило внедрение ультраосновных, основных, а иногда и кислых интрузий, и оперяющих их трещин. В результате масштабы развития этих кор невелики. Еще больше они ограничены для кор выветривания, формирующихся на породах, содержащих высокофтористые слюды (Булдымское месторождение, Изумрудные копи и др.), которые препятствуют интенсивному развитию выветривания и более широкому распространению его на площади. Продуктивные на вермикулит зоны в профиле выветривания являются, как и на месторождениях первого типа, преимущественно гидрофлогопитовыми, иногда в совокупно-

* Исключением является Маймечя-Котуйская флогопитовая провинция, в пределах которой коры выветривания и, следовательно, месторождения вермикулита неизвестны.

сти с вермикулитом, реже типичными вермикулитовыми (Андреевское месторождение). Мощность продуктивных зон от 2—7 до 60 м. Глинистые зоны, обычно имеющие реликтовый характер, состоят в основном из каолинита и монтмориллонита, иногда из сунгулита. Мощность их, как правило, не превышает 2 м.

Месторождения третьего генетического типа связаны с корами выветривания, сформировавшимися на алюмосиликатных и магнезиальных карбонатных породах и имеющими широкое распространение и нередко большую мощность. Однако для концентраций слюд, возникших при метасоматическом преобразовании этих пород, в большинстве случаев характерно проявление преимущественно физической стадии выветривания, выражающегося в их механической раздробленности и измельчении. Химическое выветривание с превращением слюд в типичные вермикулиты не получает развития в силу их высокой фтористости ($F = 2,00 \div 6,70\%$). Такие слюды сохраняются практически неизменными среди интенсивно выветрелых вмещающих и окружающих их пород, превращенных в различные глинистые продукты. В то же время в тех немногих случаях, когда слюды характеризуются нормальной фтористостью ($F = 1 \div 2\%$), они подвергаются интенсивному химическому выветриванию с преобразованием в типичный вермикулит (Размановское месторождение в Восточном Саяне и отдельные месторождения в существенно флогопитовых провинциях — Слюдянское, Стенливилль и Ситарампур). На породах с малофтористым флогопитом развиваются площадные коры выветривания мощностью 10—30 м и линейные, уходящие на глубину до 130—160 м.

Коры выветривания на породах гнейсово-амфиболитовых комплексов, с которыми ассоциируются вермикулитовые месторождения четвертого генетического типа, характеризуются исключительно большими масштабами развития и обычно очень высокой интенсивностью процессов химического изменения материнских пород, нередко достигающей стадии полной каолинизации. Они широко распространены на Украинском кристаллическом массиве, Урале и в других регионах. Профиль коры выветривания обычно представлен двумя основными зонами (снизу вверх): дезинтеграции и гидрослюдисто-каолинитовой или гидрослюдисто-монтмориллонитовой. Гидрослюдисто-каолинитовая зона формируется на гнейсах и сланцах кислого и среднего состава, гидрослюдисто-монтмориллонитовая — на биотит-амфиболовых гнейсах и гранитизированных амфиболитах. Каолинит в большинстве случаев является продуктом выветривания преимущественно полевых шпатов, а не слюд. Последние представлены в породах гнейсово-амфиболитовых комплексов сравнительно высокожеле-

зистыми биотитами ($\text{im} = 44 \div 70\%$, реже ниже), обладающими очень часто повышенным содержанием Fe^{2+} ($\text{FeO} = 9 \div 17\%$). Вследствие этого они с трудом поддаются явлениям вермикулитизации и дальнейшим изменениям химического состава — каолинизации. В связи с этим продуктивными на вермикулит зонами в подобных корах выветривания являются исключительно гидрослюдистые, всегда в большей или меньшей степени редуцированные в результате последующего размыва. Мощность этих зон в профиле площадной коры выветривания достигает 10—25 м, линейной — 70 м.

Таким образом, основные закономерности, определяющие размещение месторождений вермикулита в корах выветривания, сводятся к следующим:

1. Все месторождения вермикулита приурочены к линейно-площадным корам выветривания сиаллитных геохимических типов.

2. Продуктивной на вермикулит зоной в профиле выветривания является гидрослюдистая, а на месторождениях первого, второго и частично третьего типов — и собственно вермикулитовая.

3. Степень вермикулитизации слюд в корах выветривания на месторождениях различных типов при прочих равных условиях различна в зависимости от содержания в исходных слюдах F и Fe^{2+} .

4. Месторождения наиболее высококачественных вермикулитовых руд ассоциируются с корами выветривания, сформировавшимися на алюмосиликатных породах, обогащенных флогопитом (месторождения первого, второго и третьего типов) и биотитом с невысоким содержанием Fe^{2+} (Потанинское месторождение в четвертом типе).

5. Крупнейшими запасами обладают месторождения первого и четвертого типов, связанные с корами выветривания больших масштабов развития.

6. Наиболее ценными в промышленном отношении являются месторождения первого (подобные Ковдорскому, Либби, Лулекоп) и четвертого (подобные Потанинскому) типов, сочетающие большие запасы и высокое качество сырья.

Закономерности размещения концентраций первичных магнезиально-железистых слюд

МЕСТОРОЖДЕНИЯ В УЛЬТРАОСНОВНЫХ ЩЕЛОЧНЫХ И КАЛИЕВЫХ ОСНОВНЫХ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОДАХ

В данном разделе рассматриваются особенности геологического строения и закономерности размещения слюдоносных провинций, связанных с комплексами ультраосновных щелоч-

ных и калиевых основных щелочных пород, содержащих значительные концентрации первичных магнезиально-железистых слюд, за счет которых образуются месторождения вермикулитовых руд. Хотя эти комплексы и представляют собой вполне самостоятельные геологические образования, однако имеющееся сходство в геологоструктурной позиции, нередко отмечаемая пространственная, а возможно, и генетическая общность образующихся интрузивных тел обуславливают и общность закономерностей размещения связанных с ними месторождений вермикулита.

Геолого-структурная позиция главнейших вермикулитсодержащих слюдоносных провинций

С корами выветривания, развитыми в пределах массивов ультраосновных щелочных пород, связаны крупнейшие месторождения вермикулитовых руд высокого качества.

Комплекс ультраосновных щелочных пород представляет собой весьма характерную магматическую формацию платформенного типа (Шейнманн, 1961; Кухаренко и др., 1965; Гинзбург, Эпштейн, 1968). В его состав входит серия различных по петрографическому составу пород магматического и метасоматического генезиса. Наиболее ранними магматическими образованиями являются породы ультраосновного состава (оливиниты, дуниты, пироксениты), более поздними — щелочные разновидности (якупирангиты, мельтейгиты, ийолиты, эссекситы, сиениты, шонкиниты и др.), а также породы дайковой серии преимущественно щелочно состава.

С формированием щелочных пород связано широкое развитие метасоматических процессов — нефелинизации, мелилитизации, образования оливин-пироксен-флогопитовых пород, карбонатизации. В пределах экзоконтактных ореолов интрузий повсеместно устанавливаются явления фенитизации.

Провинции ультраосновных щелочных пород известны во многих районах земного шара, в настоящее время их около 20. Однако промышленная вермикулитовая минерализация получила распространение лишь в пределах некоторых из них (рис. 1).

Основные концентрации первичных железо-магнезиальных слюд сосредоточены в зонах распространения метасоматических, главным образом оливин-пироксен-флогопитовых, пироксен-флогопитовых, флогопит-мелилитовых пород. Промышленные скопления маложелезистого флогопита устанавливаются в пределах метасоматических тел, развивающихся за счет ультраосновных пород — оливинитов, дунитов, пирок-

сенитов. В противоположность этому, высокожелезистые разновидности первичных слюд (железистый флогопит и биотит) формируются в результате метасоматического преобразования пород щелочного ряда — ийолитов, мельтейгитов и пр. Поскольку вермикулитизации могут подвергаться слюды переменного состава (ряда флогопит — биотит), то в пределах

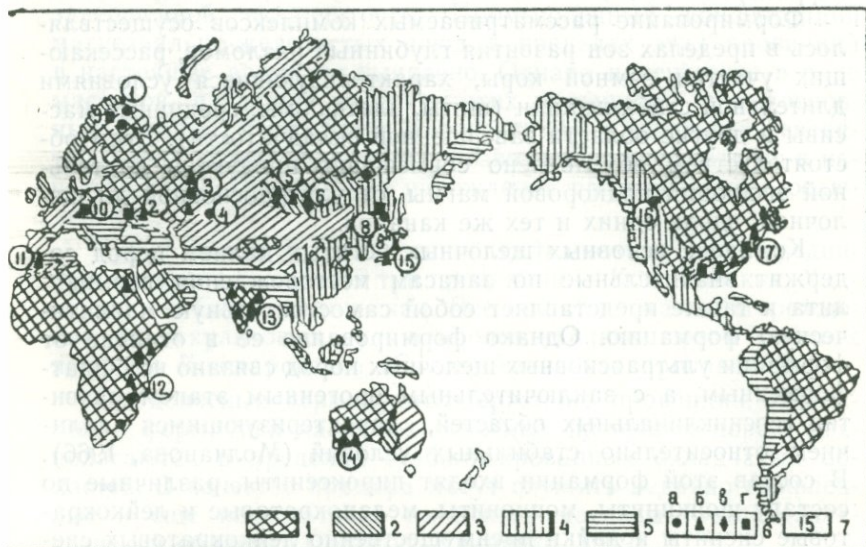
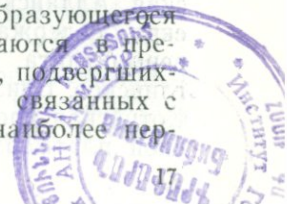


Рис. 1. Размещение вермикулитовых месторождений (на тектонической основе В. В. Белоусова).

1 — платформенные образования; 2 — каледониды; 3 — герциниды; 4 — мезозониды; 5 — альпиды; 6 — вермикулитовые месторождения: а — в комплексах ультраосновных щелочных и основных щелочных пород; б — в ультраосновных и основных породах, ассоциирующих с более молодыми кислыми (или щелочными породами); в — в комплексах алюмосиликатных и магнезиальных карбонатных пород; г — в гнейсово-амфиболитовых комплексах; 7 — вермикулитовые провинции (цифры в кружках): 1 — Карело-Кольская; 2 — Западно-Приазовская; 3 — Уральская; 4 — Казахская; 5 — Восточно-Саянская; 6 — Слюдянская; 7 — Алданская; 8 — Ханкайская; 8а — Сихотэ-Алиньская; 9 — Скандинавская; 10 — Чешская; 11 — Северо-Африканская; 12 — Восточно-Африканская; 13 — Индийская; 14 — Западно-Австралийская; 15 — Японская; 16 — Западно-Американская; 17 — Восточно-Американская (Аппалачская).

массивов ультраосновных щелочных пород площади, перспективные для нахождения промышленных концентраций вермикулита, в значительной мере превышают таковые для флогопита. Наиболее крупные концентрации первичных магнезиально-железистых слюд, а следовательно, и образующегося за их счет вторичного вермикулита, устанавливаются в пределах участков развития ультраосновных пород, подвергшихся воздействию постмагматических растворов, связанных с внедрением щелочных магм. В связи с этим наиболее пер-



спективными для нахождения промышленных скоплений вермикулита являются провинции с полно проявленным рядом дифференциатов магматических пород — от ультраосновных до щелочных. В отдельных случаях значительные концентрации первичных магнезиально-железистых слюд устанавливаются среди фенитов (массивы Шава и Дорова в Восточной Африке).

Формирование рассматриваемых комплексов осуществлялось в пределах зон развития глубинных разломов, рассекающих участки земной коры, характеризующиеся условиями длительной стабилизации (щиты, платформы, срединные массивы и другие области завершённой складчатости). Этим обстоятельством обусловлено совмещение продуктов длительной эволюции подкоровой магмы, от ультраосновной до щелочной, вдоль одних и тех же каналов.

Комплекс основных щелочных богатых калием пород содержит значительные по запасам месторождения вермикулита и также представляет собой самостоятельную магматическую формацию. Однако формирование ее в отличие от формации ультраосновных щелочных пород связано не с платформенным, а с заключительным орогенным этапом развития геосинклинальных областей, характеризующимся наличием относительно стабильных условий (Молчанова, 1966). В состав этой формации входят пироксениты, различные по составу шонкиниты, монзониты, меланократовые и лейкократовые сиениты и дайки преимущественно лейкократовых сиенитов.

В отличие от пород предыдущей формации эти породы характеризуются меньшим разнообразием петрографических разновидностей, что определяется более слабой дифференциацией магмы, а также редуцированностью постмагматических метасоматических процессов.

Образование скоплений исходных для вермикулита магнезиально-железистых слюд, представленных здесь главным образом биотитом, связано с аутометасоматическим преобразованием пироксенитов и щелочных габброидов. Аутометасоматозом обусловлено сравнительно равномерное распределение слюд среди пород массивов.

Подавляющее большинство слудоносных провинций, приуроченных к комплексам ультраосновных щелочных пород, располагается на щитах. К их числу относятся Карело-Кольская, Алданская, Западно-Американская, Восточно-Африканская, содержащие крупнейшие по запасам месторождения вермикулита, такие, как Ковдорское, Либби, Лулекоп, Инглинское. Близкую структурную позицию занимает Маймеча-Котуйская провинция, находящаяся на северо-западе Сибирской платформы. Однако, несмотря на широкое развитие в

пределах этой провинции первичных магнезиально-железистых слюд, существенных проявлений вермикулита здесь не установлено в связи с почти полным отсутствием кор выветривания. Несколько в особом положении находятся Присаянская и Сетте-Дабанская провинции ультраосновных щелочных пород, приуроченные соответственно к южной и восточной пограничным зонам Сибирской платформы с областями завершенной складчатости. Промышленных концентраций магнезиально-железистых слюд в пределах этих провинций в настоящее время не выявлено. Однако присутствие в ряде массивов, входящих в состав этих провинций, ультраосновных (дуниты, перидотиты, пироксениты) и щелочных (сиениты) пород (Шейнманн, 1961), позволяет расценивать их в качестве перспективных для нахождения промышленного ослюденения.

Среди областей завершенной складчатости типа срединных массивов находятся три провинции — Кокчетавская, Ханкайская и Сихотэ-Алинская. Все они содержат месторождения вермикулитовых руд, наиболее крупным среди которых является Кокшаровское (Сихотэ-Алинская провинция).

Слюдоносные вермикулитсодержащие провинции, связанные с формацией калиевых основных щелочных пород, располагаются в пределах стабилизированных складчатых областей. В качестве примера могут служить недавно выявленные и еще недостаточно изученные массивы Южно-Казахстанской области (Поляков, Клименко, 1969).

Карело-Жильская провинция, связанная с комплексами ультраосновных щелочных руд, располагается в пределах Балтийского щита. В ее состав входит более 20 массивов ультраосновных щелочных пород, из которых наиболее крупными являются Ковдорский, Африкандский, Салланлатвинский, Вуориярвинский и Себляярский.

Все массивы приурочены к глубинным разломам, проходящим в зонах сочленения блоков различного строения. Заложение разломов осуществлялось в архее — протерозое. Впоследствии вдоль них неоднократно возобновлялись тектонические движения. Формирование массивов, согласно А. А. Кухаренко, М. П. Орловой и др. (1965), обусловлено изменением тектонического режима в древнем фундаменте в связи с позднепротерозойским, каледонским и герцинским этапами тектогенеза. Проникновению расплавов способствовали глыбовые смещения в период возрастания жесткости фундамента.

Наиболее протяженная зона разломов, представляющая собой северное окончание системы разломов, прослеживающихся из Южной Фенноскандии, проходит вдоль сочленения

Ботнического и Северо-Онежского опущенных блоков с Беломорским и Мурманским приподнятыми блоками.

Массивы, характеризующиеся присутствием значительных концентраций магнезиально-железистых слюд, и в том числе вермикулита, встречены лишь в восточной части Балтийского щита, где они образуют два пояса — Кандалакшский и Салма-Ковдорский. В пределах последнего находится крупнейшее в мире по запасам флогопита и вермикулита Ковдорское месторождение.

Для всех массивов, связанных с указанными зонами, характерно наличие полно проявленного ряда магматических пород — от ультраосновных (оливинитов, дунитов, пироксенитов) до щелочных (ийолитов, мельтейгитов, сиенитов) и широкое развитие постмагматических метасоматических процессов.

Восточно-Африканская провинция протягивается с севера на юг вдоль восточной окраины Африканского щита. В ее состав входит около 30 массивов ультраосновных щелочных пород, представляющих собой штоки, интрузии конфокального типа, жерла вулканов. Размер интрузий колеблется в широких пределах.

Интрузии вытянуты вдоль зоны сквозьструктурных глубинных Великих Африканских разломов, представляющих собой крупнейшие линейные элементы земной коры. Заложение разломов осуществлялось в докембрии; тектонические движения по ним возобновлялись на протяжении всего периода, вплоть до настоящего времени (Колотухина и др., 1964; Хаин, 1971).

По петрографическому составу породы, слагающие массивы, весьма разнородны. Подавляющее большинство массивов представлено поздними дифференциатами ультраосновной щелочной магмы — шонкинитами, ийолит-мельтейгитами, нефелиновыми и щелочными сиенитами, а также породами дайковой серии и карбонатитами.

Скопления магнезиально-железистых слюд, как и в других провинциях, встречаются главным образом в пределах массивов, характеризующихся присутствием пород как ультраосновного, так и щелочного состава. К ним относятся Шава, Дорова, Буку-Су. Однако следует отметить, что на наиболее крупном африканском месторождении этого типа — Лулекоп — ультраосновные породы встречаются в ничтожном количестве. Наибольшим распространением здесь пользуются шонкиниты, ийолиты, мельтейгиты, сиениты, в пределах которых и сосредоточена вся слюдная минерализация.

Слюды рассматриваемой провинции представлены главным образом высокожелезистым флогопитом и биотитом, интенсивно гидратированными в зонах развития кор выветривания.

Западно-Американская провинция находится в пределах западной окраины Канадского щита. Размещение интрузий ультраосновных и щелочных пород контролируется серией глубинных разломов меридионального простирания, рассекающих породы серии белт позднепротерозойского возраста. Активность движений вдоль разломов отмечалась с конца протерозоя до силура включительно.

Интрузия Либби, к которой приурочено одно из крупнейших месторождений вермикулита, имеет линзообразную форму и вытянута вдоль разлома меридионального направления. Месторождение приурочено к авгитовым пироксенитам, прорванным щелочными сиенитами. Широким развитием здесь пользуются также дайки пород щелочного состава.

Кокчетавская провинция является типичным представителем провинций, залегающих в пределах разломов, приуроченных к срединным массивам. Она представлена серией линейных тел, связанных с субширотным глубинным разломом, прослеживающимся в северной части Кокчетавской глыбы. Разлом проходит в пределах пограничной зоны и приурочен к контакту кристаллических пород архейского фундамента с гнейсово-сланцевой свитой верхнего протерозоя. В состав массивов входят как ультраосновные, так и щелочные породы: пироксениты, шонкиниты, дайки щелочных и нефелиновых сиенитов, жилы карбонатитов. Промышленные концентрации вермикулита связаны главным образом с пироксенитами (Ефимов и Косинцева, 1968).

Южно-Казахстанская провинция располагается в западной части Срединного Тянь-Шаня. Богатые калием щелочные габброиды верхнепалеозойского возраста образуют мелкие штоки (Ирису, Жиланды, Каинды, Кулан и др.). Штоки приурочены к субмеридиональным тектоническим нарушениям, секущим герцинские складчатые структуры, или к местам пересечения этих нарушений с субширотными разломами типа надвигов (Молчанова, 1966). Вся эта тектоническая зона представляет собой северо-западное продолжение Главной структурной линии Тянь-Шаня с оперяющими его разломами. Главная структурная линия Тянь-Шаня, заложившаяся одновременно с нижнепалеозойской складчатостью, разделила Северный и Срединный Тянь-Шань. Последний существовал как миогеосинклиналь герцинской геосинклинальной системы (Южно-Тяньшаньской) до нижнего—верхнего карбона, когда началось его поднятие, сопровождавшееся возникновением глубинных разломов, продолживших Главную структурную линию Тянь-Шаня. Поступавшая по этим разломам магма дала наземные излияния щелочных базальтоидов и гипабиссальные штокообразные тела щелочных габброидов и сиенитов.

Роль тектоники в размещении слюдоносных провинций

Главным условием, определяющим возможность нахождения интрузий ультраосновного щелочного состава, является сочетание глубинных разломов с участками длительной стабилизации земной коры, при котором имеет место совмещение всех продуктов эволюции магмы от ультраосновных до щелочных вдоль одних и тех же каналов.

По данным многочисленных геофизических исследований (сейсмозондирование и другие методы), такие расколы имеют значительную протяженность не только по простиранию, но и по падению, местами достигая границы Мохоровичича и уходя далее в мантию (Шатский, 1946).

На основании имеющихся данных (Шейнманн, 1961; Кухаренко и др., 1967) могут быть выделены следующие основные типы тектонических структур, с которыми связаны интрузии ультраосновных щелочных и щелочных основных пород:

а) долгоживущие сквозьструктурные разломы глобального характера. К ним относятся Норвежско-Кольская зона и зона Великих Африканских разломов;

б) крупные структурные швы, проходящие в пределах или в зонах раздела консолидированных областей (обычно платформ и щитов) и их складчатых обрамлений. Разломы этого типа известны на северо-западе и юге Сибирской платформы (Маймеча-Котуйская и Присаянская провинции), юго-восточной окраине Алданского щита (Алданская провинция) и в других регионах. Такие разломы, как правило, не возникают на тех участках окраин платформы, где на них надвинуты соседние складчатые сооружения, либо присутствуют образования типа краевых прогибов;

в) расколы в кристаллическом фундаменте выступов древних консолидированных пород, разграничивающие блоки с различным глубинным строением (восточная часть Балтийского щита, Кокчетавская и другие провинции).

В отдельных случаях сквозьструктурные разломы типа линеаментов сопровождаются разломами третьего типа или переходят в них. Примером может служить северное окончание Норвежско-Кольской глубинной зоны.

Заложение, а также активизация глубинных разломов явились результатом реакции блоков на орогенические движения в соседних складчатых областях (Шейнманн, 1961). Установлена, например, связь ультраосновных щелочных интрузий Карело-Кольской провинции с каледонидами Фенноскандии.

Интрузии рассматриваемого типа обычно находятся в узлах, располагающихся на пересечении глубинных разломов с оперяющими их поперечными разломами второго порядка.

Особенно отчетливо эта связь видна на примере массивов ультраосновных щелочных пород Балтийского щита.

Провинции, приуроченные к калиевым основным щелочным породам, так же как и провинции, расположенные в комплексах ультраосновных щелочных пород, связаны с зонами глубинных разломов, пересекающих стабилизированные участки земной коры. Отличие заключается в том, что разломы, вмещающие эти интрузии, имеют более локальный характер, а внедрение интрузий осуществлялось в ранние этапы консолидации складчатых областей.

Время формирования слюдоносных провинций

В настоящее время известны интрузии ультраосновных щелочных пород различного возраста — от докембрийских (интрузии Восточной Канады) до современных (серии вулканических конусов в Восточной Африке). Однако большинство из них, характеризующееся наиболее полным набором пород, возникло в байкальский, каледонский, герцинский и киммерийский этапы орогенеза.

Для ряда провинций характерна многократность формирования интрузивных комплексов, обусловленная реактивацией глубинных разломов. Примером служат массивы, приуроченные к зоне Восточно-Африканских разломов и имеющие возраст от докембрийского до современного.

Считается, что интервал во времени между внедрением ранних — ультраосновных и поздних — щелочных пород составляет в среднем около 100 млн. лет (Орлова и др., 1971). Однако, согласно данным А. М. Корчагина (1967), он может достигать большей величины. Так, в Инаглинском массиве Алданской провинции дуниты и перидотиты имеют докембрийский возраст, в то время как внедрение щелочных пород здесь относится к юрскому периоду.

В результате сопоставления геологического строения различных по возрасту интрузий ультраосновных щелочных пород, проведенного на основании анализа литературных данных (Кухаренко и др., 1965; Шейнманн, 1965), выявляется следующая тенденция. Присутствие пород полного эволюционного ряда — от ультраосновных до щелочных, а также карбонатитов наиболее характерно для интрузий относительно древнего возраста (Карело-Кольская провинция — девон; Маймеча-Котуйская — триас). Интрузии более молодого возраста, как правило, характеризуются присутствием главным образом поздних щелочных дифференциатов магмы, карбонатитов и пород дайковой серии (отдельные тела Восточно-Африканской провинции, имеющие палеогеновый и неогено-

вый возраст). Однако состав пород, выходящих на поверхность, не определяет полностью характер геологического строения интрузий и в значительной степени зависит от уровня эрозионного среза (Кухаренко и др., 1966).

О времени формирования слюдоносных провинций, располагающихся в комплексах калиевых основных щелочных пород, имеются лишь отрывочные сведения. Согласно радиометрическим определениям, выполненным К-Аг методом, возраст этих образований в Южно-Казахстанской провинции составляет 283—253 млн. лет (Молчанова, 1966).

Итак, основные закономерности размещения рассматриваемых слюдоносных провинций и приуроченных к ним концентраций магнезиально-железистых слюд могут быть сформулированы следующим образом.

1. Провинции, связанные с комплексами ультраосновных щелочных пород, располагаются в пределах глубинных разломов типа линеаментов, пересекающих участки земной коры, характеризующиеся условиями длительной стабилизации (щиты, платформы, преимущественно их пограничные зоны с более молодыми складчатыми областями, и срединные массивы).

Положение отдельных интрузивных тел чаще всего определяется приуроченностью к участкам сочленения зон глубинных разломов с поперечными разломами второго порядка.

Наиболее значительные концентрации первичных магнезиально-железистых слюд устанавливаются в пределах интрузий с полнопроявленным эволюционным рядом от ультраосновных до щелочных.

2. Положение провинций, приуроченных к комплексам калиевых основных щелочных пород, определяется локализацией их в зонах нарушений, оперяющих глубинные разломы, которые проходят в пределах консолидированных складчатых областей. В отличие от линеаментов эти разломы имеют значительно меньшие масштабы как по простиранию, так и по падению.

3. Формирование наиболее крупных концентраций первичных магнезиально-железистых слюд в провинциях обоих типов происходило главным образом в палеозое и мезозое.

4. Вермикулитовая минерализация возникла в пределах развития древних кор выветривания сиаллитных геохимических типов как за счет маложелезистого флогопита, развивающегося в процессе метасоматического преобразования ультраосновных пород (оливинитов, дунитов, перидотитов), так и за счет более железистых слюд, представляющих собой крайние члены ряда флогопит — биотит и сформированных по щелочным основным породам (габброиды), сиенитам, мельтейгитам, ийолитам и пр.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ В УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОДАХ В АССОЦИАЦИИ С БОЛЕЕ ПОЗДНИМИ ГЕНЕТИЧЕСКИ САМОСТОЯТЕЛЬНЫМИ КИСЛЫМИ (ИЛИ ЩЕЛОЧНЫМИ) ПОРОДАМИ

Месторождения и проявления вермикулита, связанные с ультраосновными и основными породами геосинклинальных этапов развития складчатых областей, пользуются широким распространением во многих регионах Советского Союза и зарубежных стран (см. рис. 1). Закономерности их размещения определяются пространственным совмещением пород, необходимых для образования исходных для вермикулита концентраций магнезиально-железистых слюд — ультраосновных или основных, с одной стороны, кислых или щелочных, с другой.

Вермикулитовые провинции и эпохи слюдообразования

Большинство вермикулитовых месторождений и проявлений Советского Союза, ассоциирующихся с гипербазитами, известно в пределах Уральской складчатой области, где они образуют провинцию, охватывающую Средний и Южный Урал. Здесь слюдоносными являются массивы гипербазитов, располагающиеся в виде меридионально вытянутых поясов, приуроченных главным образом к внутренней части герцинской эвгеосинклинальной области. По возрасту толщи, вмещающие эти массивы, докембрийско-нижнепалеозойские. Для них характерно интенсивное проявление процессов гранитизации и мигматизации и сопровождающего их гранитоидного магматизма. Из многочисленных проявлений вермикулита, известных в пределах этой области, одни отмечаются в связи с месторождениями антофиллит-асбеста (Сысертское, Савелькульское, Увильдинское, Аргазинское, Кочневские, Бугетысайское), другие — корунда (Борзовское, Каслинское), третьи — изумруда (Изумрудные копи). Большинство из этих проявлений, так же как и единственное здесь Булдымское месторождение вермикулита, обладает небольшими запасами сырья и относится к категории непромышленных.

Два месторождения вермикулита — Нижне-Баранчинское, и Субутакское — располагаются в несколько иной геологической обстановке. Они приурочены к массивам одного из западных гипербазитовых поясов (Главного Уральского или Платиноносного), который прослеживается в западном борту герцинской эвгеосинклинали. Вмещающие породы среднепалеозойского возраста характеризуются зеленокаменным изменением. В районе Нижне-Баранчинского месторождения среди них развиты интрузии сиенитов, в районе Субутакского

месторождения они прорываются нормальными плагиомикроклиновыми гранитами Кацбахского массива. Нижне-Баранчинское месторождение — непромышленное, Субутакское по величине запасов относится к категории средних.

В Восточно-Саянской провинции в настоящее время известны два однотипных месторождения — Караганское и Кингашское, ассоциирующиеся с одноименными массивами гипербазитов. Массивы располагаются в пределах Канской глыбы, представляющей собой выступ фундамента Сибирской платформы, отграниченный от платформы на севере и древнекаледонской складчатой области на юге глубинными разломами. Интрузии гипербазитов образуют линейные залежи в ядрах и на крыльях синклиналей, согласные с вмещающими их породами протерозойского возраста. Последние представлены гранитизированными и мигматизированными сланцами, гнейсами и амфиболитами. В районе месторождений широко развиты аплиты, пегматиты и кварцевые жилы, связанные с гранитоидами палеозойского комплекса. По промышленному значению оба месторождения относятся к категории средних. Помимо мелких массивов ультраосновных пород, подобных Караганскому и Кингашскому, в Восточном Саяне известно свыше 80 таких же и более крупных тел. С точки зрения вермикулитовой минерализации эти массивы не изучались.

Западно-Приазовская провинция включает в себя гипербазитовые и базитовые массивы в наиболее древних архейских интенсивно гранитизированных и мигматизированных вулканогенно-осадочных толщах. В настоящее время эти массивы наблюдаются преимущественно в виде ксенолитов и незначительных по размерам полос среди метаморфических пород и гранитоидов более поздних интрузивных циклов. С гипербазитами дунит-гарцбургитовой формации связано среднее по запасам Андреевское месторождение высококачественного вермикулита. К массиву меланократовых габброидов, расположенному близ штока аляскитовых гранитов протерозойского возраста, приурочено более крупное Каменномогильское месторождение гидробиотита. В пределах провинции известны и другие, более мелкие и неизученные проявления вермикулита, подобные Андреевскому (Куйбышевское и др.) и Каменномогильскому (Темрюкское).

Побужская провинция по особенностям геологического строения очень сходна с Западно-Приазовской. Здесь среди пород древней чарнокитовой формации известны многочисленные мелкие тела основных и ультраосновных пород с вермикулитом, принадлежащие, вероятно, к дунит-пироксенит-габбровой формации. Тела эти, приуроченные к синклинальным структурам, межпластовые, согласные с вмещающими

их породами, вместе с которыми они участвуют в складчатости и подвергались метаморфизму. Наиболее перспективны с точки зрения ослюденения Капитановский, Деренюхинский и Липовеньковский массивы апоперидотитовых серпентинитов, менее перспективны существенно пироксенитовые и габро-пироксенитовые Кумаровский и Крымский массивы.

По-видимому, аналогичные приазовским и побужским месторождения и проявления вермикулита могут быть выявлены в районе Приднестровья, так как ультраосновные и основные породы этих районов близки между собой по условиям образования, положению во вмещающей метаморфической толще и характеру преобразований в связи с последующими процессами ультраметаморфизма и гранитоидного магматизма.

Из зарубежных провинций месторождений вермикулита в гипербазитах геосинклинальных областей наиболее крупной является Аппалачская, протягивающаяся через юго-восточные и восточные штаты Северной Америки, от штата Джорджия на юге до Массачусетс на севере, и уходящая севернее в провинцию Квебек в Канаде. По особенностям геологического строения Аппалачская провинция, сформировавшаяся в течение каледонского и герцинского циклов развития, сходна с Уральской. Ордовикские массивы гипербазитов здесь также образуют субмеридиональные пояса, локализующиеся в зонах глубинных разломов в пределах каледонской эвгеосинклинальной области (Хаин, 1971). Для гипербазитов характерны интенсивные изменения на контактах с герцинскими пегматитами и гранитами, выражающиеся в их ослюденении. Вермикулитовые месторождения этой провинции могут быть разделены, как и на Урале, на две группы. Для одних месторождений характерен парагенезис вермикулита с корундом (Кэррол, Патрик, Франклин и др. в Виргинии; Корундум-хилл, Дей Бук, Фрэнк, Эллиджей и др. в Северной Каролине; Конли, Монтичелло, Лаурел Крик, Бетти Крик и др. в Джорджии; Дадливилл и Талбипоза в Алабаме). На других месторождениях вермикулит ассоциируется с антофиллит-асбестом (Тайгервиль, Инори, Лоуренс в Южной Каролине; Сал Маунтин и Холливуд в Джорджии). Во всех случаях, а особенно во втором, вермикулитовая минерализация из-за мелких масштабов не имеет существенного промышленного значения.

В Африке вермикулитовые месторождения известны в докембрийских гипербазитах в двух районах. Один из них располагается в юго-восточной части Африканской платформы, в пределах бывшего здесь в то время Мозамбикского подвижного пояса. Предполагается, что становление складчатой структуры этого пояса, заложившегося на архейском основании, завершилось в позднем протерозое (Хаин, 1971). С на-

чальными и ранними этапами развития геосинклинали связано внедрение мелких интрузий дунитов, пироксенитов и норитов. Складчатость сопровождалась интенсивным региональным метаморфизмом, гранитизацией, образованием гранито-гнейсовых и гранитных куполов. С конца протерозоя область существует как активизированный пояс. К гипербазитовой серии пород этого пояса приурочен ряд небольших вермикулитовых месторождений Южного Ньясаленда (Капирикамодзи) и Кении (Кинайки-хилл, Южный Китул, Илинисия, Юссассю и др.). На северном продолжении пояса известно антофиллит-вермикулитовое месторождение Хафафит в Египте.

Другим районом с вермикулитовой минерализацией является район испанского протектората в Марокко. Здесь в пределах окраинноплатформенной байкальской складчатой зоны, заложившейся на архейском складчатом фундаменте и формировавшейся как миогеосинклиналь (Хаин, 1971), выявлено сравнительно крупное месторождение вермикулита. Ослюденение прослежено в полосе метаморфизованных серпентинитов и перидотитов протяженностью около 10 км и шириной 0,5 км на глубину до 400 м.

В связи с интенсивно метаморфизованными, превращенными в сланцы гипербазитами, залегающими среди гранитизированных и мигматизированных докембрийских комплексов пород, известны небольшие вермикулитовые месторождения в Западной и Юго-Западной Австралии (Юнг Рива, Фитцджеральд Рива, Дангин), Индии (Гудас в штате Аджмир-Мервара, Багешпура, Малавангхетта, Чанханкатта и др. в штате Майсур), Японии (Удзумине и Одако в префектуре Фукусима, Вакаматсу в префектуре Тоттори), Чехословакии (Ступне и Кремзе) и ряде других европейских стран. Литература по зарубежным месторождениям вермикулита, отличающаяся неполнотой описаний, часто не позволяет составить достаточно ясное представление об их геологическом строении и положении в структурах складчатых областей. Тем не менее приведенные данные дают возможность сделать выводы относительно самых общих региональных закономерностей размещения крупных концентраций магнезиально-железистых слюд, послуживших исходными для формирования месторождений вермикулита: 1) крупные скопления магнезиально-железистых слюд в пределах многих складчатых областей, практически на всех континентах, возникли в докембрийскую и палеозойскую эпохи; 2) для формирования таких концентраций наиболее благоприятны регионы симатического типа, подобные Уральской складчатой области.

Поскольку положение слюдопроявлений в пределах таких регионов определяется взаимным расположением ультраосновных (основных) и кислых (щелочных) пород, представ-

ляется целесообразным последовательно рассмотреть типичные закономерности локализации тех и других в структурах складчатых областей и выявить зоны наиболее вероятного их совмещения.

Временная и пространственная локализация ультраосновных и основных пород в ходе развития складчатых областей

Как известно, глубинный ультраосновной и основной магматизм закономерно связан с историческим развитием геосинклиналей и проявляется, по мнению большинства исследователей, главным образом в ранние стадии их эволюции, обычно следуя за излиянием лав спилито-кератофировой формации. На земном шаре выделяется не менее шести эпох, соответствующих периодам наиболее интенсивного глубинного магматизма: докембрийская, раннепротерозойская (от синия до ордовика), среднепалеозойская (от силура до нижнего карбона), свойственная только Уралу, позднепалеозойская (каменноугольная), раннемезозойская (юрская) и мел-палеогеновая. К докембрийской эпохе относятся гипербазиты Приазовской, Побужской, Восточно-Саянской, Африканских, Индийской и Японской вермикулитовых провинций; к среднепалеозойской — Уральской и Аппалачской. Вермикулитовые месторождения, связанные с гипербазитами более молодых эпох, не известны.

Особенностью глубинного магматизма является распространение его на большие территории при сравнительно небольшом объеме внедренного материала. Становление гипербазитовых интрузий связано в одних случаях непосредственно с процессами складчатости, завершающей осадконакопление первого ритма, в большинстве других — с более поздними разрывными нарушениями, являющимися по своему характеру глубинными разломами. Тесная пространственная и генетическая связь массивов ультраосновных и ассоциирующихся с ними основных пород с глубинными разломами определяет закономерности их пространственной локализации.

Разломы могут проявляться либо во внутренних областях геосинклинали (по границам геосинклинальных прогибов и геоантиклинальных поднятий), либо по границам разновозрастных складчатых зон, либо в местах сочленения геосинклинальных и складчатых областей со срединными массивами и выступами архейского фундамента. Типичные глубинные разломы первого типа — разломы в складчатых областях, обрамляющих с юга Сибирскую платформу (Пинус и Колесник, 1966), а также протяженные на многие сотни и тысячи кило-

метров линейные разломы Урала, разделяющие структурно-формационные зоны этой складчатой области.

Разломы, проявившиеся по границам древнекаледонских и собственно каледонских зон, известны в Алтае-Саянской складчатой области. В Центральном Казахстане они разграничивают каледонские и варисские структуры.

Разломы третьего типа пользуются развитием в каледонских структурах Казахстана по границам с протерозойским Кокчетавским срединным массивом, в Восточном Саяне, где они отделяют выступ фундамента Сибирской платформы (Канскую глыбу) от древнекаледонской складчатой области. Многие из них являются разломами длительного действия, контролирующими разнообразную магматическую деятельность на всем протяжении геологической истории регионов. Ширина зон разлома достигает нескольких десятков километров, а длина — сотен и тысяч километров. Интрузии гипербазитов, приуроченные к глубинным разломам, образуют пояса, наиболее отчетливо выделяющиеся в палеозойских гипербазитах. Среди последних известно четыре планетарных пояса (пояса первого порядка): Тихоокеанский, Средиземноморско-Гималайский, Урало-Сибирский и Аппалачский. Протяженность большинства из них свыше 10 000 км. Для одних поясов характерно почти прямолинейное расположение (Аппалачский), для других — дугообразное (Тихоокеанский, Средиземноморско-Гималайский), для третьих — сочетание того и другого (Урало-Сибирский). При общей тенденции омоложения поясов от древних платформ к более молодым геосинклиналям наблюдаются и пояса с разновозрастными гипербазитами (Урал). В пределах каждого планетарного пояса выделяются гипербазитовые пояса второго порядка. В Аппалачах их три (Хаин, 1971), на Урале насчитывают до восемнадцати (Булыкин, 1969). Все они тяготеют преимущественно к внутренним частям каледонских и герцинских эвгеосинклиналей и сформировались в ранние этапы их развития — в силуре, меньше в девоне и нижнем карбоне. Исключением является Главный Уральский пояс (Платиноносный), приуроченный к разлому, разграничивающему эвгеосинклинальную и миогеосинклинальную зоны.

В провинциях с развитием докембрийских гипербазитов поясовое распределение последних и приуроченность их к глубинным разломам не всегда отчетливо выражены, что объясняется, вероятно, теми последующими изменениями, которые эти древнейшие породы и заключающие их разломы претерпели в ходе дальнейшей геологической истории регионов.

Ультраосновные и основные породы известных вермикюлитовых провинций принадлежат к дунит-гарцбургитовой и дунит-пироксенит-габбровой формациям. Среди них преобла-

дают гипербазиты первой формации, подчиненное положение занимают габброиды, встречающиеся главным образом в ассоциации с дунитами и пироксенитами и редко образующие самостоятельные массивы (например, меланократовые габбро Каменноугольского месторождения).

Таким образом, породы дунит-гарцбургитовой и дунит-пироксенит-габбровой формаций, к которым приурочены месторождения вермикулита рассматриваемого типа, являются образованиями ранних этапов развития геосинклинали. Размещение их контролируется глубинными разломами, прослеживаемыми между структурно-формационными зонами складчатых областей, а также отграничивающими складчатые области друг от друга, от срединных массивов и выступов докембрийского фундамента. Реже они располагаются в нарушениях, опережающих зоны глубинных разломов.

Временная и пространственная локализация кислых (и щелочных) пород в ходе развития складчатых областей и условия пространственного совпадения их с ультраосновными и основными породами

Ослюденение ультраосновных и основных пород наблюдается в районах развития ультраметаморфизма и гранитоидного магматизма. Последний, в отличие от глубинного ультраосновного и основного магматизма, проявляется в средние и поздние этапы развития геосинклиналей или в стадию активизации и не обнаруживает каких-либо признаков генетической связи с основной магмой. Интенсивность ослюденения находится в прямой зависимости от щелочности гранитов и связанных с ними растворов и от соотношения в них калия и натрия. Естественно в связи с этим отсутствие слюдяной минерализации в ультраосновных (основных) породах, пространственно ассоциирующихся с существенно плагиоклазовыми разновидностями гранитоидов, характеризующихся низким K/Na отношением. Последние возникают, как известно, на ранних стадиях гранитоидного магматизма или завершают предшествующую ему стадию габбро-плагиогранитных интрузий.

Явления ослюденения ультраосновных (основных) пород особенно широко распространены в районах гранитизации, занимающей обычно антиклинорные области в пределах поднятий (Приазовье, Вольты, Побужье, Средний Урал, Восточный Саян, Приморье, Чехословакия, Болгария, восточные штаты Северной Америки, Восточная Африка, Индия, Япония, Австралия). Но в этих случаях, как правило, редко возникают крупные месторождения; мощность слюдяных тел обычно измеряется первыми десятками сантиметров. С одной

стороны, это, вероятно, связано с еще достаточно большой пластичностью гнейсово-сланцевого субстрата, вмещающего тела ультраосновных (основных) пород, вследствие чего в них не возникали расколы и было затруднено проникновение растворов. С другой стороны, причина могла заключаться в сравнительно невысокой концентрации в растворах щелочей и прежде всего калия, необходимого для образования слюды. В результате интенсивность метасоматического воздействия оказывалась незначительной, и оно захватывало главным образом лишь краевые части, «скорлупу» тел ультраосновных (основных) пород.

Более широкое развитие ослюденения и более глубокая переработка пород характерны для процесса щелочного метасоматоза, проявляющегося в связи с трещинными интрузиями гранитов в местах повышенной трещиноватости, возникающей обычно в условиях жесткой среды. Наглядным примером, сочетающим оба эти варианта, является Каменноугольское месторождение, ассоциирующееся с меланократовыми габброидами архейского возраста. Эти породы в процессе регионального метаморфизма и неоднократной последующей гранитизации подверглись изменениям (рассланцеванию и особенно метасоматозу) только в периферических частях и настолько слабо, что основная масса темноцветных минералов (пироксенов и амфиболов) оказалась не затронутой биотитизацией. Более интенсивное ослюденение габброидов отмечается в центральной части массива, в участках развития повышенной трещиноватости и пегматитовых жил, связанных с близрасположенным штоком аляскитовых гранитов. Эти и подобные им граниты, как полагают, внедрились в узлах пересечения разломов, возникших в консолидированном архейском субстрате в раннем протерозое. Тогда же, вероятно, получила развитие и трещиноватость в габброидах с ориентировкой, совпадающей с направлением их более раннего рассланцевания. Другим, близким к последнему, примером является район Изумрудных копей на Урале, где наблюдается интенсивное ослюденение гипербазитов в связи с трещинными интрузиями лейкократовых микроклиновых гранитов и их жильными дериватами. Мощность слюдитовых оторочек вокруг жильных тел здесь достигает 0,5—6,0 м (Власов и Кутукова, 1960).

Таким образом, оба примера иллюстрируют связь интенсивного ослюденения гипербазитов и габброидов с трещинными интрузиями существенно калиевых гранитов. Формирование таких интрузий в одном случае относится к концу позднеорогенной стадии развития геосинклинали (Изумрудные копи), в другом — связано с относительно еще более поздней тектоно-магматической активизацией складчатой области

(Каменные Могилы). Активность и реакционная способность трещинных интрузий обусловлены, вероятно, особенностями состава поздних расплавов и тектоническими условиями становления этих интрузий. Породы, слагающие трещинные интрузии, являются, по-видимому, производными остаточных расплавов глубоких магматических очагов, для которых характерно повышенное содержание щелочей, в первую очередь калия, и летучих компонентов. В наших примерах это доказывается интенсивным развитием в гранитах процессов автометасоматоза, а также присутствием нередко обильного флюорита и высокофтористых слюд.

Внедрение остаточных кислых и щелочных расплавов, происходящее в условиях жесткой среды, сопровождается интенсивным выделением летучих компонентов как из непосредственно внедряющегося расплава, так и из глубоко расположенных магматических очагов (парагенетически связанные с расплавом растворы). При этом изменение и, в частности, ослюденение ультраосновных (основных) пород отнюдь не ограничивается непосредственной зоной контактового ореола, так как растворы благодаря развитию трещиноватости в породах имеют возможность уходить сравнительно далеко от источника. Каменномогильское месторождение, например, находится в 1,5 км от гранитного массива.

Очевидно, с растворами именно такого типа связано и ослюденение Булдымского серпентинитового массива, в пределах которого не отмечены ни гранитные, ни сиенитовые тела, ни их пегматиты, а слюдитовые жилы приурочены к серии субпараллельных тектонических нарушений. Характерно при этом, что слюды данного месторождения обладают повышенной фтористостью (до 3,63%).

Ослюденение развито также в экзоконтактных зонах крупных, преимущественно согласных (позднеорогенных), батолитических массивов нормальных плагниомикроклиновых гранитов, располагающихся, как правило, в ядрах брахиантиклинальных структур. Этот тип ослюденения по интенсивности своего проявления занимает промежуточное положение между двумя рассмотренными (например, участки ослюденения гипербазитов в восточном экзоконтакте Джабык-Карагайского массива на Южном Урале).

В отличие от слюдопроявлений в районах гранитизации, приуроченных к породам высоких ступеней метаморфизма, слюдопроявления, связанные с трещинными и батолитовыми интрузиями, могут располагаться также и среди пород, претерпевших значительно менее интенсивный метаморфизм (например, зоны ослюденения к востоку от Джабык-Карагайского и Адуйского массивов и в районе Кацбахского массива (Субутакское месторождение)).

Таким образом, основные региональные закономерности размещения месторождений вермикулита, связанных с гипербазитами и габброидами складчатых областей, сводятся к следующему.

1. Возможность формирования месторождений определяют участки пространственного совмещения относительно ранних массивов гипербазитов и габброидов с полями гранитизации или с батолитовыми и трещинными интрузиями плагиомикроклиновых и микроклиновых гранитов и щелочных пород.

2. Наиболее перспективны с точки зрения интенсивности и масштабов ослюденения зоны долгоживущих разломов, к которым часто приурочены как ранние интрузии ультраосновного и основного состава, так и поздние тела субщелочных гранитов и щелочных пород. Однако свойственная слюдам этих месторождений повышенная фтористость (до 2,00—3,63%) препятствует повсеместному развитию в них полной вермикулитизации, что снижает их промышленную ценность. Для слюд этой группы месторождений характерен парагенезис с изумрудом, минералами тантала, ниобия, олова, молибдена, лития и фтора.

3. Месторождения высококачественного вермикулитового сырья, но обладающие небольшими запасами, пользуются развитием в районах гранитизации и в экзоконтактовых ореолах массивов нормальных плагиомикроклиновых гранитов, приуроченных обычно к антиклинорным областям в пределах поднятий. В этих случаях возможность совмещения ранних и поздних интрузивных образований осуществляется главным образом при размещении первых вдоль нарушений, опережающих глубинные разломы и проникающих в области поднятий. Эта возможность повышается в районах неоднократного геосинклинального развития и интенсивной гранитизации пород предшествующих циклов. Характерными минералогическими особенностями этих месторождений и проявлений являются невысокая фтористость слюд, способствующая их полной вермикулитизации, и парагенезис их с корундом и антофиллит-асбестом.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ В КОМПЛЕКСАХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ И МАГНЕЗИАЛЬНЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

Месторождения рассматриваемого типа являются главным образом поставщиком высококачественного маложелезистого флогопита. Промышленные концентрации вермикулитовых руд для них не характерны. Последнее обстоятельство связано с повышенным содержанием в слюдах этих месторождений фтора (2—7%), что препятствует развитию процесса верми-

кулитизации (Дьяконов и Львова, 1967). Однако наличие на некоторых месторождениях или отдельных участках их слюд, лишенных фтора или содержащих его в сотых и десятых долях процента, позволяет рассматривать месторождения этого типа как потенциально перспективные на вермикулит. В настоящее время вермикулитовые месторождения известны в Восточно-Саянской (Размановское), Восточно-Американской (Стенливилль), Индийской (Ситарампур) и на отдельных рудниках Прибайкальской провинций (рудник 9, Заявка 6, пада Асямовская и др., см. рис. 1).

Геолого-структурная позиция и время формирования слюдоносных провинций

Все известные слюдоносные провинции данного типа приурочены к выходам консолидированных архейских или протерозойских пород — щитам, срединным массивам и внутригеоантиклинальным поднятиям.

подавляющее большинство флогопитоносных провинций связано со щитами. К ним относятся Алданская, Мадагаскарская, Восточно-Американская, Северо-Корейская, Индийская и Восточно-Антарктическая провинции. В пределах срединного массива известна лишь одна Памирская провинция, к внутригеоантиклинальному поднятию приурочена также одна Прибайкальская провинция.

Постоянная связь большинства провинций рассматриваемого типа с древнейшими структурными формами земной коры обусловлена, с одной стороны, возможностью развития первичных магнезиально-железистых слюд в строго определенных геологических условиях (при воздействии калиевых щелочных растворов на магнезиальные алюмосиликатные и, в меньшей степени, карбонатные породы), а с другой — наличием ряда особых черт у всех древнейших областей земного шара, отличающих их от более молодых образований (Салоп, 1968).

Для слюдоносных провинций, приуроченных к выходам блоков древних складчатых пород, характерны следующие общие особенности геологического строения:

а) широкое развитие магнезиальных (пироксен- и амфиболсодержащих), а также высокоглиноземистых (гранатобититовых, силлиманитовых) гнейсов и кристаллических сланцев, пироксеновых амфиболитов, кварцитов, мраморов, образованных в процессе глубокого метаморфизма мергелистых, песчано-глинистых и карбонатных отложений, чередующихся с прослоями вулканитов основного состава;

б) отсутствие метаморфической зональности линейного типа. Чередование широко развитых здесь пород гранулитово-

вой и более низкотемпературной амфиболитовой фаций имеет «пятнистый» характер;

в) повсеместное распространение плагиоклазовых и плагиомикроклиновых гранито-гнейсов, мигматитов, гранитизированных гнейсов. При этом среди пород гранитоидного состава наиболее характерны чарнокиты, аляскитовые граниты и гранит-пегматиты.

В пределах указанных блоков слюдоносные провинции связаны с областями сводовых поднятий, ранее представлявших собой миогеосинклинальные структурно-фациальные зоны, впоследствии прошедшие стадию консолидации.

Данные радиометрических определений (Герлинг и др., 1961; Хорева, Мурина, 1968; Рудник, Соботович, 1969; Aswathanaayaana, 1964) свидетельствуют о том, что все известные слюдоносные провинции, залегающие в пределах блоков консолидированных складчатых областей, сформировались в интервале 2500—1100 млн. лет при максимуме развития в среднепротерозойское время (2000—1800 млн. лет). По имеющимся в настоящее время данным, несколько более молодой возраст имеет флогопитовая минерализация лишь в Слюдянском районе Прибайкальской флогопитоносной провинции — 900 — 600 млн. лет (определения произведены Г. А. Муриной во ВСЕГЕИ рубидий-стронциевым методом).

Анализ данных по истории геологического развития главнейших флогопитоносных провинций мира (Масайтис, 1963; Герлинг, Варшавская, 1966; Хорева, Мурина, 1968; Рудник, Соботович, 1969; Хаин, 1971; Aswathanaayaana, 1964) показывает, что процесс образования первичных железо-магнезиальных слюд повсеместно связан с формированием гранитоидов поздних стадий развития древнейших архейских или протерозойских складчатых областей.

Особое место занимает отнесенная нами к этому типу Восточно-Саянская провинция, сформировавшаяся в иной геологической обстановке. Входящее в состав этой провинции Размановское месторождение располагается в пределах внешнего прогиба салаирской геосинклинальной системы. Прогиб выполнен нижнекембрийскими доломитами, прорванными нижнепалеозойскими аляскитовыми гранитами, принадлежащими к средним этапам развития соседней каледонской геосинклинали. Внедрение гранитного расплава в карбонатную среду сопровождалось явлениями ассимиляции и гибридизма, результатом которых явились габбровые и сиенитовые фации краевых частей массива. На контакте габбро с доломитами возникли магнезиальные скарны с флогопитом, характеризующимся невысоким содержанием фтора (0,17%) или полным его отсутствием. Вследствие этого весь флогопит в зоне

выветривания превращен в типичный вермикулит и гидрофлогопит с 50% вермикулитовых слоев.

Литологические особенности и характер метаморфизма пород

Для локализации вермикулит-флогопитовой минерализации данного типа литологический состав вмещающих пород (наряду с особенностями магматизма) является одним из главных факторов контроля.

Еще на ранних этапах изучения месторождений флогопита было обращено внимание на их постоянную связь с определенными свитами тех или иных метаморфических комплексов (Коржинский, 1937). В Алданской провинции продуктивной на флогопит является федоровская свита иенгской серии, в Прибайкалье — култукская свита хамар-дабанской серии и т. д.

Для продуктивных свит характерны существенно пироксеновые, амфибол-пироксеновые, дупироксеновые, амфиболовые, биотит-амфиболовые, биотитовые гнейсы и сланцы, а также пироксеновые амфиболиты, мраморы и кальцифиры. Породы, входящие в состав продуктивных свит, по своим минеральным парагенезисам отвечают двум фациям метаморфизма: гранулитовой и амфиболитовой. Поля развития пород гранулитовой фации обычно находятся в равном или подчиненном соотношении с полями развития пород амфиболитовой фации, однако имеются отдельные провинции, где породы гранулитовой фации практически отсутствуют (Северо-Корейская, Памирская).

При прогнозной оценке слюдоносных провинций рассматриваемого типа исключительное значение обычно придается горизонтам, содержащим магнезиальные карбонатные породы, которые рассматриваются в качестве единственно возможного источника магния, необходимого для образования флогопита (Коржинский, 1937; Лицарев, 1961; Мурзаев, 1966). Если на ранних этапах изучения месторождений считалось, что они связаны исключительно с зонами контактов алюмосиликатных и карбонатных пород, то позднее было установлено, что главная масса промышленных тел залегает непосредственно среди алюмосиликатных пород на значительном удалении от этих контактов, а зачастую и без видимой связи с последними. В то же время накопленный в последние годы в процессе разведочных и эксплуатационных работ фактический материал свидетельствует о повсеместной насыщенности продуктивных на флогопит свит магнезиальными алюмосиликатными породами — пироксеновыми, амфибол-пироксеновыми гнейсами и сланцами, пироксеновыми

амфиболитами. Именно эти породы являются вмещающими для главной массы промышленных флогопитоносных тел в Алданской, Восточно-Американской и многих других провинциях. При этом, согласно Б. М. Роненсону и Ф. М. Ройзенману (1970), основная масса промышленных флогопитовых тел в Алданском районе связана с пластами существенно диопсидовых сланцев. На тех участках продуктивных свит, где в разрезе устанавливается присутствие мощных пластов высокомагнезиальных мраморов, а пироксеносодержащие гнейсы и сланцы практически отсутствуют, флогопит не образует промышленных концентраций (районы Мало-Быстринского месторождения лазурита в Прибайкалье, Кухилалского месторождения благородной шпинели на Юго-Западном Памире и т. д.).

Закономерности связи слюдоносных зон с гранитоидным магматизмом

Магматический фактор контроля для рассматриваемого типа минерализации занимает одно из главных мест. Положение отдельных слюдоносных зон в пределах продуктивных свит строго определяется участками распространения гранитоидов (Жоржинский, 1937). При этом подавляющее большинство слюдоносных провинций мира характеризуется весьма широким развитием процессов гранитизации, анатексиса и палингенеза.

Процесс гранитообразования был многократным и направленным. Наиболее типичным является следующий ряд, выделенный В. А. Рудником (1971) для Алданского района и в то же время весьма характерный для других флогопитоносных провинций, залегающих среди выходов блоков древних метаморфических пород: 1) раннеорогенный этап глиноземистых чарнокитов; 2) орогенный этап умеренно кислых гранито-гнейсов; 3) позднеорогенный этап субщелочных аляскитовых гранитов и гранит-пегматитов.

В каждом из выделенных этапов образуются различные по составу гранитоиды, но ведущую роль играет лишь одна определенная разновидность.

В большинстве флогопитоносных провинций мира широким распространением пользуются все рассмотренные разновидности гранитоидов. Однако для отдельных регионов некоторые из них не характерны. Так, чарнокиты встречаются в ничтожном количестве в Северо-Корейской провинции, до настоящего времени они не обнаружены на Памире и в пределах Слюдянского района Прибайкальской провинции.

Развитие первичных железо-магнезиальных слюд данного типа обусловлено воздействием щелочных растворов, связанных с формированием позднеорогенных гранитоидов аляс-

китового состава, на магнезиальные алюмосиликатные и частично карбонатные породы. Минеральные парагенезы образующихся при этом метасоматитов отвечают условиям амфиболитовой фации метаморфизма.

В целом особенности геологического строения слюдоносных провинций рассматриваемого типа позволяют сделать следующие выводы.

1. Образование первичных железо-магнезиальных слюд, получивших распространение преимущественно в пределах блоков метаморфических пород архейского или протерозойского возраста (на щитах, срединных массивах и внутригеоантиклинальных поднятиях), связано с гранитизацией и гранитоидным магматизмом завершающих этапов формирования древнейших геосинклинальных областей и осуществлялось на протяжении всего протерозоя при максимуме развития в среднепротерозойское время.

2. Провинции, располагающиеся в пределах щитов, с одной стороны, и срединных массивов и внутригеоантиклинальных поднятий — с другой, весьма близки по геологическому строению и характеру минерализации. Однако первые в сравнении с последними имеют значительно большие масштабы развития слюдяной минерализации, а соответственно, и запасы первичных слюд и отличаются интенсивностью последующих преобразований.

3. Первичные железо-магнезиальные слюды имеют преимущественное развитие в пределах краевых зон ареалов гранитизации, в местах пересечения высокомагнезиальных пироксенсодержащих гнейсов, сланцев и карбонатных пород позднесинорогенными гранитоидами аляскитового состава. Весьма перспективны участки наложения регрессивного этапа метаморфизма амфиболитовой фации на породы гранулитовой фации.

4. Благоприятными для нахождения крупных скоплений вторичных железо-магнезиальных слюд (гидрофлогопита и вермикулита) следует считать те флогопитоносные провинции рассматриваемого типа, которые характеризуются присутствием в слюдоносных зонах флогопита с низким содержанием фтора (до десятых и сотых долей процента).

5. Особое место занимает Восточно-Саянская провинция, связанная с более молодыми и менее метаморфизованными комплексами магнезиально-карбонатных и алюмосиликатных пород, сформировавшимися в условиях внешнего геосинклинального прогиба Салаирской складчатой области. Невысокая фтористость слюд, способствующая развитию в них полной вермикулитизации, делает месторождения, подобные Размановскому, наиболее перспективными с точки зрения вермикулитовой минерализации.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ГНЕЙСОВО-АМФИБОЛИТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ

Месторождения вермикулита, связанные с гнейсово-амфиболитовыми метаморфическими комплексами, выявлены в основном в последние годы и изучены меньше, чем другие. Но уже само геологическое положение этих месторождений, заключающееся в их приуроченности к прослеживающимся на значительные расстояния толщам, и высокое содержание в рудах полезного компонента являются факторами, благоприятными для формирования крупных запасов сырья. С этих позиций представляется необходимым рассмотреть условия локализации метаморфических толщ, перспективных в отношении повышенных концентраций исходных для вермикулита слюд, и возможности возникновения и сохранения последних на разных стадиях регионального метаморфизма и ультраметаморфизма.

Геолого-структурное положение, состав и возраст слюдоносных комплексов

Большая протяженность слюдоносных комплексов, так же как и связь их с региональным метаморфизмом и ультраметаморфизмом, является общей характерной особенностью приуроченных к ним месторождений вермикулита рассматриваемого типа. В то же время такие особенности, как разный состав первичных пород и состав пород, с формированием которых связано появление магнезиально-железистых слюд, заставляют выделять в пределах этого типа разные группы.

Для группы типично метаморфических месторождений, подобных Родионовскому в Западном Приазовье, Татьяновскому в Приморье и Зруче-Сазава в Чехословакии, характерна ассоциация с архейскими высокоглиноземистыми меланократовыми гнейсами и сланцами первично-осадочного происхождения, пользующимися развитием в пределах щитов и срединных массивов. Эти породы обычно приурочены к синклинальным складкам, имеющим размах крыльев иногда до 20 км, и прослеживаются по простиранию на десятки километров. Среднее содержание в них биотита, как правило, не ниже 20, а нередко и выше 25%.

Месторождения второй группы связаны со слоистыми метаморфическими толщами докембрийского и ранне- или среднепалеозойского возраста, содержащими значительный процент амфиболитов, превращенных в процессе гранитизации и сопровождающего ее гранитоидного магматизма в биотит-амфиболовые и биотитовые гнейсы. Такие месторождения известны, и имеются благоприятные предпосылки для обна-

ружения новых, подобных им, на щитах (Украинский щит, районы Волыни, Побужья, Криворожья, Западного Приазовья; Канадский щит, район Центрального Техаса; Африканский щит, Кения), срединных массивах (Ханкайский, Томская и Канская глыбы) и в геоантиклинальных поднятиях внутри складчатых областей (Уралтауское и Восточно-Уральское, районы Среднего, частично Северного и Южного Урала; Аппалачское, район штатов Северная Каролина и Джорджия). В пределах этих регионов слюдоносные метаморфические комплексы локализуются в основном в брахиформных антиклинальных структурах, осложняющих области поднятий. Протяженность комплексов достигает десятков и сотен километров при вариациях среднего содержания биотита в породах от 2 до 30%.

Месторождения третьей группы, как и второй, ассоциируются с существенно амфиболитовыми толщами верхнепротерозойско-нижнепалеозойского возраста, претерпевшими более сложные преобразования. Эта группа включает пока только одно очень крупное Потанинское месторождение вермикулита, располагающееся в западной части (в ядре антиклинальной складки) Восточно-Уральского поднятия, в ассоциации с миаскитами и сиенитами Уральской щелочной полосы. Специфическое геологическое положение пород этого метаморфического комплекса заключается в приуроченности его к области сильного бокового сжатия, проявившегося в узкой зоне непосредственного смыкания Уралтауского и Восточно-Уральского поднятий. Здесь линейные меридиональные складки круто изгибаются, окаймляя с востока древнее ядро антиклинория Урал-Тау. Складчатые структуры имеют веерообразную и изоклинальную форму. Широко развиты разрывные нарушения, зоны брекчирования и рассланцевания. Доскладчатые массивы гипербазитов разлинзованы. В кристаллических сланцах появляются характерные стресс-минералы (ставролит, кианит). Эффузивные породы зеленокаменной формации превращены в амфиболиты и местами в эклогиты (Роненсон, 1966).

Слюдитовые породы этого комплекса, прослеживающиеся по простиранию на десятки километров в чередовании с нефелиновыми и щелочными сиенитами, сформировались в процессе фенитизации (сиенитизации) предварительно гранитизированной гнейсово-амфиболитовой толщи. Большая протяженность комплекса в сочетании с высоким средним содержанием в породах биотита (25—30%) делают располагающееся в их коре выветривания месторождение вермикулита одним из крупнейших, уникальных месторождений в мире.

Таким образом, все месторождения вермикулита в гнейсово-амфиболитовых комплексах связаны с породами докем-

брийского и ранне-, среднепалеозойского возраста, пользующимся развитием на щитах, в срединных массивах и геантиклинальных поднятиях внутри складчатых областей (см. рис. 1). Комплексы с типично метаморфическими месторождениями локализуются в ядрах или на крыльях крупных синклинальных структур. Для гранитизированных и сиенитизированных существенно амфиболитовых комплексов характерно расположение в ядрах антиклиналей, брахиформных и изоклинальных. Перспективы слюдоносности каждого из этих комплексов определяются в зависимости от характера проявлений процессов метаморфизма, как предшествующего, так и сопутствующего их формированию.

Метаморфическая зональность и место в ней слюдоносных комплексов

На всех месторождениях рассматриваемого типа возникновение крупных концентраций исходных для вермикулита слюд связано с процессами регионального метаморфизма и ультраметаморфизма. Однако для месторождений разных групп эта связь проявлена по-разному. Так, на собственно метаморфических месторождениях образование слюд и содержащих их меланократовых гнейсов и сланцев (существенно биотитовых, с гранатом, ставролитом, силлиманитом) происходит одновременно, соответствуя в основном эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой, иногда гранулитовой фациям метаморфизма первично-осадочных высокоглиноземистых отложений. Сравнительно слабое проявление последующих процессов гранитизации обеспечивает сохранение возникших слюдяных концентраций. Высокоглиноземистые меланократовые гнейсы и сланцы пользуются широким развитием в пределах Украинского щита, Ханкайского и Чешского срединных массивов, где они сохранились в виде протяженных и мощных полос среди обширных полей интенсивно гранитизированных и мигматизированных пород. Для биотитов высокоглиноземистых гнейсов и сланцев характерно при резко варьирующей их общей железистости ($f_{\text{Fe}} = 31 \div 65\%$) повышенное содержание Fe^{2+} ($\text{FeO} = 9 \div 17\%$, Горошников, 1967), вообще свойственное биотитам метаморфических пород (Дир и др., 1966). Этим объясняется слабая подверженность подобных слюд процессам гидратации, что в конечном счете приводит к невысокому качеству образующегося за их счет вермикулитового сырья.

Месторождения вермикулита, связанные с комплексами амфиболитов, пользуются особенно широким развитием в районах их гранитизации и сиенитизации, а также контактового метаморфизма в ореолах интрузивных образований. Из них

первые представляются наиболее перспективными, поскольку их формирование сопряжено с процессами регионального метаморфизма и ультраметаморфизма, проявляющимися на больших территориях.

Как известно, процессы метаморфизма неразрывно связаны с геотектоническим режимом каждой структурно-фациальной зоны, на протяжении всей ее истории формирования, начиная от стадии погружения и ранней конседиментационной складчатости и кончая орогенной стадией и этапами активизации кристаллического фундамента (Минкин, 1969), то есть разным стадиям «зрелости» структурно-фациальных зон отвечают определенные геолого-генетические типы регионального метаморфизма. В связи с этим при оценке перспективности метаморфических комплексов важно выявить в пределах структурно-фациальных зон участки, по характеру (типу и ступени) метаморфизма наиболее благоприятные с точки зрения появления в них крупных скоплений слюды и их последующего сохранения. Такие участки занимают вполне определенное положение, будучи приуроченными к областям проявления ультраметаморфизма, пространственно совпадающим с брахиформными антиклинорными структурами поднятий. По периферии от них располагаются участки, для которых характерно постепенное падение степени метаморфизма, вплоть до разных ступеней зеленосланцевой фации. Линейная метаморфическая зональность достаточно отчетливо выражена в верхнепротерозойско-палеозойских структурах (например, в Уральском складчатом поясе), тогда как в архейских и протерозойских (щиты, срединные массивы) она обычно имеет пятнистый характер.

Помимо отмеченной в общем плане метаморфической зональности, иногда в центральных частях гнейсовых комплексов устанавливается преимущественное развитие продуктов ранней стадии гранитизации (плаггиогнейсов, плаггиомигматитов, плаггиогранито-гнейсов), в то время как по периферии преобладают проявления более поздней калиевой стадии. С последней связаны явления биотитизации амфиболов и формирование плаггиомикроклиновых гранито-гнейсов. В пределах Урала зоны существенно калиевой стадии ультраметаморфизма занимают большие площади в составе уфалейского, мурзинско-адуйского и других метаморфических комплексов, которые вследствие этого представляются перспективными на вермикулит. Среди этих комплексов необычными условиями метаморфизма характеризуется ильменогорско-вишневогорский, отличающийся от остальных и спецификой геологического положения. Здесь на продукты регионального метаморфизма наложились процессы ультраметаморфизма, раз-

вивавшегося несколько различно в северной (вишневогорский комплекс) и южной (ильменогорский комплекс) его частях. В то время как в южной части достаточно интенсивно проявилась гранитизация, на севере она не получила существенного развития, сменившись интенсивнейшей сиенитизацией. В результате последней возникли, с одной стороны, лейкократовые биотитовые щелочные и нефелиновые сиениты, с другой — меланократовые, существенно слюдитовые породы, с которыми связано одно из крупнейших в мире Потанинское месторождение вермикулита.

В некоторых случаях слюдоносные породы локализируются не в центральных, а в краевых частях гнейсовых комплексов, на границе их со слабо или совсем неметаморфизованными толщами. В таких случаях формирование слюдоносных пород связывается с процессами поздней гранитизации и контактового метаморфизма в ореоле так называемых «мигма-массивов», располагающихся в тектонически ослабленных шовных зонах, разграничивающих различно метаморфизированные комплексы пород (Минкин, 1969). Пространственная и генетическая ассоциация слюдоносных гнейсово-амфиболитовых комплексов с «мигма-массивами», являющимися сложным продуктом процессов гранитизации и реоморфизма, устанавливается в пределах метаморфической полосы восточного склона Урала (Чашковский, Увильдинский, Чебаркульский, Осиновский и другие массивы). Очевидно, что подобные же ассоциации гнейсово-амфиболитовых комплексов с «мигма-массивами» в других провинциях симатического типа могут также оказаться перспективно слюдоносными.

Приведенный выше материал позволяет сделать следующие выводы:

1. Слюдоносные породы гнейсово-амфиболитовых комплексов ассоциируются пространственно (и генетически) либо с регионально метаморфизованными первично-осадочными высокоглиноземистыми отложениями, либо с гранитизированными и сиенитизированными существенно амфиболитовыми толщами.

2. Высокоглиноземистые слюдоносные гнейсы и сланцы пользуются развитием в пределах щитов и срединных массивов, где они приурочены к ядрам или крыльям синклинальных структур. Для них характерен метаморфизм в эпидот-амфиболитовой, реже гранулитовой фациях.

Решающим условием сохранения слюдяных концентраций в гнейсовых и сланцевых комплексах является отсутствие или слабое проявление в них процессов ультраметаморфизма, приводящего к «разубоживанию» слюд.

3. Слюдоносные комплексы в составе существенно амфиболитовых толщ распространены на щитах, в срединных мас-

сивах и внутри геоантиклинальных поднятий. В пределах этих структур наиболее благоприятными являются районы проявления метаморфизма и ультраметаморфизма орогенной стадии и (или) этапов активизации кристаллического фундамента. С этим метаморфизмом связано возникновение зональных метаморфических комплексов, располагающихся в основном в брахиформных антиклинальных структурах, осложняющих области поднятий. При этом слюдоносные породы локализуются в зоне проявления калиевой стадии ультраметаморфизма, смежной с зоной лейкократовых пород гранитного или сиенитового состава. Наиболее перспективными с точки зрения масштабов слюдяной минерализации являются слюдоносные комплексы полей развития сиенитизации.

4. Слюдоносные комплексы, ассоциирующиеся с «мигма-массивами», располагаются в тектонических шовных зонах, разграничивающих породы, претерпевшие ультраметаморфизм и незатронутые им. Масштабы слюдяной минерализации таких комплексов ограничены вследствие локализации их в контакте массива только с высокометаморфизированными породами.

III. ЛОКАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЕРМИКУЛИТА

Кроме региональных закономерностей, контролирующих размещение вермикулитовых провинций, вермикулитсодержащих слюдоносных комплексов и отдельных месторождений вермикулита, при поисково-разведочных работах и промышленной оценке последних должны приниматься во внимание и закономерности, обуславливающие размещение рудных тел в пределах отдельных месторождений.

Поскольку все месторождения вермикулита приурочены к корам выветривания пород, обогащенных магнезиально-железистыми слюдами, условия локализации вермикулитовых руд в этих корах будут определяться, прежде всего, особенностями размещения концентраций первичных слюд в подстилающих коренных породах. В такой последовательности и рассматриваются закономерности размещения рудных тел в месторождениях различных генетических типов.

Месторождения в ультраосновных щелочных и калиевых основных щелочных породах

ЛОКАЛИЗАЦИЯ СЛЮДЯНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ПРЕДЕЛАХ МАССИВОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ СТРОЕНИЯ

В массивах ультраосновных щелочных пород и щелочных габброидов наличие слюды характерно для всех или большинства разновидностей пород, однако промышленные скопления ее наблюдаются только в определенных зонах. Количество и размещение таких зон в массивах, а также обогащенность их слюдой определяются площадным распространением ультраосновных пород и щелочных габброидов, интенсивностью их метасоматической переработки, наличием дизъюнктивных нарушений и особенностями их размещения.

Морфология массивов. Многими исследователями обращалось внимание на зависимость морфологии массивов от характера тектонических нарушений, послуживших путями внедрения исходной магмы. Так, большинство массивов ультраосновных щелочных пород*, располагающихся в узлах пересечения разломов, представлено конфокальными интрузиями центрального типа. Последовательное внедрение ультраосновных, затем щелочных пород обуславливает горизонтальную зональность в их строении, в одних прямую (при смене ультраосновных пород на периферии щелочными в центре), во многих других — обратную (при приуроченности ультраосновных пород к центру, а щелочных — к краевым зонам).

Массивы, связанные с разломами одного направления, обычно представлены линейными трещинными интрузиями, удлинёнными вдоль этих разломов. В ходе дальнейшей эволюции такие интрузии или «доставиваются» по типу концентрически-зональных (интрузии платформ и щитов, например, Карело-Жольские), или сохраняют линейную форму на протяжении всей истории их формирования (интрузии в пределах срединных массивов и консолидированных складчатых областей, например, Барчинская и Красномайская в Кокчетавской глыбе и Кокшаровская в Сихотэ-Алиньском антиклинории).

Многофазностью формирования интрузий обусловлена рядом с горизонтальной и вертикальная зональность в строении массивов. В связи с этим в зависимости от разной глу-

* В массивах щелочных габброидов концентрически-зональное строение менее отчетливо или не выражено совсем (Молчанова, 1966).

бины эрозионного среза в массивах обнаруживаются различные ассоциации пород. При неглубоком (0—3 км) срезе (Орлова и др., 1971) на поверхность выходят щелочные породы и карбонатиты, при глубоком — преимущественно ультраосновные с подчиненными им щелочными породами. Промежуточные по глубине среза массивы характеризуются наиболее полным набором как интрузивных, так и метасоматических образований и вследствие этого особенно перспективны с точки зрения слюдяной минерализации и других типов оруденения.

Этапы слюдообразования в ходе становления массивов.

Установленный для каждого массива ультраосновных щелочных пород или щелочных габброидов состав слагающих его пород (в зависимости от глубины эрозионного среза) позволяет составить лишь предварительное представление о возможных перспективах оруденения. Значительно конкретнее становится эта оценка (и не только в отношении масштаба оруденения, но и качества руд) при выявлении места промышленной слюдяной минерализации в формировании и последующем изменении пород массива. Так, например, на наиболее хорошо изученном Ковдорском флогопит-вермикулитовом месторождении В. И. Терновой выделяет три этапа слюдообразования (Терновой и др., 1969). Первый из них связан с внедрением вслед за оливинитами щелочных пород (ийолитов и мельтейгитов), обусловившим формирование апооливинитовых метасоматитов магматической стадии (слюдитов, слюдяно-пироксеновых пород, флогопитизированных оливинитов). Слюдитовые метасоматиты этого этапа, не представляя промышленной ценности на флогопит вследствие его повышенной железистости ($f_{\text{m}} = 17 \div 25\%$) и мелкочешуйчатости, служат прекрасным исходным материалом для образования гидрофлогопитовых руд в коре выветривания. Второй этап слюдообразования, наиболее интенсивный и важный для формирования флогопитового и вермикулитового месторождений, связан с постмагматическим изменением оливинитов, апооливинитовых метасоматитов магматической стадии и ранних метасоматитов постмагматической стадии (мелилитовых пород и гранатовых скарнов). В этот этап наряду с мелко- и среднечешуйчатым образуется крупнолистоватый флогопит, характеризующийся к тому же невысокой железистостью ($f_{\text{m}} = 12 \div 13\%$) и являющийся благодаря этому промышленно ценным. Слюды этого этапа, отличающиеся более высокой концентрированностью и большей локализованностью, при выветривании превращаются в типичный вермикулит.

В третий этап слюдообразования под воздействием растворов, связанных с формированием карбонатитов, за счет

оливинитов и щелочных пород образуются мелкочешуйчатые слюдиты, представляющие практический интерес лишь в коре выветривания, где они дают концентрации вермикулитовых и гидрофлогопитовых руд.

С постмагматическим преобразованием ультраосновных и частично щелочных пород связаны основные концентрации флогопита и в ряде случаев биотита на других месторождениях Карело-Кольской провинции (Вуориярвинском, Салланлатвинском, Салмагорском, Себляврском и Африкандском).

На Инаглинском месторождении слюдяная минерализация связана с изменением дунитов при внедрении в них щелочных, диопсид-ортоклазовых и более поздних микроклин-арфведсонитовых пегматитов (Корчагин, 1967). Наибольшую ценность представляют метасоматиты первого этапа, содержащие крупнопластинчатый маложелезистый флогопит ($f_m = 13 \div 14\%$). Мелкочешуйчатые слюдиты второго этапа интересны только как источник вермикулитового сырья.

На Кокшаровском месторождении ослюденение пироксенитов развивается вблизи даек нефелиновых сиенитов в связи с калиевым метасоматозом, разделяющим раннюю и позднюю стадии натрового метасоматоза (Руб и Залищак, 1964). Слюды этого месторождения отвечают по составу железистым флогопитам ($f_m = 24 \div 38\%$), вследствие чего промышленное значение имеют лишь их гидратированные разновидности в коре выветривания. Это месторождение сходно с месторождением Либби в США.

На месторождениях Южно-Казахстанской провинции концентрации биотита, приуроченные к щелочным габброидам типа эссексит-шонкинитов, образуются в процессе калиевого метасоматоза, сопровождающего внедрение лейкократовых сиенитов.

Таким образом, определение места слюдяной минерализации в процессе формирования и преобразования пород массивов позволяет давать дифференцированную оценку масштабов оруденения и качества руд того или иного этапа. Первостепенное значение такое разграничение приобретает для комплексных месторождений, подобных Ковдорскому, где наибольшие концентрации маложелезистого флогопита и ассоциирующегося с ним в коре выветривания вермикулита следует ожидать в связи с метасоматозом постмагматической стадии. Для вермикулитовых месторождений, исходные слюды которых представлены железистым флогопитом и биотитом, также целесообразно установить приуроченность их к определенным этапам геологического процесса: слюды разных этапов характеризуются разной железистостью, а поздних — иногда и повышенной фтористостью ($F = 1,78\%$ на Кокшаровском месторождении). Оба фактора, как известно,

являются определяющими при оценке качества вермикулитового сырья.

Знание распределения различных генераций слюд по различным этапам становления и изменения пород массивов может быть использовано в качестве надежного поискового признака лишь в совокупности с закономерностями их пространственной локализации. Поэтому необходимо совместное рассмотрение этих закономерностей.

Размещение слюдоносных зон в пределах массивов. В общем плане зоны интенсивного ослюденения пород, нередко сложно построенные, тяготеют к кольцевым или линейным тектоническим нарушениям, по которым контактируют ультраосновные и основные породы со щелочными породами и карбонатитами. В пределах Ковдорского месторождения основные промышленные концентрации флогопита и вермикулита локализуются в северной полукольцевой зоне разлома, располагающейся в оливинитах вблизи интрузивных щелочных пород — ийолит-уртитов и турьяитов (рис. 2). Мощность зоны от 0,1—0,2 до 1,0—1,5 км. Установленное для всей зоны повышенное содержание слюды в центре и уменьшение его к периферии позволило оконтурить участки богатых руд с содержанием всех фракций слюд не менее 20% и участки бедных руд, содержащих слюды меньше 20%. Общая вертикальная мощность вермикулитовой части зоны колеблется от 20 до 80 м в зависимости от нижней границы выветривания.

Как выяснено в ходе разведки, все слюдоносные залежи полукольцевой зоны имеют почти вертикальное падение и практически постоянное содержание слюды как в пределах коры выветривания, так и на глубину.

По размерам резко выделяется Главная залежь, вскрытая бурением в северо-западной части полукольца и имеющая мощность от 10 до 100 м при длине в несколько сотен метров. Залежь характеризуется зональным строением с ядром из пегматоидных оливиновых пород, вокруг которых располагаются пегматоидные флогопитовые и флогопит-диопсид-оливиновые породы, сменяющиеся затем крупно-, средне- и мелкозернистыми. Размер кристаллов флогопита из центральных частей залежи достигает 1—2, иногда 10—15 м в поперечнике. В Главной залежи сосредоточены основные концентрации промышленного флогопита. Флогопитсодержащие метасоматиты внешних частей залежи, содержащие слюду не более 2 см в поперечнике, представляют интерес лишь в коре выветривания как вермикулитовое сырье. Все остальные концентрации мелкочешуйчатого флогопита, отличающегося от флогопита Главной залежи большей железистостью ($f_m = 17 \div 25\%$), интересны также только с этой точки зрения. Это, пре-

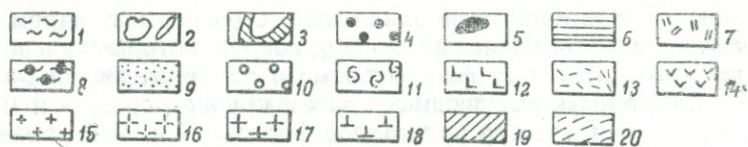
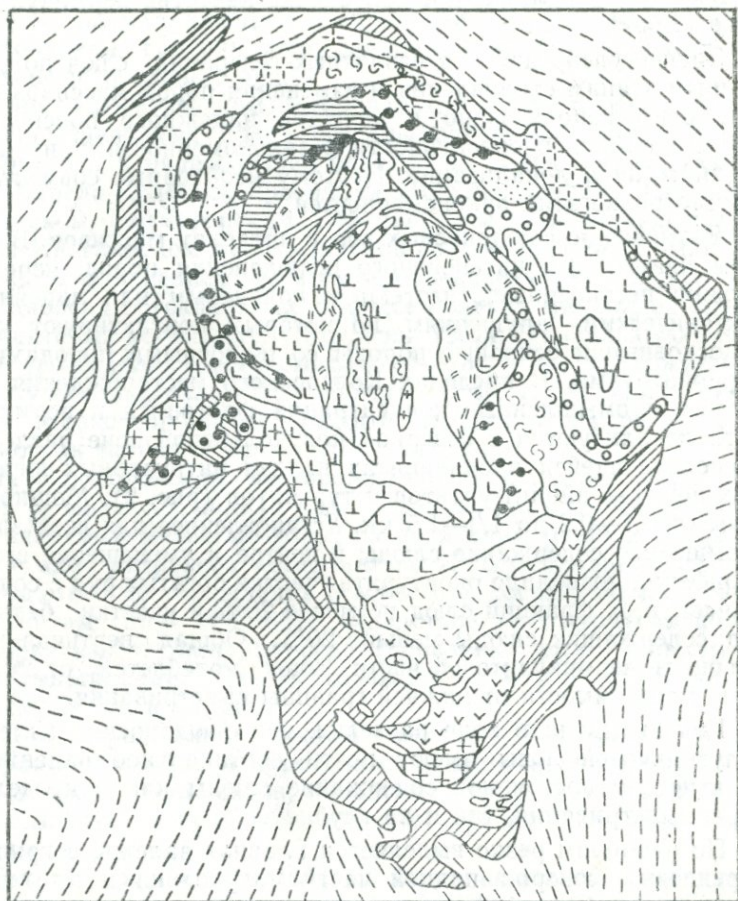


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Ковдорского массива (по В. И. Терновому и др., 1969).

1 — сунгулитовые образования (в зоне меридионального разлома); 2 — карбонаты; 3 — апатит-оливиновые породы; 4 — магнетитовые руды; 5—7 — породы, продуктивные на флогопит и вермикулит: 5 — вермикулит-флогопит-диопсид-оливиновые породы гигантозернистые; 6 — то же, крупно- и среднезернистые; 7 — ослоденелые и диопсидовые оливиниты; 8 — гранатовые скарны; 9 — монтичеллитовые породы; 10 — меллититы; 11 — турьянты; 12 — пироксениты; 13 — слюдиты и слюдяно-пироксеновые породы (продуктивные на вермикулит); 14 — якупирангиты; 15 — ийолиты и нефелиновые сиениты; 16 — ийолитуртиты; 17 — ийолит-мельтейгиты; 18 — оливиниты; 19 — фениты; 20 — гнейсы.

жде всего, значительная по площади зона слюдитов и слюдяно-пироксеновых пород в южном полукольцевом контакте оливинитов Ковдорского массива с ийолит-мельтейгитами (зона апооливинитовых метасоматитов магматической стадии, см. рис. 2). Это также слюдитовые оторочки в оливинитах на контакте с дайками сиенитов, особенно многочисленных в зоне меридионального разлома, пересекающего центральную часть Ковдорского массива, и оторочки в щелочных породах на контакте с телами карбонатитов.

Аналогичная локализация слюдоносных зон вдоль кольцевых и линейных тектонических нарушений характерна и для других массивов Карело-Кольской провинции. В пироксенитах на контакте с дайками нефелиновых сиенитов известно сравнительно крупное Кокшаровское месторождение вермикулита в СССР и Либби в США. На Кокшаровском месторождении развитию калиевого метасоматоза способствовали сколовые трещины, к которым приурочены основные концентрации слюды (Руб и Залищак, 1964). На Инаглинском массиве наиболее важные в промышленном отношении слюдитовые метасоматиты приурочены к контактам с диопсид-ортоклазовыми пегматитами, внедрившимися в узлах пересечения кольцевых и радиальных трещин в центральной части дунитового штока. Слюдиты второй стадии связаны с контактами микроклин-арфведсонитовых пегматитов, выполняющих крупную кольцевую трещину в дунитах (Корчагин, 1967). В ряде случаев (например, на Салланлатвинском массиве) ослюдование развивается на контакте щелочных пород с карбонатитами и наблюдается на удалении от него как в тех (150—180 м), так и в других (50—60 м). В массивах Шава и Дорва (Южная Родезия) слюдяная минерализация установлена в фенитах, на контакте их с карбонатитами и ийолитами (Johnson, 1961). На массивах Северо-Казахстанской и Южно-Казахстанской провинций, изученных к настоящему времени менее других, менее четко определены и условия пространственной локализации в них слюдяных концентраций.

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПОРОД НА СОСТАВ СЛЮДЯНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Магнезиально-железистые слюды в месторождениях ультраосновных щелочных и основных щелочных комплексов очень широко варьируют по составу и, прежде всего, по железистости ($f_m = 9 \div 53$), что находится в прямой зависимости от состава вмещающих пород и воздействовавших на них растворов. Наименее железистые слюды, определяющиеся в соответствии с общей железистостью как нормальные флогопиты ($f_m = 9 \div 14$), свойственны оливинитам и перидотитам.

Крупные скопления таких слюд на некоторых месторождениях являются объектом добычи флогопита. Так, на Ковдорском месторождении все промышленные концентрации крупнопластинчатого флогопита приурочены к северо-западной части полукольца флогопитоносных апооливинитовых метасоматитов постмагматической стадии. Образование его ($f_m = 13 \div 14\%$) связывается с воздействием на оливиниты растворов, следующих за внедрением ийолит-уртитов и турьяитов (Терновой и др., 1969). В то же время флогопит, образовавшийся в тех же оливинитах при участии растворов, связанных с ийолит-мельтейгитовым расплавом, пока не находит применения в промышленности из-за мелкочешуйчатости и повышенной железистости ($f_m = 17 \div 25\%$). Он служит лишь исходным материалом для образования вермикулита и гидрофлогопита в зоне гипергенеза.

Флогопит, близкий по железистости к ковдорскому, характерен для перидотитов Лулекопского и дунитов Инаглинского месторождений ($f_m = 9 \div 15$). Более железистый флогопит установлен в пироксенитах Лулекопского, а также Вуориярвинского и Африкандского месторождений ($f_m = 15 \div 18\%$) и особенно в пироксенитах, отличающихся повышенным содержанием железа и титана (Кокшаровское, Барчинское, Красномайское месторождения). В последних наряду с флогопитом присутствует и биотит ($f_m = 17 \div 53\%$). По-видимому, этой группе близки слюды южноказахстанских месторождений Ирису, Кулан и Жиланды, приуроченных к щелочным габброидам, но пока еще мало изученных.

Флогопит в щелочных породах обычно мелкочешуйчатый, довольно широко варьирует по железистости. Наименее железистый флогопит приурочен к турьяитам ($f_m = 13 \div 16\%$) и мелилитовым породам ($f_m = 15 \div 20\%$) Ковдорского месторождения. В породах уртит-мельтейгитового ряда он всегда более железистый ($f_m = 31 \div 47\%$), переходный к биотиту ($f_m > 35\%$). Концентрации такого флогопита установлены на Ковдорском и Салланлатвинском месторождениях, в меньшем количестве на Озерной Вараке.

Приведенные выше примеры, иллюстрирующие зависимость состава магнезиально-железистых слюд от состава вмещающих пород, показывают, что наиболее благоприятной средой для образования промышленно-ценных месторождений являются оливинсодержащие ультраосновные породы — оливиниты, дуниты и перидотиты.

Малая железистость слюд этих пород (f_m не более $15 - 20\%$) в сочетании с крупными размерами кристаллов (не менее 4 см^2) обуславливает комплексное промышленное использование месторождений, подобных Ковдорскому, как флогопит-вермикулитовых. Приемлемый для промышленности фло-

гопит может быть встречен в пироксенитах, аналогичных вуориярвинским (Алявдина, 1968); во всех остальных случаях — в пироксенитах с повышенным содержанием железа и титана и в различных щелочных породах — концентрации флогопита и биотита промышленную ценность имеют лишь в коре выветривания, где они служат исходным материалом для образования вермикулитовых руд.

ПОЛОЖЕНИЕ ВЕРМИКУЛИТОВЫХ РУД В КОРЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОРФОЛОГИИ ЕЕ ПРОФИЛЯ

Как установлено в итоге рассмотрения региональных закономерностей размещения месторождений вермикулита в корах выветривания, месторождения всех генетических типов связаны с линейно-площадными корах сиаалитных геохимических типов.

Вермикулитовые руды в месторождениях первого типа приурочены к вермикулитовой и гидрофлогопитовой зонам профиля коры выветривания, формирующейся на существенно флогопитовых породах и характеризующейся, как правило, полнотой развития. Наиболее полный профиль, состоящий из зон (в порядке изменения пород при выветривании) дезинтеграции, гидрофлогопитовой, вермикулитовой и сунгулитовой или каолиновой, устанавливается обычно на апооливинитовых, аподунитовых и апоперидотитовых слюдитовых метасоматитах (Ковдорское месторождение). Такая зональность наблюдается как в вертикальном разрезе, так и в плане, с симметричным расположением зон относительно тектонических нарушений. При этом следует подчеркнуть, что развитие линейных или трещинных кор выветривания особенно характерно для районов с вермикулитовыми месторождениями первого типа, формирование которых, начиная с самых ранних этапов, происходит в условиях жесткой консолидированной среды, реагирующей на все тектонические напряжения появлением в ней разломов и связанных с ними систем оперяющих крупных и мелких разрывных нарушений.

Профиль выветривания линейного типа от площадного отличается большей мощностью зон химического выветривания и редуцированностью зоны дезинтеграции. Так, если в площадной коре выветривания мощность вермикулитовой зоны колеблется для Ковдорского, например, месторождения от 1—2 до 30—60 м, то в линейной она достигает 80—100 м (Терновой и др., 1969). В связи с интенсивностью химического выветривания в линейных корах их центральные зоны неблагоприятны для поисков вермикулитовых руд, которые оказываются здесь полностью сунгулитизированными или каолини-

зированными. На Ковдорском месторождении сунгулит развит в центральной части меридиональной зоны разлома, в полосе шириной около 800 м, длиной до 5 км и глубиной до 150, а иногда и до 400 м. Он составляет вместе с гидрохлоритом основную массу выветрелой оливин-диопсид-флогопитовой породы, в которой не больше 10—20% приходится на остальные минералы — монтмориллонит, вермикулит, сапонит, магнетит, оливин и диопсид.

На Кокшаровском и Инаглинском месторождениях аналогом сунгулитовой зоны является каолинитовая (на Инаглинском она практически полностью эродирована). На большинстве других месторождений вермикулита, ассоциирующихся с пироксенитами и щелочными породами, в профиле коры выветривания устанавливаются преимущественно две, реже три нижние зоны, из которых продуктивная представлена гидрофлогопитовой или гидробиотитовой в зависимости от состава первичных слюд и содержащих их пород (Либби в США, Барчинское и Красномайское месторождения в СССР). Следует иметь в виду, что отсутствие верхних зон в профиле не всегда является следствием недостаточно интенсивного развития выветривания или, наоборот, связано с последующей эрозией. Оно может быть обусловлено и устойчивостью к процессам выветривания первичных слюд, в связи с чем должны учитываться особенности химического состава последних.

РАЗМЕЩЕНИЕ ВЕРМИКУЛИТОВЫХ РУД РАЗНОГО КАЧЕСТВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ Fe^{2+} И ФТОРА В ПЕРВИЧНЫХ СЛЮДАХ ПРОДУКТИВНЫХ ПОРОД

Установленная обратная зависимость степени гидратации (вермикулитизации) слюд от содержания в них Fe^{2+} и фтора (Дьяконов и Львова, 1967) позволяет по количеству этих элементов в первичных слюдах «предсказывать» состав продуктов их гидратации и определять участки локализации руд с разным качеством вермикулитового сырья.

На основании данных химического и количественного рентгенографического анализа по первичным и вторичным слюдам из основных месторождений рассматриваемого типа рудные тела этих месторождений могут быть разделены на две группы: а) рудные тела существенно вермикулитовые и гидрофлогопитовые с содержанием в гидрофлогопите не менее 30—50% вермикулитовых слоев и б) рудные тела существенно гидрофлогопитовые и гидробиотитовые с содержанием в смешаннослойных минералах обычно 30—50, реже 5—10% вермикулитовых слоев. Рудные тела первой группы ассоции-

руются в основном с корами выветривания, формирующимися на флогопитизированных оливинсодержащих ультраосновных породах (Ковдорское, Инаглинское, Лулекоп), реже на пироксенитах (Вуориярви). Вермикулит и гидрофлогопит в них образуется за счет нормальных и железистых флогопитов ($f_{\text{m}} = 9 \div 15$ и $17 \div 31\%$). Рудные тела второй группы локализуются в ослюденелых пироксенитах с повышенной железистостью (Кокшаровское, Барчинское, Красномайское) или в щелочных породах (Салланлатвинское) и формируются за счет пород, содержащих железистый флогопит и биотит ($f_{\text{m}} = 17 \div 53\%$).

По содержанию фтора слюды подавляющего большинства месторождений являются малофтористыми ($F = 0,00 \div 0,95\%$). Исключение представляют некоторые флогопиты Кокшаровского месторождения, содержащие иногда до 1,78% фтора (Руб и Залищак, 1964). Вероятно, этим в значительной мере объясняется то, что для части рудных тел этого месторождения, сформировавшегося за счет сравнительно невысокожелезистых слюд ($f_{\text{m}} = 22 \div 38\%$), характерно невысокое качество сырья, основу которого составляет гидрофлогопит с 5—10% вермикулитовых слоев. Однако основная масса рудных тел большинства месторождений в комплексах ультраосновных щелочных и основных щелочных пород возникла за счет пород, содержащих маложелезистые и малофтористые слюды, преобразующиеся в условиях выветривания в типичные вермикулиты и гидрофлогопиты с 50 и 30—50% вермикулитовых слоев. Руды с высоким содержанием полезного компонента указанного состава отличаются высоким качеством и наиболее ценны в промышленном отношении. Процент низкосортных руд в общем балансе запасов сырья в месторождениях этого типа невелик, так как они свойственны преимущественно отдельным участкам небольшого числа месторождений.

Подводя итог рассмотрению особенностей локализации промышленных скоплений первичных слюд и вермикулита в массивах ультраосновных щелочных и основных щелочных комплексов пород, следует подчеркнуть следующие основные закономерности:

1. Наиболее перспективными с точки зрения промышленной слюдяной минерализации являются массивы средней степени эродированности. В них достаточно широко распространены как ультраосновные и основные породы (исходные для образования первичных слюд), так и щелочные, с формированием которых связано интенсивное метасоматическое преобразование, в том числе ослюденение ультраосновных и основных пород.

2. Массивы с преобладающим развитием оливинсодержащих ультраосновных пород представляют наибольший инте-

рес с точки зрения наличия в них комплексной флогопит-вермикулитовой минерализации. Ассоциация пироксенитов и щелочных габброидов с ийолит-мельтейгитами или сиенитами указывает на присутствие относительно железистых первичных слюд, которые интересны лишь в коре выветривания как источник вермикулитового сырья, отличающегося более низким качеством по сравнению с таковым в оливиновых породах.

3. В пределах массивов для промышленного ослюденения наиболее благоприятны зоны кольцевых и линейных тектонических нарушений в ультраосновных породах и щелочных габброидах, близ контакта их со щелочными породами. Вдоль этих зон меланократовые породы подвергались не только интенсивному ослюдению, но и выветриванию, приводящему к наиболее совершенной гидратации слюд на большую глубину.

4. На месторождениях, где ультраосновные породы отсутствуют, ослюденение локализуется в приконтактной зоне щелочных пород и карбонатитов, распространяясь в те и другие (массивы Салланлатвинский и Дорова).

5. Продуктивными зонами в профиле выветривания большинства месторождений рассматриваемого типа являются вермикулитовая и гидрофлогопитовая, иногда та и другая, реже гидробиотитовая.

Месторождения в ультраосновных и основных породах в ассоциации с более поздними генетически самостоятельными кислыми (или щелочными) породами

Специфика проявления ультраосновных (основных) и кислых (щелочных) пород в складчатых областях, заключающаяся в одновременности их образования и редкой пространственной совмещенности, обуславливает специфику размещения связанных с ними концентраций первичных слюд и образующихся за их счет в коре выветривания месторождений вермикулита. Рассмотрим особенности локализации тех и других.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ СЛЮДИТОВЫХ ТЕЛ В ПРЕДЕЛАХ МАССИВОВ

Ослюденение массивов ультраосновных и основных пород, наблюдаемое в районах развития гранитизации и мигматизации, а также в экзоконтактных ореолах кислых или щелочных интрузий, обычно контролируется характером распространения тектонических нарушений. Одни из этих наруше-

ний фиксируются зонами рассланцевания и дробления пород и иногда приуроченными к этим зонам аплитами и пегматитами, другие — разломами с оперяющимися их трещинами. Разломы обычно служат вмещающим гранитов и даек кислого и основного состава, в трещинах локализуются пегматиты и кварцевые жилы.

Нарушения первого типа, обычно более мелкие и широко развитые в районах гранитизации и мигматизации, редко сопровождаются значительным ослюдением ультраосновных и основных пород, захватывающим, как правило, только краевые части их тел. Более интенсивное ослюдение в этих районах наблюдается в связи с пегматитами или аплитами, инъецирующими вмещающую массивы гнейсово-мигматитовую толщу и проникающими по зонам рассланцевания внутрь массивов. Максимальная мощность слюдяных оторочек вокруг пегматитов достигает 1—2 м (Андреевское месторождение), чаще не превышает 10—15 см (вермикулитовые проявления в антофиллит-асбестовых месторождениях восточного склона Урала и Мугоджар).

Нарушения второго типа, рассекающие массивы на блоки, параллельные направлению рассланцевания их пород и пород вмещающей толщи, и поперечные или диагональные, разбивающие блоки на глыбы, развиваются в условиях более жесткой среды, являясь более поздними. Такие разломы в районе Борзовского гипербазитового массива служили путями внедрения нормальных биотитовых гранитов и микроклиновых аплитов, с которыми связано образование корунда и маломощных слюдитовых оторочек (10—15 см).

С разломами в районе Караганского месторождения вермикулита связано развитие в породах массива многочисленных трещин, согласных и секущих сланцеватость вмещающих пород. К ним приурочены плагиоклазовые, плагиомикроклиновые пегматиты, среди которых более древние являются согласными, а более молодые — как согласными, так и секущими. Слюдитовыми оторочками, мощность которых варьирует от 1—2 см до 0,7—1,0 м, окружены преимущественно согласные, как правило, более крупные плагиомикроклиновые и микроклиновые пегматиты. Гнезда, линзы и прожилки слюдита такой же мощности наблюдаются и внутри пегматитовых тел. Вследствие интенсивной трещиноватости серпентинитового массива метасоматические слюдосодержащие породы занимают до 80% его площади.

Промышленное ослюдение габброидов Каменноугольного массива контролируется участками распространения в них аплитов, аляскитовых и бескварцевых микроклиновых пегматитов, даек андезитов, диабазов и порфиринов, выполняющих трещины, согласные с гнейсовидностью вмещающих

пород и рассланцованностью пород массива. Аплиты и пегматиты — дериваты массива аляскитовых гранитов, внедрившиеся в месте пересечения глубинных разломов, возникших в платформенный этап развития региона. Зоны ослюденения имеют различную мощность, иногда до 15—20 м, и не привязаны непосредственно к контактам с жильными телами.

Во всех приведенных примерах тектонический контроль оруденения сопровождается магматическим, что позволяет получить представление об источнике слюдообразующих растворов; в ряде других случаев их сочетание не столь очевидно. Так, на Булдымском месторождении ослюденение представлено серией слюдитовых жил мощностью от 1 до 25 м, выполняющих три тектонически ослабленные зоны в серпентинитах массива вне связи с какими бы то ни было интрузивными и жильными образованиями. Косвенные геологические данные указывают, с одной стороны, на связь ослюденения с «подстилающими» Булдымский массив миаскитами, с другой — с амазонитовыми пегматитами, локализующимися в таких же, как слюдитовые жилы, трещинах и являющимися производными поздних трещинных интрузий гранитов. На Субутковском месторождении, расположенном в зоне глубинного долгоживущего разлома, ослюденение пироксенитов в виде неравномерной вкрапленности, гнезд, линз и жил неправильной формы прослеживается в зоне (0,4 × 4 км), ориентированной по удлинению массива и простирающую пород вмещающей толщи. Приуроченность его к дайкам, представленным в данном случае микрогранитами, не отмечается.

Таким образом, локализация слюдяного оруденения в гипербазитовых и габброидных массивах определяется характером разрывных нарушений, служивших путями поступления расплавов и связанных с ними щелочных растворов. Масштабы и интенсивность ослюденения зависят не только от интенсивности нарушений и расположения их в массивах, но и от состава пород, с которыми связаны слюдообразующие растворы. Ослюденение, наблюдающееся на широкой площади в районах распространения гранитизированных и мигматизированных пород, как правило, не бывает интенсивным. И, напротив, оно оказывается более концентрированным в экзоконтактовых ореолах трещинных интрузий гранитов и их пегматитов, являющихся, как и сопровождающие их растворы, производными остаточных богатых щелочами и летучими гранитных магм.

МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И МЕСТО В НЕИ ФЛОГОПИТ-ВЕРМИКУЛИТОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Метасоматическая зональность* является важнейшей закономерностью строения вермикулитовых месторождений, располагающихся в оливинсодержащих ультрабазитах. Состав зон, их мощность и количество определяются их геологической позицией и составом взаимодействующих пород и растворов. Наиболее полная зональность с хорошо выраженной мощной слюдитовой зоной наблюдается в серпентинитах в контактах с аляскитовыми или лейкократовыми гранитами, субщелочными и щелочными пегматитами (Булдымское и Караганское месторождения, Изумрудные копи, месторождения Северной Каролины, Чатра в Индии). Специфика состава растворов, обогащенных щелочами и летучими фтористыми соединениями, находит выражение в характерном минеральном парагенезисе, свойственном этим месторождениям. На каждом из них широкое распространение имеют высокофтористые разновидности флогопита и апатита, на некоторых также изумруд, молибденит, топаз, флюорит (Изумрудные копи, Вежна в Западной Моравии и др.).

Зональность этих месторождений выражается сменой плагиоклазитового ядра** (мощность его 0,1—1,5 м) флогопитовым слюдитом (0,5—25 м), затем актинолитом (0,1—0,4 м), хлоритом (0,1—2,0 м) и тальком (0,1—0,8 м), примыкающим к оталькованным и карбонатизированным серпентинитам. Кроме собственно слюдитовой зоны, флогопит присутствует (и нередко в промышленных количествах) в смежных с ним пегматитах, актинолитовых и тальк-карбонатных породах (до 50—70%), которые также часто являются рудой на вермикулит. В случае, когда пегматитовые жилы располагаются на контакте серпентинитов с амфиболсодержащими породами (амфиболитами или амфиболовыми гнейсами), последние подвергаются биотитизации.

Близкая рассмотренной зональность отмечается в серпентинитах на контакте с аплитами и пегматитами, пользующимися распространением в районах гранитизации-мигматизации и в экзоконтактовых ореолах нормальных плагиомикроклиновых гранитов. Отличие в данном случае заключается в полном отсутствии актинолитовой и хлоритовой зон, либо в развитии их среди тальковой и слюдитовой. Кроме того, чаще вместо актинолита или резко преобладая над ним, при-

* Имеется в виду зональность, сопровождающая слюдообразование и накладывающаяся на серпентинизированные (обычно неоднократно) породы.

** На Булдымском месторождении ядро жил составляют слюдиты.

сутствуют антофиллит, антофиллит-асбест, а с жильными плагиоклазитами ассоциируется корунд. И, наконец, самым существенным отличием является малая мощность слюдитовых зон, не превышающая, как правило, 10—15 см и очень редко достигающая 1—2 м.

Месторождения и проявления, характеризующиеся перечисленными особенностями, довольно многочисленны. Среди них по ведущему полезному ископаемому выделяются две группы — антофиллит-асбестовые и корундовые. Первые, в большинстве своем локализуясь в районах развития регионального метаморфизма и ультраметаморфизма, известны на Урале, в пределах сысертско-ильменогорского метаморфического комплекса (Сысертское, Савелькульское, Увильдинское месторождения и др.) и в Мугоджарах (Бугетысай, Китарсай, Олыталдык и др.). Из зарубежных к этой же группе относятся месторождения Восточной Финляндии, Швеции, Австрии, Швейцарии, Чехословакии, восточных штатов Северной Америки, некоторые месторождения Японии (Одако, Удзумине) и Африки (Хафафит в Египте и Капирикамодзи в Малави). При этом в одних случаях флогопитовая и антофиллит-асбестовая минерализация проявляются одновременно, в других — флогопитовая накладывается на антофиллит-асбестовую.

Специфика геологических и минералогических особенностей проявлений и месторождений вермикулита, сопровождающих корундовую минерализацию, заключается в их пространственной и, вероятно, генетической связи с щелочными и нефелиновыми сиенитами (Борзовское и Каслинское месторождения на Урале, ряд месторождений восточных штатов Северной Америки, Канады и Индии). Формированию сиенитов во всех этих районах обычно предшествовали процессы гранитизации и внедрение плагиоклазовых и нормальных биотитовых гранитов. С гранитами, вероятно, связано появление иногда встречающегося на этих месторождениях антофиллит-асбеста, с микроклиновыми и щелочными аплитами и пегматитами — корунда и высокоглиноземистого флогопита и биотита.

Зональность нехарактерна для месторождений вермикулита, связанных с безоливиновыми гипербазитами (пироксенитами) и габброидами, что обусловлено, по-видимому, меньшей контрастностью состава взаимодействующих в данном случае пород и растворов. На этих месторождениях ослюдование, представленное преимущественно биотитом, развивается по предварительно амфиболизированным и нередко рассланцованным породам, превращенным в различные амфиболовые сланцы (Субутакское и Каменноугольское место-

рождения в СССР, некоторые месторождения Южной Каролины, Индии, Австралии).

По морфологии слюдитовые тела в пироксенитах и габброидах более разнообразны, чем в оливинсодержащих гипербазитах. Правильные по форме жилы редки, более обычны линзо- и жилообразные тела и неравномерно рассеянная вкрапленность (Субутакское месторождение), распространенные обычно на значительной площади массивов.

Знание метасоматической зональности в совокупности с другими особенностями геологического строения вермикулитовых месторождений, локализующихся в оливинсодержащих гипербазитах, позволяет дифференцировать их по промышленному значению, правильно оценивать масштабы и выделять участки высококачественных руд с высоким содержанием вермикулита. Общая особенность этих месторождений, по сравнению с располагающимися в пироксенитах и габброидах, заключается в узко контактово-реакционном характере продуктивных на вермикулит зон, резко ограничивающем их масштабы и общее промышленное значение.

ПОЛОЖЕНИЕ ВЕРМИКУЛИТОВЫХ РУД РАЗНОГО КАЧЕСТВА В ПРОФИЛЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ Fe^{2+} И ФТОРА В ПЕРВИЧНЫХ СЛЮДАХ

Постоянная роль разрывной тектоники, контролирующей размещение и морфологию ультраосновных (основных) пород и связанных с ними слюдитовых метасоматитов, продолжает сказываться и в условиях выветривания этих пород, способствуя формированию и более широкому и глубокому развитию линейных или трещинных кор.

На всех известных месторождениях вермикулита рассматриваемого типа устанавливается сравнительно незначительная по мощности площадная кора выветривания (6—10 м), углубляющаяся вдоль трещин до 20—40, иногда до 50 м. Состав продуктивных на вермикулит зон зависит от химического состава первичных слюд апогипербазитовых и апогаббровых метасоматитов и, прежде всего, от содержания в этих слюдах Fe^{2+} и фтора.

По химическому составу первичные слюды в основной своей массе соответствуют малофтористым нормальным и железистым флогопитам (слюды из оливинсодержащих гипербазитов с $f_m = 10 \div 36\%$), реже биотитам (слюды из пироксенитов и габбро с $f_m = 29 \div 44\%$). Исключение составляют высокофтористые флогопиты некоторых месторождений (Булдымского с $F = 0,0 \div 3,63\%$ и Изумрудные копи с $F =$

$= 0,0 \div 2,0\%$). Для биотита ряда месторождений характерно повышенное содержание в них Fe^{2+} . Так, в биотитах Каменноугольского месторождения $\text{FeO} = 13 \div 15\%$, то есть вдвое выше по сравнению с биотитами Субутакского месторождения, в которых $\text{FeO} = 6 \div 7\%$.

В соответствии с этим на породах, содержащих слюды разного состава, формируется профиль, характеризующийся разным составом и разной мощностью продуктивных зон.

В профиле, развивающемся на породах с малофтористым флогопитом, продуктивной зоной является главным образом вермикулитовая, в меньшей мере — гидрофлогопитовая, резко подчиненная первой по мощности (Андреевское, частично Булдымское месторождения).

На породах с высокофтористым маложелезистым флогопитом продуктивная зона состоит существенно из гидрофлогопита, содержащего, как правило, не больше 20% вермикулитовых слоев (5, 10, 15 и 20% в зависимости от количества фтора в первичной слюде; Булдымское месторождение, Изумрудные Копи). Полнота развития профиля, завершающегося глинистой зоной, в данном случае достигается за счет преобразования в сунгулит или каолинит главным образом неслюdistых минералов (оливина, пироксена, полевых шпатов).

Существенно гидрофлогопитовый состав, но с гидрофлогопитом более высокого качества (30 и 50% вермикулитовых слоев), и большую мощность имеет продуктивная зона на апопироксеновых слюдитах, содержащих железистый флогопит (месторождения типа Субутакского); этой зоне по мощности подчинена вермикулитовая.

И, наконец, апогаббровые слюдитовые метасоматиты характеризуются гидробиотитовым составом продуктивной зоны (5 и 5—10% вермикулитовых слоев в гидробиотитах; месторождения типа Каменноугольского и Темрюкского в Западном Приазовье).

Таким образом, на основании приведенного материала можно сделать следующие выводы относительно локализации концентраций вермикулитовых руд в пределах гипербазитовых и габброидных массивов:

1. Размещение вермикулитовых тел, так же как и их морфология, определяется, прежде всего, размещением и морфологией слюдитовых тел, а также степенью преобразования последних в условиях выветривания.

2. Для большинства вермикулитовых и слюдитовых тел характерна линейная вытянутость, обусловленная их приуроченностью к линейным тектоническим нарушениям.

3. Наиболее мощные рудные тела связаны с зонами вторичного расщепления ультраосновных и основных пород и с расколами, секущими первичную сланцеватость. В проти-

воположность маломощным рудным телам, развитым в районах гранитизации и мигматизации и контролируемым зонами первичного расщепления, крупные тела пользуются распространением в экзоконтактных ореолах нормальных и субщелочных гранитов и щелочных пород.

4. В апооливиновых гипербазитовых метасоматитах, характеризующихся зональным строением, слюдитовые тела занимают строго определенное положение, будучи приурочены к непосредственному контакту с аплитом, пегматитом, кварцевой жилой, а при отсутствии последних выполняют центральные части сложно построенных жил.

5. Степень преобразования концентраций первичных магнезиально-железистых слюд в вермикулит определяется в зависимости от содержания в них Fe^{2+} и фтора. В соответствии с этим продуктивные зоны в профиле коры выветривания могут быть представлены в одних случаях существенно вермикулитом, в других — гидрофлогопитом или гидробиотитом разного качества.

Месторождения в комплексах алюмосиликатных и магнезиальных карбонатных пород

УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЕРМИКУЛИТОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

При рассмотрении региональных закономерностей размещения вермикулитовых месторождений, связанных с комплексами алюмосиликатных и магнезиальных карбонатных пород указывалось, что в большинстве из них промышленные концентрации исходных для вермикулита магнезиально-железистых слюд пространственно ассоциируются с интрузиями лейкократовых и аляскитовых гранитов. Специфика состава этих гранитоидов и парагенетически связанных с ними растворов, обогащенных наряду со щелочами также легколетучими фтористыми соединениями, находит выражение в высокой фтористости флогопитов, образующихся при их участии. Именно этой особенностью состава слюд большинства флогопитовых месторождений рассматриваемого типа (алданских, канадских, мадагаскарских, корейских) объясняется отсутствие в их пределах вермикулита, несмотря на наличие в этих районах хорошо развитых кор выветривания (сравнить, например, с Ковдорским месторождением на Кольском п-ове). Исключение представляют месторождения Слюдянской группы ($F = 0,0 \div 4,03\%$), для которых явления гидратации флогопита отмечались на некоторых рудниках с первых лет эксплуатации, но рассматривались лишь как ухудшающие его

качество. Только в 1960 г. участки таких слюд подверглись специальному изучению с точки зрения оценки их как источника вермикулитового сырья (рудник 9, Заявка 6, Каолиновая копь, пади Асямовская и Динамитная, участок Усова, Сухой лог и Сухой ручей). В пределах этих участков вермикулит-флогопитовая минерализация наблюдается в амфибол-пироксеновых гнейсах и сланцах, в диопсидовых породах, реже в мраморах — всюду в ассоциации с микроклин-плагиоклазовыми гранит-пегматитами и пегматитами аляскитового типа. При этом для диопсидовых пород характерна приуроченность к гранит-пегматитам, располагающимся вдоль взбросов, а для жил — к трещинам, поперечным относительно простирания пород, реже к кососекущим, вдоль сбросо-сдвигов (Калинин и Роненсон, 1957), где залегают и пегматиты. Гранит-пегматиты секутся пегматитами, а флогопитсодержащие диопсидовые породы секутся флогопитовыми жилами.

Технологическими испытаниями установлена принадлежность вермикулитовых руд перспективных участков к I, II и частично к III сорту, то есть показана возможность их практического использования. Однако из-за ограниченности запасов сырья на этих участках промышленное значение их невелико.

Из зарубежных месторождений вермикулита к слюдяным близки месторождения Ситарампур в Индии (Rao, 1963) и Стенливилль в Канаде, в провинции Онтарио (Hoadley, 1960), располагающиеся также в районах развития месторождений высокофтористого флогопита. На месторождении Ситарампур, известном как апатит-магнетит-вермикулитовое, вермикулит образует оторочки, окаймляющие апатитоносные пегматиты и магнетитовые жилы, секущие диопсидовые породы. На месторождении Стенливилль известен вермикулит двух генераций: рассеянный в известняках и в диопсидовых породах (преобладает) и в оторочках поздних пегматитовых жил, секущих гранитизированные и сиенитизированные гнейсы, граниты и сиениты.

В литературе имеются также указания на частичную вермикулитизацию флогопита Мадагаскара (Hoadley, 1960; Robert, Pedro, 1965), в основной своей массе трудно поддающейся этому процессу вследствие особенно высокой фтористости ($F=5,75 \div 6,70$, реже 0,56%; De la Roche, 1963). Для метасоматических флогопит-диопсидовых тел и флогопитовых жил Мадагаскара устанавливается пространственная и генетическая связь с посторогенными гранитами и их пегматитами.

Типично вермикулитовым является Размановское месторождение в Восточном Саяне. Здесь флогопит и вермикулит приурочены к шпинель-пироксеновой скарновой зоне, распо-

лагающейся на контакте доломитов с краевой габбровой фацией сложного по составу штокообразного массива габбро, сиенитов и гранитов. Флогопит характеризуется невысоким содержанием фтора или полным его отсутствием ($F = 0,0 \div 0,17\%$), вследствие чего в зоне выветривания полностью превращен в типичный вермикулит и гидрофлогопит с 50% вермикулитовых слоев. Ниже этой зоны флогопит сохраняется неизменным, что значительно повышает ценность месторождения как комплексного.

ТИПЫ СЛЮДОНОСНЫХ ТЕЛ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ

В рассматриваемых провинциях породы, содержащие в том или ином количестве первичные слюды (представленные главным образом маложелезистым флогопитом), могут быть подразделены по морфологии на два основных типа — метасоматические тела и жилы выполнения.

Метасоматические тела встречаются в разнообразных породах, развитых в пределах слюдоносных полей, и в зависимости от их состава подразделяются на ряд разновидностей, отличающихся по характеру зональности, минеральному составу и промышленной ценности (Лицарев, 1961; Мурзаев, 1966).

Могут быть выделены метасоматические тела, образованные по: 1) пироксеновым амфиболитам, гнейсам и сланцам основного состава; 2) гранитам, гранито-гнейсам, мигматитам, гранит-пегматитам и пегматитам; 3) карбонатным породам — мраморам и кальцифирам; 4) на контакте карбонатных и алюмосиликатных пород.

Самыми значительными запасами первичной слюды — флогопита — обладают метасоматические тела, сформированные за счет пироксенсодержащих гнейсов и сланцев. Согласно данным Б. М. Роненсона и Ф. М. Ройзенмана (1970), наиболее благоприятными породами являются почти мономинеральные диопсидовые сланцы, возникшие в процессе метаморфизма мергелистых осадков. Очевидно, это объясняется тем, что данные породы характеризуются оптимальным содержанием элементов, необходимых для образования флогопита, в том числе таких малоподвижных, как магний и алюминий.

Описываемые метасоматические тела имеют площадной характер развития. Они залегают в виде согласных, реже секущих зон протяженностью до 600 м при мощности 10—20 м и глубине по падению до 300 м. Крупнейшие по запасам флогопита слюдоносные тела в Алданской провинции приурочены к складкам волочения, располагающимся на крыльях линей-

ных складчатых структур, что связывается с концентрацией на этих участках больших масс продуктивных на флогопит высокомагнезиальных диопсидовых сланцев (Роненсон, Ройзенман, 1970).

Метасоматические тела, образованные за счет гранитоидов, содержат флогопит в значительно меньшем количестве. Они образуют согласные или секущие тела существенно диопсидового состава. Их длина обычно не превышает первых десятков метров при мощности 3—5 м.

Метасоматические тела, сформированные за счет карбонатных пород или на контакте их с гранитоидами, обычно не обладают запасами, достаточными для их разработки.

Наиболее ценные в промышленном отношении метасоматические породы, образованные за счет высокомагнезиальных пироксеновых гнейсов и сланцев, получили широкое распространение в пределах тех провинций, для которых характерно интенсивное проявление процессов ультраметаморфизма и гранитизации, с которыми они во времени тесно связаны (Алданская, Восточно-Американская, Индийская провинции). Там, где эти процессы выражены слабо, имел место лишь локальный прогрев пород за счет интрузивных тел, в пределах которых и создавались условия, благоприятные для развития процессов метасоматоза. В таких районах соответственно наиболее распространены тела, образованные за счет гранитоидов (Слюдянский район Прибайкальской провинции).

Минеральный состав жил выполнения практически не зависит от характера непосредственно вмещающих их толщ. Они встречаются среди более разнообразных по составу пород, чем метасоматические тела. Как показывает статистическая обработка данных по распределению жил в Слюдянском районе Прибайкальской провинции, их размещение определяется главным образом физико-механическими свойствами вмещающих пород. Для их нахождения наиболее благоприятны амфибол-пироксеновые гнейсы, наименее благоприятны мраморы и кальцифиры, промежуточное положение занимают гранитоиды, биотитовые и другие гнейсы и сланцы.

Характерно, что жилы занимают иную структурную позицию, чем метасоматические тела. Чаще всего они приурочены к поперечным трещинам растяжения лестничного типа.

Размеры жил обычно невелики и в среднем составляют 1—3 м по мощности, при 10—15 м по простиранию. Поэтому, несмотря на высокое содержание слюды, жилы характеризуются значительно меньшими запасами флогопита, чем метасоматические тела. Вследствие же повышенного содержания в флогопите фтора жилы выполнения не перспективны для концентрации в них гидратированных слюд.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что:

1) в пределах продуктивных свит наиболее крупные скопления первичных слюд (флогопита) устанавливаются на участках, обогащенных высокомагнезиальными пироксенсодержащими гнейсами и сланцами, реже мраморами, при этом весьма благоприятно развитие в этих породах изоклиальной складчатости;

2) слюдоносные тела имеют пространственную связь с зонами контактов гранитоидов аляскитового состава;

3) для нахождения промышленных концентраций вермикулитовых руд перспективны метасоматические слюдоносные тела, развитые среди алюмосиликатных пород, среди которых наиболее благоприятны гнейсы и сланцы существенно пироксенового состава (флогопит из жил выполнения вследствие повышенной фтористости практически не подвергается вермикулитизации).

Месторождения в гнейсово-амфиболитовых комплексах

Расположение слюдоносных комплексов в протяженных на многие километры и десятки километров стратифицированных гнейсово-амфиболитовых толщах, постоянная связь их с процессами регионального метаморфизма накладывают отпечаток на особенности локализации в них оруденения и морфологию рудных тел.

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И ЛОКАЛИЗАЦИИ РУДНЫХ ТЕЛ В СЛЮДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Слоистосланцеватое строение гнейсово-амфиболитовых толщ предопределяет широкое развитие в них дизъюнктивных нарушений преимущественно контактного межслоевого характера. Эти нарушения, иногда протяженные, неоднократно затухающие и возобновляющиеся снова по простиранию толщ, характеризуются, как правило, незначительными смещениями пород. Они фиксируются телами аплитов, пегматитов, слюдитов, кварцевых и других жил. Вдоль нарушений в амфиболитовых толщах наблюдается интенсивное ослюдование и наиболее глубокое проникновение процессов выветривания. Особенно благоприятны в этом отношении узлы пересечения этих нарушений с более поздними, ориентированными поперек или косо относительно простирания пород вмещающей толщи. К узлам пересечения нарушений приурочены вермикулитовые тела, уходящие на глубину до 35—70 м, тогда как в соседних ненарушенных участках вермикулит на

глубине свыше 7—8 м обычно сменяется неизменным биотитом.

В соответствии с преимущественно межслоевым характером тектонических нарушений приуроченные к ним слюдитовые тела отличаются линейной вытянутостью и значительным преобладанием размеров по простиранию над размерами по падению и мощностью. Для крупных месторождений длина тел по простиранию колеблется от 10—15 м до 1—3 км, составляя в среднем 400—500 м, по падению — от 10 до 70 м. В составе продуктивной толщи, мощность которой варьирует от 400 м до 2 км, на долю рудных тел приходится от 20 до 50% общей мощности. Преобладающая мощность отдельных тел 4—5 м, наиболее крупных — 20—50 м. Характер распределения рудных тел различен в месторождениях разного генезиса. В собственно метаморфических месторождениях он оп-

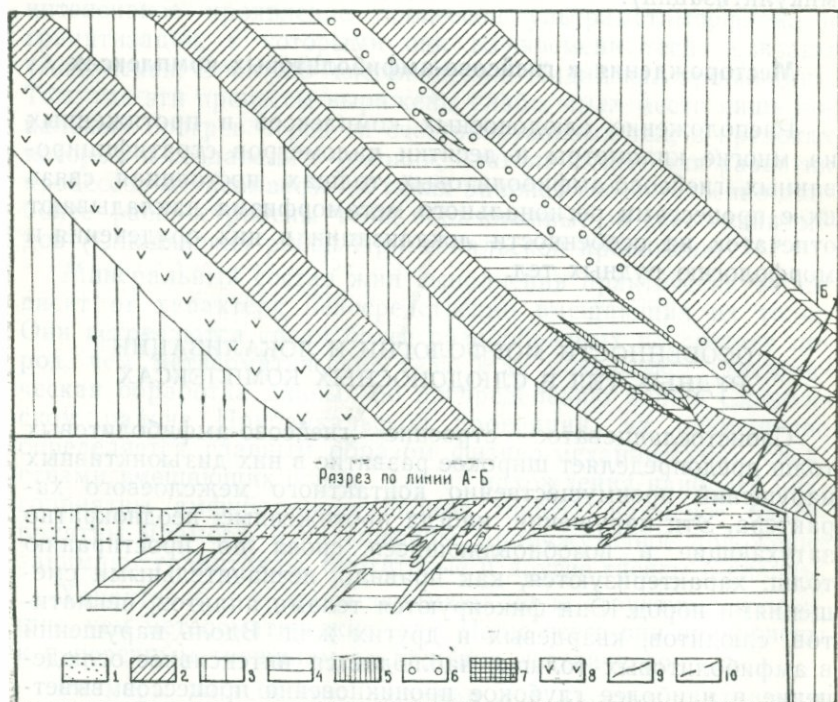


Рис. 3. Схематическая геологическая карта Родиноновского месторождения (по И. Л. Андрущенко).

1 — кора выветривания материнских пород; 2 — гнейс биотитовый (продуктивный на вермикулит); 3 — гнейс мусковит-биотитовый; 4 — гнейс ставролит-биотитовый; 5 — гнейс силлиманит-биотитовый; 6 — гнейс гранат-биотитовый; 7 — гнейс графит-биотитовый; 8 — амфиболит; 9 — границы литологических разновидностей пород; 10 — граница коры выветривания.

ределяется чередованием и соотношением мощностей существенно биотитовых и лишенных биотита или содержащих его в незначительном количестве разновидностей гнейсов и сланцев (рис. 3).

В месторождениях, возникших при процессах ультраметаморфизма амфиболитов, концентрация рудных тел находится в зависимости от характера возникающей в них метасоматической зональности (от масштабов развития и интенсивности ослонения пород каждой зоны).

В гранитизированных амфиболитах выделяются обычно следующие основные зоны: амфиболит — биотит-амфиболовый гнейс — меланократовый биотитовый гнейс — биотитовый гранито-гнейс. Из них основная масса рудных тел приурочена к меланократовым биотитовым гнейсам. Отмеченная зональность свойственна Караганскому, Кировскому, Лесозаводскому, Прохатице, Маанинка и другим месторождениям вермикулита. Такая же зональность характерна для протяженных на сотни километров гранитизированных амфиболитовых комплексов восточного склона Урала, которые, однако, до сих пор не изучались специально с точки зрения вермикулитовой минерализации. Сходная в общих чертах зональность отмечается в гнейсово-мигматитовых комплексах многих районов Украинского щита, однако здесь в основном развиты лейкократовые биотитовые гранито-гнейсы и мигматиты, не дающие крупных скоплений биотита.

В амфиболитах, претерпевших вслед за начальной гранитизацией интенсивную сиенитизацию, зональность более сложная: амфиболит — биотит-амфиболовый гнейс — амфиболовый фенит — пироксеновый фенит — биотитовый фенит — биотитовый миаскит. Продуктивными на вермикулит породами в данном случае являются меланократовые разновидности биотитовых фенитов и миаскитов с развитыми среди них кальцит-биотитовыми, пироксен-биотитовыми и слюдитовыми породами (рис. 4). Зональность такого типа характерна для Потанинского месторождения вермикулита. Близкая к ней зональность отмечается во внешних ореолах щелочных регионов СССР и зарубежных стран (Жовдорского, Альнэ, Фен, Банкрофт), однако во всех этих случаях она развивается в гнейсах (в лейкократовых породах) и не приводит к скопленению существенных количеств слюдитовых пород.

Таким образом, для всех рудных тел месторождений, связанных с гнейсово-амфиболитовыми комплексами, характерна линейная вытянутость и значительная протяженность по простиранию. В собственно метаморфических месторождениях основным фактором, контролирующим размещения рудных тел, является литологический, определяющийся наличием и масштабами развития меланократовых биотитовых гнейсов

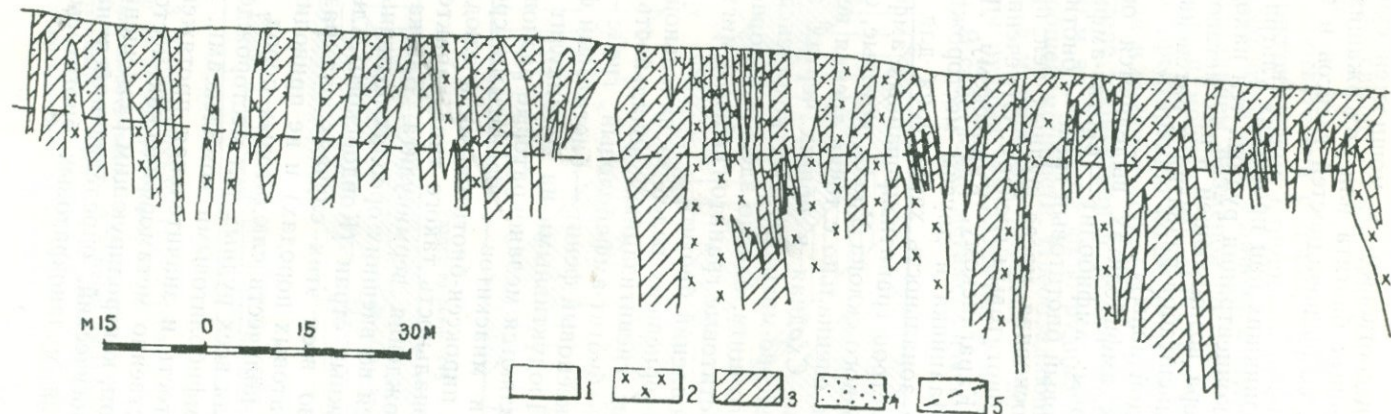


Рис. 4. Геологический разрез через продуктивную вермикулитовую толщу Потанинского месторождения (по В. Ф. Антонову).

1 — миаскиты; 2 — биотитовые фениты (снениты) крупнозернистые; 3 — полевошпато-биотитовые, прроксен-биотитовые, кальцит-биотитовые породы и слюдиты (продуктивные на вермикулит); 4 — зона интенсивной гидратации слюд (вермикулит-гидробиотитовая); 5 — граница коры выветривания.

и сланцев в составе метаморфических толщ. В месторождениях же, сформировавшихся в результате процессов гранитизации и сиенитизации амфиболитов, ведущую роль приобретает фактор тектонический, обуславливающий наиболее интенсивные метасоматические преобразования этих пород вдоль нарушений межслоевого типа. В метасоматически измененных породах основная масса рудных тел локализуется в зонах, переходных от существенно амфиболовых или пироксеновых пород к лейкократовым малослюдистым гранито- и сиенито-гнейсам.

ПОЛОЖЕНИЕ ВЕРМИКУЛИТОВЫХ РУД РАЗНОГО
КАЧЕСТВА В ПРОФИЛЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОДЕРЖАНИЯ Fe^{2+}
В ПЕРВИЧНЫХ СЛЮДАХ

Все месторождения вермикулита рассматриваемого типа располагаются в регионах с хорошо развитыми корами выветривания, общая морфологическая особенность которых заключается в сочетании площадного и линейного (трещинного) типов. С этой особенностью связано обычно отмечаемое непостоянство положения нижней границы зоны выветривания, проходящей на глубине 7—25 м в участках площадного выветривания и углубляющейся до 50—70 м в участках интенсивной трещиноватости пород. Морфологические различия усугубляются с различной степенью развития химического выветривания, особенно активно происходящего вдоль трещин, где создаются условия для более концентрированного и узко локализованного воздействия гипергенных растворов. Результатом этого является более совершенная вермикулитизация слюд в таких участках по сравнению с участками площадного типа, где основная масса слюд оказывается затронутой часто только начальными стадиями этого процесса.

Другая важная особенность, определяющая степень вермикулитизации слюд рассматриваемых месторождений, — их высокая общая железистость (обычно $f_{Fe} = 44 \div 70\%$, редко ниже, до 30%) и особенно повышенное содержание в них Fe^{2+} . Происходящее в условиях выветривания окисление Fe^{2+} осуществляется за счет O^{2-} гидроксильных групп и приводит к упрочению связей K^+ с кристаллическим слоем, препятствуя, таким образом, развитию процесса вермикулитизации. Именно этим, вероятно, следует объяснять разницу в составе продуктов гидратации слюд Родиноновского и Потанинского месторождений, характеризующихся при одинаковой общей железистости ($f_{Fe} = 44 \div 71\%$ и $f_{Fe} = 50 \div 70\%$ соответственно) разным содержанием в них Fe^{2+} ($FeO = 9,05 \div 17,26\%$ и

$\text{FeO} = 2,30 \div 10,28$, редко 15%). Основу вермикулитового сырья Родионовского месторождения составляет гидробиотит, содержащий не более 5% вермикулитовых слоев, тогда как для Потанинского месторождения характерны гидробиотиты с 30 и 50% вермикулита.

Приведенные данные позволяют сделать следующие выводы относительно особенностей локализации рудных тел в месторождениях, связанных с гнейсово-амфиболитовыми комплексами.

1. Для собственно метаморфических месторождений устанавливается приуроченность основной массы рудных тел к пластам (горизонтам, прослоям) меланократовых биотитовых гнейсов и сланцев.

2. Для месторождений, связанных с ультраметаморфизмом (гранитизацией и сиенитизацией) амфиболитовых толщ, характерно расположение рудных тел вдоль межслоевых тектонических нарушений и в узлах пересечения их с более поздними нарушениями, ориентированными косо или поперек простирания метаморфической толщи. При этом наибольшая концентрация рудных тел отмечается в зонах, переходных от меланократовых существенно амфиболовых или пироксеновых пород к лейкократовым гранито- и сиенито-гнейсам.

3. На всех месторождениях вермикулитовые руды приурочены к гидробиотитовой зоне профиля коры выветривания, характеризующейся, однако, разным качеством гидробиотита в зависимости от содержания Fe^{2+} в первичных слюдах.

4. При наличии на месторождениях кор выветривания площадного и трещинного типа трещинные наиболее благоприятны для локализации высококачественных вермикулитовых руд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вермикулит долгое время оставался малоосвоенным в народном хозяйстве сырьем. Потребности в нем полностью удовлетворялись за счет разработки единственного и небольшого по запасам Булдымского месторождения. В связи с этим геологические исследования, направленные на выявление новых месторождений вермикулита, почти не проводились, и закономерности размещения этих месторождений были неясны.

В результате обобщения материалов геологопоисковых и разведочных работ, интенсивно проводившихся в течение последнего десятилетия в различных регионах Советского Союза, изучения геологических, минерало-петрографических особенностей и условий образования ряда новых отечественных месторождений, а также обработки данных по зарубежным месторождениям вермикулита выявилось их генетическое

многообразие. Это привело к необходимости создания сначала схематической (Боровиков и Львова, 1960), а в дальнейшем неоднократно уточнявшейся и дополнявшейся классификации этих месторождений.

Закономерности размещения месторождений вермикулита обусловлены двумя группами факторов — эндогенных и экзогенных. Первые из них определяют локализацию концентраций первичных слюд. Они различны для месторождений разных типов, но их объединяет и некоторая общность. Так, в большинстве случаев скопления магнезиально-железистых слюд тяготеют к областям развития глубокометаморфизованных кристаллических пород, будь то различные зоны щитов или выходы древних пород в пределах складчатых областей. Кроме того, для многих месторождений вермикулита устанавливается связь с зонами глубинных разломов, разделяющих крупные блоки земной коры и развитых в окраинных частях щитов и платформ, на границе устойчивых областей с геосинклинальными (складчатыми) областями, а также в пределах последних, между слагающими их крупными структурно-формационными зонами. Наконец, третьей, общей для большинства месторождений различных типов особенностью, является формирование концентраций первичных слюд в связи с процессами магматизма, метаморфизма и метасоматоза заключительных стадий развития геосинклиналей или периодов тектонической активизации устойчивых областей.

Эти наиболее общие эндогенные закономерности специфически реализуются в месторождениях каждого из выделенных типов, что показано наряду с рассмотрением более частных закономерностей локализации месторождений в соответствующих разделах данной работы.

Основные закономерности размещения вермикулитовых месторождений, обусловленные экзогенными факторами, определяются приуроченностью концентраций вермикулитовых руд к корам выветривания сиалитных геохимических типов (главным образом каолинитового и сунгулитового профиля), а в пределах последних — к средним зонам профиля. Интенсивность и масштабы гидратации первичных слюд, а следовательно, и масштабы месторождений, и качество сырья определяются благоприятным сочетанием экзогенных и эндогенных факторов. Главные из них — полное развитие профиля коры выветривания, сохранность, по крайней мере, средних его зон, наличие интенсивной тектонической нарушенности пород, способствующей формированию линейных кор выветривания, и благоприятный состав исходных слюд (малое содержание в них фтора и Fe^{2+}), обеспечивающий их совершенную вермикулитизацию.

Геологическое изучение вермикулитовых месторождений только начато. Необходимо продолжить дальнейшие исследования по выявлению закономерностей размещения промышленных концентраций этого нового вида сырья с целью открытия крупных месторождений в экономически благоприятных районах.

ЛИТЕРАТУРА

Алявдина И. Н. Слюды массива Вуориярви. Матер. по минер. Кольского п-ова, вып. 6. Л., Наука, 1968.

Афанасьев А. П. Минералогия доледниковой коры выветривания Кольского полуострова и приуроченных к ней месторождений вермикулита. М.—Л., Наука, 1966.

Боровиков П. П., Львова И. А. Типы месторождений вермикулита и их промышленное значение. Информ. сб. ВСЕГЕИ, № 37, 1960.

Булькин Л. Д. Основные черты геологии перидотитовой формации Урала. Тр. Второго Уральск. петрограф. совещ., ч. 2. Свердловск, 1969.

Власов К. А., Кутукова Е. И. Изумрудные копи. М., Изд-во АН СССР, 1960.

Герлинг Э. К., Варшавская Э. С. Определение возраста пород Оюотско-Бельской и Присянской зон Восточного Саяна рубидий-стронциевым изохронным методом. Геохимия, № 6, 1966.

Гинзбург А. И., Эпштейн Е. М. Карбонатитовые месторождения. В кн. Генезис эндогенных рудных месторождений. М., Наука, 1968.

Горошников Б. И. Биотиты высокоглиноземистых пород докембрия Украины. Минер. сб. Львовского гос. ун-та, вып. 2, № 21, 1967.

Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т. 3. М., Мир, 1966.

Дьяконов Ю. С., Львова И. А. О превращении триоктаэдрических слюд в вермикулит. ДАН СССР, т. 175, № 2, 1967.

Ефимов И. А., Косинцева Л. Г. Апатит, слюды, гидрослюда и вермикулит в массивах красномайского ультраосновного щелочного комплекса (Сев. Казахстан). В сб. Химическое и горнорудное сырье Казахстана. Алма-Ата, Наука, 1968.

Калинин П. В., Роненсон Б. М. Геолого-структурные особенности и генезис Слюдяных флогопитовых месторождений. Сов. геология, № 58, 1957.

Коржинский Д. С. Петрологический анализ флогопитовых и мусковитовых месторождений Восточной Сибири. В сб. Слюды СССР. Л., ЦНИГРИ, 1937.

Корчагин А. М. Геологическое строение Инаглинского массива ультраосновных и щелочных пород и генетические особенности связанного с ним флогопит-вермикулитового месторождения. Автореф. канд. диссерт. М., 1967.

Колотухина С. Е., Первухина А. Е., Рожанец А. В. Месторождения редкометалльных карбонатитов Африки. В кн. Геология месторождений редких элементов Африки. М., Наука, 1964.

Кухаренко А. А. Щелочной магматизм восточной части Балтийского щита. ЗВМО, ч. 96, вып. 5, 1967.

Кухаренко А. А., Орлова М. П., Булах А. Г., Багдасаров Э. А., Римская-Корсакова О. М., Нефедов Е. И.,

Ильинский Г. А., Сергеев А. С., Абакумова Н. Б. Каледонский комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Сев. Карелии (геология, петрология, минералогия и геохимия). М., Недра, 1965.

Лицарев М. А. Генезис флогопитовых месторождений Алдана. Тр. Ин-та геол. рудн. м-ний, петр., мин. и геохим., вып. 67, 1961.

Липкин Л. М. Карта метаморфизма Урала. Тр. Второго Уральск. петрограф. совещ., ч. 1, Свердловск, 1969.

Львова И. А. Типы месторождений вермикулитового сырья на территории Западного Приазовья. Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия, т. 108, 1964.

Львова И. А. К вопросу о генезисе Потанинского месторождения вермикулита. Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия, т. 147, 1969.

Львова И. А., Дьяконов Ю. С. Минералогические особенности вермикулитового сырья месторождений СССР как критерий оценки их качества. Тр. Совещания по проблемам изучения и применения вермикулита. Л., Наука, 1969.

Масайтис В. Л. Очерк тектоники и истории геологического развития Корейского п-ова. Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия, т. 100, 1963.

Молчанова Т. В. Структурное положение, петрология и происхождение калиевых основных щелочных пород. Тр. ГИ АН СССР, вып. 159, 1966.

Мурзаев С. П. Метасоматическая зональность флогопитоносных образований Алдана. В сб. Геология и петрология докембрия Алданского щита. М., Наука, 1966.

Орлова М. П., Дядькина И. Я. Региональные и локальные закономерности размещения флогопитовых месторождений, вып. 9. Л., 1971.

Пинус Г. В., Колесник Ю. Н. Альпинотипные гипербазиты юга Сибири. М., Наука, 1966.

Поляков В. В., Клименко П. Л. Результаты поисково-разведочных работ на вермикулит в Южном Казахстане. В кн. Исследование и применение вермикулита. Л., Наука, 1969.

Роненсон Б. М. Петрология вишневогорского щелочного комплекса на Урале. Автореф. докт. диссертации. М., 1966.

Роненсон Б. М., Ройзенман Ф. М. Типы тектонических структур Алданских флогопитовых месторождений. Геология и разведка, № 1, 1970.

Руб М. Г., Залищак Б. Л. Щелочные интрузивные породы Приморского края. Изв. АН СССР, серия геол., № 10, 1964.

Рудник В. А. О последовательности геологических событий в докембрии Алданского щита. ДАН СССР, т. 194, 1971.

Рудник В. А., Соботович Э. В. О возрасте полиметаморфических комплексов ингрской серии Алданского щита. ДАН СССР, т. 189, № 4, 1969.

Салоп Л. И. Докембрий СССР. В кн. Доклады советских геологов (МГК, 23 сессия, проблема 4). М., 1968.

Терновой В. И., Афанасьев Б. В., Сулимов Б. И. Геология и разведка Ковдорского вермикулито-флогопитового месторождения. Л., Недра, 1970.

Финько В. И. Каолиновые продукты мезозойской коры выветривания Приморья. В кн. Доклады советских геологов (МГК, 23 сессия, симпозиум 1 [а]). М., 1968.

Хайн В. Е. Региональная геотектоника. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. М., Недра, 1971.

Хорева Б. Я., Мурина Г. А. Становление и активизация метаморфических серий Юго-Западного Памира по геолого-петрологическим и радиологическим данным. Изв. АН СССР, серия геол., № 8, 1968.

Шейнманн Ю. М., Апельцын Ф. Р., Нечаев Е. А. Щелочные интрузии, их размещение и связанная с ними минерализация. Геология рудных элементов, вып. 12—13, 1961.

Шатский Н. С. Основные черты строения и развития Восточно-Европейской платформы. Изв. АН СССР, серия геол., № 2, 1946.

Aswathanarayana V. Age determination of rocks and geochronology of India. Intern. Geol. Cong. 26 sess., India, 1964.

Bradley W. E., Serratosa J. M. A discussion of the water content of vermiculite. In: Clays and Clay min., Proc. VII Nat. conf. clays and clay min., Pergamon Press, N. Y., 1960.

De la Roche H. Sur la composition chimique des phlogopites de Madagascar et sur la presence de varietes riches en fluor. Ann. geol. Madag., N 33, 1963.

Hoadley J. W. Mica deposits of Canada Geol. Surv. Canada. Econ. Geol., N 19, 1960.

Hunter C. E. Vermiculite of the south-eastern States. Sympos. min. resourc. south-east. U. S., Knoxville, 1950.

Johnson R. L. The geology of Dorowa and Shawa carbonatite complex, Southern Rhodesia. Trans. and Proc. Geol. Soc. S. Afr., vol. 64, pp. 101—145, 1961.

Rao G. V. A note on the apatite magnetite-vermiculite deposits near Sitarampur, Vishakhapatnam district, Andhra Pradesh. Ind. Min., vol. 17, N 1, 1963.

Robert M., Pedro G. Sur la vermiculitisation experimentale de la phlogopite. N 20, C. R. Acad. Sc. Paris, t. 261, 15 nov., gr. 9, N 20, 1965.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
I. Общая характеристика и классификация месторождений вермикулита	4
II. Региональные закономерности размещения месторождений вермикулита	10
III. Локальные закономерности размещения месторождений вермикулита	45
Заключение	72
Литература	74



118. В. В. Иванов, Г. Г. Гаврилов, П. П. Петров, И. И. Иванов, В. В. Иванов
И. И. Иванов, Г. Г. Гаврилов
Региональные и локальные закономерности размещения
месторождений вермикулита
1957 г.

Издательство А. А. Иванов
Издательство А. А. Иванов
Издательство А. А. Иванов
Издательство А. А. Иванов

Издательство А. А. Иванов
Издательство А. А. Иванов
Издательство А. А. Иванов
Издательство А. А. Иванов

Ия Александровна Львова, Петр Павлович Боровиков,
Ирина Яковлевна Дядькина

**Региональные и локальные закономерности размещения
месторождений вермикулита**

ВЫПУСК 12

Редактор **Н. И. Домнич**

Техн. редактор **А. А. Иванова**

Корректор **А. А. Шток**

Художник **А. М. Гиман**

М-25527 Подп. в печать 15-ХII-71 г. Печ. л. 5+1 вкл. Уч.-изд. л. 5,27
Формат бумаги 60×90¹/₁₆. Тираж 600 экз. Цена 53 коп. Заказ 4924

Типогр. газ. «На страже Родины»

- Вып. 1. Региональные и локальные закономерности размещения колчеданно-полиметаллических месторождений.
- Вып. 2. Региональные и локальные закономерности размещения грейзеновых оловянно-вольфрамовых месторождений.
- Вып. 3. Региональные и локальные закономерности размещения эпитермальных золото-серебряных и полиметаллических месторождений.
- Вып. 4. Региональные и локальные закономерности размещения эпитермальных флюоритовых месторождений.
- Вып. 5. Региональные и локальные закономерности размещения стратифицированных медных и свинцово-цинковых месторождений.
- Вып. 6. Региональные и локальные закономерности размещения медно-порфировых месторождений.
- Вып. 7. Региональные и локальные закономерности размещения хромитовых месторождений.
- Вып. 8. Региональные и локальные закономерности размещения месторождений асбеста.
- Вып. 9. Региональные и локальные закономерности размещения эндогенных месторождений алмаза.
- Вып. 10. Региональные и локальные закономерности размещения экзогенных месторождений алмаза.
- Вып. 11. Региональные и локальные закономерности размещения месторождений флогопита.
- Вып. 12. Региональные и локальные закономерности размещения месторождений вермикулита.