

Н. В. ВЛАДЫКИН, М. Д. ДОРФМАН, В. И. КОВАЛЕНКО

**МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ГЕНЕЗИС РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ
ТОПАЗ-ЛЕПИДОЛИТ-АЛЬБИТОВЫХ ПЕГМАТИТОВ
МОНГОЛЬСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

В последнее время в литературе довольно подробно описаны редкометальные натро-литиевые (по А. Е. Ферсману) сподуменовые и бесподуменовые пегматиты (Гордиенко, 1970; Гинзбург, 1955, 1960; Солодов, 1962, 1974, и др.), характерной геохимической чертой которых оказываются высокие содержания редких щелочей и ряда редких элементов при низком содержании фтора (практически при полном отсутствии топаза). Для редкометальных литий-фтористых гранитов (Коваленко и др., 1974) или апрогранитов (Беус и др., 1962) при высоких содержаниях тех же редких щелочей, олова, тантала характерны и высокие содержания фтора, достигающие в субвулканических аналогах литий-фтористых редкометальных гранитах — онгонитах до 2,5—3,0% (Коваленко и др., 1974).

Описываемые в настоящей статье пегматиты в минералогическом и геохимическом аспектах весьма сходны с упомянутыми литий-фтористыми редкометальными гранитами, причем в тех и других выдерживается аналогия даже в парагенезисе редкометальных минералов. В то же время минералогия и геохимия данных пегматитов довольно резко отличается, как уже говорилось, от типичных натрий-литиевых пегматитов. Они не укладываются в классификацию Н. А. Солодова. Все это побудило нас по возможности подробно изучить и описать данные пегматиты, сравнив их как с типичными пегматитами, так и с редкометальными гранитами.

Ранее мы уже писали о некоторых парагенезисах минералов, встречаемых в рассматриваемых пегматитах (Коваленко и др., 1974), и вполне согласны с Л. Н. Россовским (Россовский и др., 1974), что данные пегматиты следует выделить в особый тип топаз-лепидолит-альбитовых пегматитов, причем такое выделение вполне соответствует общим принципам систематики пегматитов (Солодов, 1974). Необходимость выделения такого рода пегматитов в самостоятельный тип подтверждается находками их и в других регионах, например, в США (Rosenberg, 1972). Детальное описание минералогии и геохимии редкометальных пегматитов нового типа приводится, по-видимому, впервые.

Топаз-лепидолит-альбитовые пегматиты района Хух-Дель-Ула в МНР открыты Н. А. Волковым в 1957—1958 гг. Им же составлена первая геологическая карта района и отмечен кварц-альбит-микроклин-лепидолитовый состав пегматитов. Наиболее детальные геологические исследования пегматитового поля проводила геологическая партия Министерства топливно-энергетической промышленности и геологии МНР (МТЭП и ГМНР) под руководством И. Захая в 1968—1969 гг. В 1967 г. пегматиты изучались Л. Н. Россовским. В 1974 г. им опубликовано краткое их описание (Россовский и др., 1974). В 1969 г. с пегматитами ознакомился акаде-

мик Д. С. Коржинский. Детальные работы по минералогии и геохимии пегматитов проводились авторами в период с 1968 по 1972 г.

Предварительное описание пегматитов и их химической характеристики было дано авторами при описании редкометальных гранитоидов МНР (Коваленко и др., 1974).

Пегматитовое поле Хух-Дель-Ула находится в пределах Средне-Гобинского геоантиклинального поднятия раннекаледонской Северо-Монгольской складчатой системы. Вмещающими породами для пегматитовых тел являются докембрийские хлоритовые, хлорит-серицитовые, силлиманитовые и силлиманит-турмалиновые сланцы, реже мраморы, а также порфиридные граниты девонского возраста (рис. 1). Кроме того, на площади поля развития последевонские сиенит-порфиры, кварцевые порфиры и фельзит порфиры. Непосредственных контактов с ними пегматиты не имеют. Контакты тел пегматитов с вмещающими породами резкие, с многочисленными апофизами во вмещающие породы. Вдоль контакта в пегматитах иногда отмечаются ксенолиты вмещающих сланцев. В экзоконтактовой зоне пегматитов наблюдается ослюднение и реже турмалинизация кристаллических сланцев. Состав пегматитов практически не зависит от состава вмещающих пород.

Тела пегматитов развиты на площади около 6 км^2 ($3 \times 2 \text{ км}$). В настоящее время известно около 25 пегматитовых тел жильного типа. Протяженность жил 50—100 м, мощность 1—10 м. Простираение основной массы северо-восточное и северо-западное, реже встречается простираение тел, близкое к широтному. Падение, в основном, вертикальное, реже под углом $30-50^\circ$. По отношению к сланцеватости вмещающих пород жилы бывают и секущие и согласные.

По данным калий-аргонового метода (табл. 1), пегматиты имеют верхнепалеозойский возраст.

В районе пегматитового поля нет подходящих по составу и возрасту гранитов, производными которых могли бы быть эти пегматиты. Поэтому пока трудно генетически связать рассматриваемые пегматиты с какими-

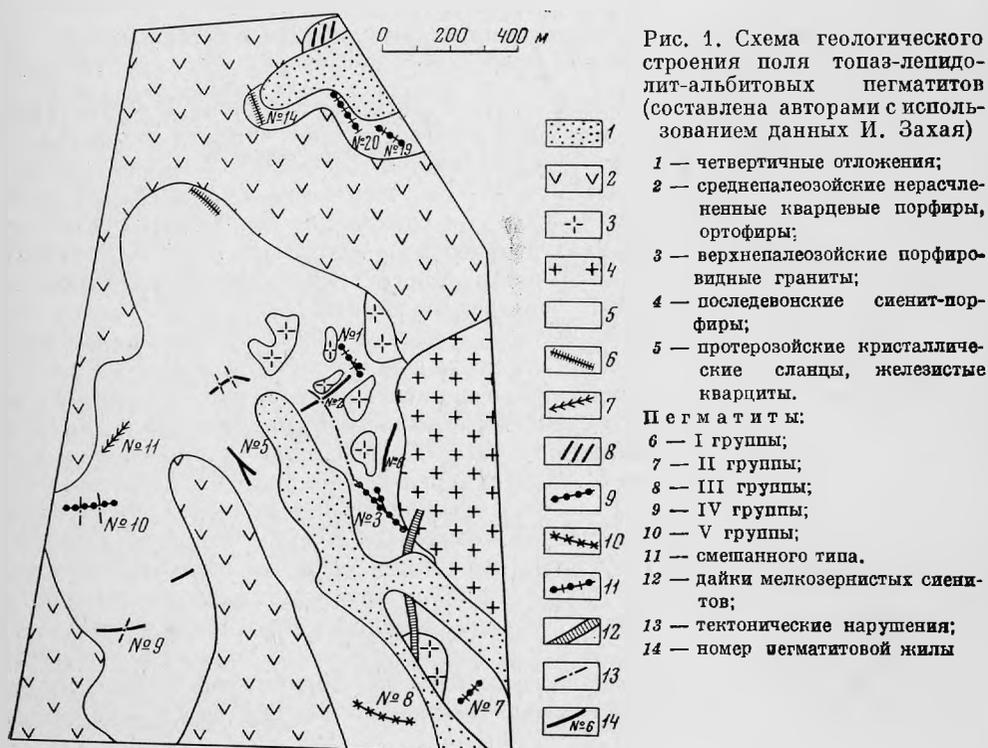


Рис. 1. Схема геологического строения поля топаз-лепидолит-альбитовых пегматитов (составлена авторами с использованием данных И. Захая)

Возраст пегматитов Хух-Дель-Ула

Минерал	Номер образца	Группа пегматита	Номер жилы	Содержание		Возраст, млн. лет
				калия, вес. %	аргона, нмм ³ /г	
Микроклин	525/13	2	11	7,6	0,086	296
Лепидолит	525/14	2	11	8,62	0,13	423
Лепидолит	753/3	3	2	8,2	0,09	327
Микроклин	521/203	4	3	8,7	0,12	336
Лепидолит	754/1	4	3	8,2	0,109	349

Аналитик В. Н. Смирнов.

либо гранитными массивами. Вопрос этот остается открытым. Трудно согласиться с мнением Л. И. Россовского с соавторами (1974) о существовании генетической и геохимической связи пегматитов Хух-Дель-Ула с Хара-Айрацким флюоритовым районом, поскольку флюоритовая минерализация этого района связана со значительно более молодыми магматическими проявлениями и имеет несравненно более широкое распространение на территории Монголии, чем литий-фтористые пегматиты.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕГМАТИТОВ ХУХ-ДЕЛЬ-УЛА И ИХ МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

Пегматитовые тела изученного района по содержанию ведущих (породообразующих) минералов и наличию типоморфных второстепенных можно объединить в пять групп

- I. Шерл-Ли-мусковит-микроклин-альбитовых пегматитов;
- II. Топаз-микроклин-лепидолит-альбитовых пегматитов с манганатитом;
- III. Топаз-лепидолит-альбитовых пегматитов;
- IV. Топаз-лепидолит-альбитовых пегматитов с касситеритом и бериллом;
- V. Эльбаит-лепидолит-альбитовых пегматитов.

Пегматитовые тела первой группы развиты в северной части пегматитового поля. Для них характерно присутствие черного турмалина — шерла. Пегматиты состоят (в %) из кварца (20—30), клеветаландита (20—40), мелкопластинчатого альбита (10—50), шерла (5—30), литиевого мусковита (5—15), микроклина (5—10) и онкозина (до 10). Топаз, лепидолит, берилл и апатит в пегматитах этой группы встречаются реже. Из акцессорных минералов отмечены гранат, касситерит, циркон, халькопирит, флюорит, тантало-ниобат (?), самородное золото.

Внутреннее строение типичного участка пегматитовой жилы представлено на рис. 2. Четкой зональности в ее строении не наблюдается. Западная часть жилы сложена среднезернистым кварц-клеваландит-мусковитовым агрегатом при следующем соотношении минералов (в %): кварца (20—30), глубокого клеваландита (50—70), зеленоватого литиевого мусковита (10—20) и шерла (до 5). В этом агрегате наблюдаются небольшие (до 20 см) блоки микроклина (5—10%), а также шлировые (размером до 20 см) выделения кварц-клеваландит-мусковитовых пород с топазом (до 1%) и лепидолитом (до 1%). Восточная половина обогащена шерлом, входящим в крупнозернистые (индивидуумы до 20 см в поперечнике) кварц-турмалиновые обособления. Участки с топазом и лепидолитом здесь отсутствуют. Порода в целом состоит (в %) из кварца (40—60), шерла (20—30), клеветаландита (10—20), литиевого мусковита (5—15), блокового микроклина (до 10). Все описанные выше породы замещаются зоной (до 2 м мощностью)

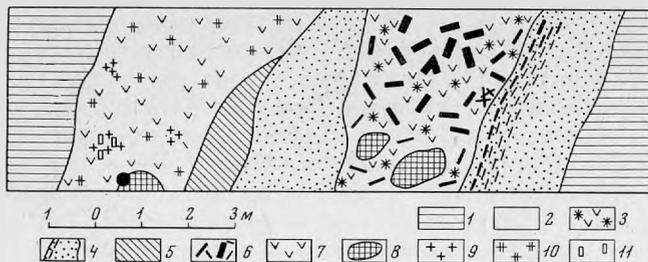


Рис. 2. Схема строения пегматитов первой группы

1 — вмещающие сланцы; 2 — кварц-шерловые агрегаты; 3 — кварц-клевеландит-мусковитовые агрегаты; 4 — альбититы; 5 — зона онкозина. Минералы: 6 — шерл, 7 — клеветандит, 8 — микроклин, 9 — лепидолит, 10 — мусковит, 11 — топаз

мелкопластинчатого альбитита, состоящей (в %) из альбита (60—80), кварца (20—30), шерла (у восточного контакта) (5—10) и мусковита (до 1). Кроме того, в центральной части жилы отмечено развитие наиболее позднего зеленого онкозина, замещающего все описанные минералы.

Вторая группа пегматитов представлена одним пегматитовым телом (жила № 11) в западной части поля. Характерная особенность этого пегматита — наличие в нем крупных кристаллов топаза (до 15 см), зеленоватого (а не розового) марганцового лепидолита (содержание окиси лития 3,88% и окиси марганца 2,45—3,96%) и зеленовато-серого манганопатита (кристаллы размером до 2,5 см). Пегматит состоит (в %) из кварца (10—40), топаза (5—30), лепидолита (5—15), блокового микроклина (10—30), клеветандита (10—15), мелкопластинчатого (сахаровидного) альбита (10—80), берилла (3—5), манганопатита (3—10) и онкозина (5—20).

Внутреннее строение пегматита (рис. 3) представлено зоной блоковых микроклина и кварца с отдельными обособлениями, обогащенными топазом, лепидолитом и клеветандитом. Приконтактовая (юго-восточная) часть пегматита (по типичному разрезу) сложена серым массивным битуминозным блоковым кварцем. Далее следуют участки (до 1 м), состоящие из серого кварца в сростании с крупными кристаллами молочно-белого топаза (до 30%). Структура этого агрегата напоминает графическую. Ближе к центру жилы кварц-топазовые агрегаты чередуются с блоками микроклина (размерами до 20 см) и участками кварц-лепидолит-клеветандитового состава. В центральной (по простиранию) части жилы встречаются

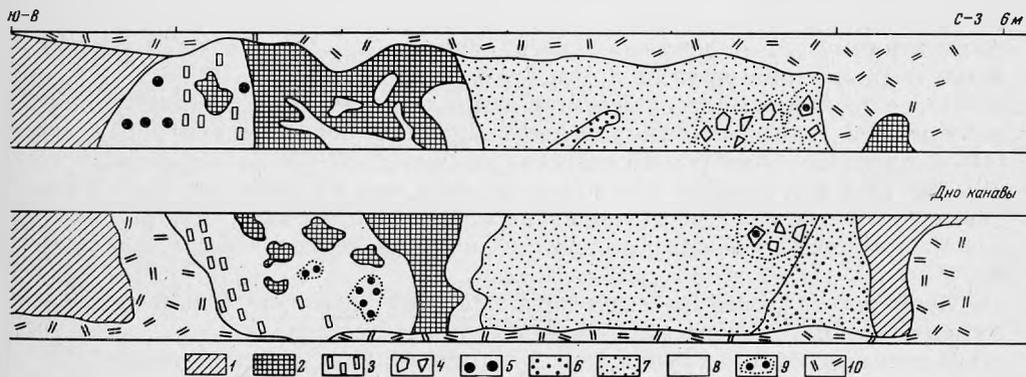


Рис. 3. Строение пегматита второй группы (зарисовка стенок канавы через жилу № 11)

1 — вмещающие сланцы; 2 — кварц серый, массивный, битуминозный; 3 — микроклин крупноблочный; 4 — кристаллы топаза; 5 — серый реликтовый кварц; 6 — лепидолит крупночешуйчатый; 7 — кварц-клеветандит-лепидолитовый агрегат; 8 — лепидолит мелкочешуйчатый; 9 — альбит мелкозернистый (альбитит); 10 — почва

крупнозернистые участки (до 30 см в поперечнике), состоящие (в %) из кварца (30—40), клевеландита (20—30), лепидолита (15—20), берилла (5—10) и манганопатита (до 10). В целом этот участок представляет единую зону неравномерного строения. Зоны альбититов мощностью до 2 м пересекают и цементируют все перечисленные минеральные агрегаты. Альбититы особенно широко развиты в районе северо-западного контакта жилы. Здесь они сложены (в %) агрегатом мелкопластинчатого (сахаровидного) альбита (80), кварца (15), литиевого мусковита (до 5) с видимыми зернышками колумбит-танталита. Иногда в периферических частях зон альбититов встречаются реликты массивного серого кварца с включениями лепидолита.

Из аксессуарных минералов в кварц-топазовых блоках встречены гранат, молибденит и в небольшом количестве циркон и касситерит. В альбититах обнаружены колумбит-танталит, апатит, циркон, ураноторит, пирит, халькопирит и в небольшом количестве касситерит.

Наиболее поздними в рассматриваемом пегматите являются участки онкозинизации и мелкие флюоритовые прожилки. Светло-зеленый онкозин часто развивается по мелким трещинам в топазе и иногда полностью замещает его, образуя псевдоморфозы. Наиболее широко онкозинизация проявлена у юго-западного контакта жилы.

Пегматиты третьей группы, развитые наиболее широко в пределах поля Хух-Дель-Ула, располагаются в центральной его части, образуя полосу, протягивающуюся с северо-востока на юго-запад. Характерная особенность рассматриваемых пегматитов — наличие в них крупных кристаллов (до 5 × 5 × 10 см) розового лепидолита в парагенезисе с топазом и клевеландитом. Пегматит состоит (в %) из кварца (10—30), розового лепидолита (10—30), клевеландита (20—50), топаза (5—10), белого лепидолита (1—5), берилла (1—5), микроклина (1—5), онкозина (1—5), сахаровидного альбита (5—10), мелкозернистого желтоватого мусковита (до 1), апатита (до 0,5) и флюорита (до 1). Из аксессуарных минералов встречены коричневый циркон, медово-желтый пироклор, колумбит-танталит, коричневый и зеленоватый касситерит и магнетит.

Внутреннее строение пегматита этой группы представлено на рис. 4. Зональность в строении этих пегматитов также отсутствует. Они сложены, в основном, среднезернистым агрегатом кварц-клевеландит-лепидолитового состава с топазом и в меньшем количестве с крупными кристаллами (размером до 3 см) микроклина, берилла. Ближе к центральной части тела в нем часто наблюдаются раздувы (по мощности до 1 м), для которых характерен более крупнозернистый пегматит, состоящий (в %) из серого кварца (до 20—30), боченковидных и конусовидных кристаллов розового лепидолита (10—20) и молочно-белого берилла (5—10). Кварц и берилл часто очень похожи друг на друга.

Более поздними образованиями в данных пегматитах оказываются шаровидные и эллипсоидные грейзеноподобные агрегаты (размером до 50 см) кварц-лепидолитового состава (кварца — 40—70%, лепидолита — 30—60). Они встречаются как в центральных, так и в приконтактовых частях пегматитов. Лепидолит в подобных образованиях имеет как розовый, так и белый цвет, причем у розового (данные см. ниже в табл. 5, анализы 16, 17).

Прожилки и линейные зоны сахаровидного альбитита с видимым колумбит-танталитом пересекают все описанные породы.

В пегматитах этой группы наблюдаются мелкозернистые кавернозные участки, сложенные кварц-мусковит-флюоритовым комплексом, развивающимся по ранним минералам. Онкозин в этих телах встречается редко.

Пегматитовые тела четвертой группы встречены в юго-восточной и юго-западной окраинах поля (жилы 3 и 10). Особенность этих пегматитов — наличие в них крупных кристаллов (до 5 см) двух лепидолитов (розового и белого) примерно в равных количествах, большое количество топаза,

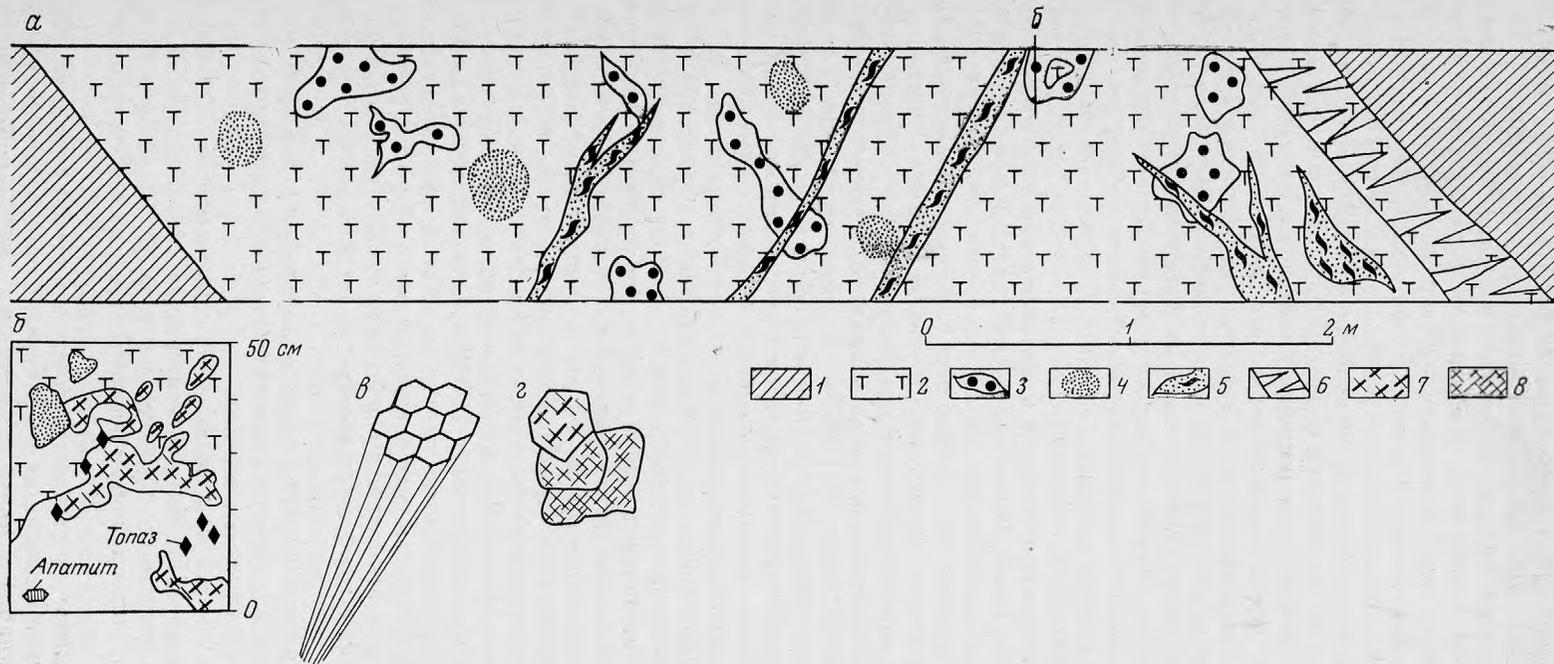


Рис. 4. Строение пегматита третьей группы (а — зарисовка жилы № 2)

- | | | |
|--|--|--|
| 1 — вмещающие сланцы; | 5 — альбит мелкозернистый, поздний; | 6 — соотношение минералов в блоках крупнозернистого кварца; |
| 2 — кварц-клевеландит-лепидолитовый агрегат с топазом; | 6 — кварц-клевеландитовый агрегат с крупными кристаллами кварца; | а — схема строения клиновидного сростка кристаллов лепидолита; |
| 3 — блоки крупнозернистого пегматита со скоплениями кристаллов лепидолита; | 7 — лепидолит фиолетовый; | б — соотношение белого и фиолетового лепидолитов |
| 4 — грейзеноподобные образования кварц-лепидолитового состава; | 8 — лепидолит белый | |
| | Детали: | |

берилла и крупных (до 5 см) кристаллов коричневатого черного касситерита.

Пегматиты состоят (в %) из кварца (20—30), розового лепидолита (10—15), белого лепидолита (10—20), микроклина (20—30), клевеландита (20—50), топаза (10—30), берилла (5—10), сахаровидного альбита (5—10), онкозина (5—10), мелкочешуйчатого мусковита (5—10), касситерита (3—10) и флюорита (до 1). Из аксессуарных минералов обнаружены пироклор, колумбит-танталит, циркон, апатит и магнетит (редко).

Пегматитовые тела этой группы имеют, в основном, крупнозернистое строение. Призальбандовые части тел сложены среднезернистым кварц-микроклиновым агрегатом, иногда с графическими прорастаниями кварца. К центру жилы они сменяются более грубозернистым агрегатом, состоящим из блоковых микроклина и кварца, клевеландита, лепидолита. Ближе к центру появляются участки, сложенные крупными (до 50 см) блоками кварц-топазового графического агрегата, чередующиеся с участками кварц-топаз-лепидолитового (розового) и кварц-микроклин-лепидолитового составов и блоками микроклина. Во всех этих крупнозернистых участках пегматитов присутствуют агрегаты пластинчатого клевеландита, который местами образует кварц-клевеландитовые гнезда размером до 40 см. В целом весь грубозернистый пегматит центральной части рассматриваемых жил по минеральному составу близок к пегматиту третьей группы, но обогащен по сравнению с ним блоковым микроклином, белым лепидолитом и бериллом. Реже, чем в пегматитах третьей группы, встречаются шаровидные участки кварц-лепидолитовых грейзеноподобных пород, которые не имеют строгой приуроченности к каким-либо описанным выше участкам или агрегатам пегматитов. Почти мономинеральные альбититы по зонам дробления секут все эти пегматитовые образования. Наблюдается замещение клевеландита тончайшими сростками мелкопластинчатого альбита (Россовский и др., 1971), причем псевдоморфозы приобретают фарфоровидный облик. В зоне контакта агрегатов клевеландита с крупнозернистыми кварц-топаз-лепидолитовыми участками пегматитов часто встречаются довольно крупные выделения берилла, касситерита и белого лепидолита. Белый лепидолит часто обрастает кристаллы розового лепидолита и является несколько более поздним по отношению к последнему. Крупные выделения касситерита (до 3 см) наблюдаются в кварц-топазовом графическом агрегате, кварц-микроклин-топазовых породах и чисто кварцевых обособлениях. В центральной части жилы № 10 в блоках средне- и крупнозернистого пегматита кварц-микроклин-лепидолит-альбитового состава встречаются шаровидные обособления (10 см в поперечнике), состоящие из сахаровидного альбита с колумбит-танталитом.

Поздние образования восточного и западного пегматитовых тел несколько различаются: в восточном теле (жила № 3) довольно широко развиты поздний кварц-мусковит-флюоритовый комплекс и реже онкозинизация; в западном теле (жила № 10) кварц-мусковит-флюоритовый комплекс почти не отмечается, но довольно интенсивно (особенно по топазу) развита онкозинизация. В экзоконтакте жил наблюдается небольшая (до 10 см) зона ослюденения.

Пегматиты пятой группы представлены единственным телом (жила № 8) в южной части поля. Характерная его особенность — наличие эльбаита и почти полное отсутствие микроклина.

Пегматит состоит (в %) из кварца (20—30), клевеландита (20—50), полихромного эльбаита (5—15), белого лепидолита (10—20), онкозина (10—40), топаза (до 1), апатита (до 1) и флюорита (до 1). Из аксессуарных минералов встречены: пироклор, колумбит-танталит, касситерит, гранат, ураноторит.

Пегматитовое тело имеет, в основном, среднезернистое строение. На южном контакте пегматита с силлиманитовыми сланцами, в экзоконтакте пегматита, образуется кварц-мусковит-турмалиновая зона мощностью до 10 см. Эндоконтактная часть пегматита (мощностью до 50 см) сложена

кварц-лепидолит-клевеландитовой породой с мелкими ($1 \times 1 \times 5$ мм) кристаллами голубоватого индиголита. Кварца в этой зоне — 20—30%, клеветандита — 40—50%, лепидолита — 15—20%. Лепидолит имеет белый цвет; размер кристаллов достигает 15 см. По текстурным признакам выделения лепидолита несколько напоминают «барботовы глаза». По контакту зерен минералов (между спайными пластинками лепидолита и между их кристаллами) часто наблюдаются пленки фиолетового флюорита. Центральная часть жилы (мощностью до 4 см) состоит из кварц-клевеландит-турмалинового агрегата при следующем соотношении минералов (в %): кварца (~30), эльбаита (10—20), клеветандита (40—50), белого лепидолита (1—5), онкозина (10—30). Эльбаит образует непрозрачные вытянутые призматические кристаллы (размерами $0,3 \times 0,3 \times 5$ см), розовой, зеленоватой, синеватой и белой окраски. Он располагается в клеветандитовом агрегате, причем направление вытянутости кристаллов турмалина совпадает с направлением вытянутости лейст клеветандита. Лепидолит приурочен, в основном, к выделениям кварца. Онкозин развивается по турмалину, образуя часто полные псевдоморфозы, причем цвет турмалина сохраняется. В центральной части этой зоны встречаются округлые грейзеноподобные участки размером до 50 см, состоящие из мелкозернистого кварца (40—60%) и мелкочешуйчатого белого лепидолита (40—60%). Северная часть пегматита (размером до 2 м) до самого северного контакта со сланцами была подвержена сильной онкозинизации. В почти мономинеральном онкозине встречаются реликты (до 20 см) кварц-клевеландит-турмалинового пегматита.

Основная черта всех групп пегматитов — отсутствие четкой зональности, присутствие топаза и литиевых слюд. Следует подчеркнуть, что встречаются пегматитовые тела с промежуточным между выделенными типами составом (жилы № 1, № 20, № 7 и др.). Это указывает на генетическое родство пегматитовых жил и возможность взаимных переходов.

Общая зональность пегматитового поля Хух-Дель-Ула может быть представлена следующей схемой.

Пегматиты третьей группы занимают центральную часть поля и располагаются в зоне, протягивающейся с северо-востока на юго-запад. В этой группе пегматитов накапливаются литий, фтор, ниобий, тантал и, в меньшей степени, бериллий. В них развиваются грейзеноподобные кварц-лепидолитовые породы, проявлена поздняя альбитизация и почти не отмечается онкозинизации.

Пегматитовые тела четвертой группы располагаются на юго-западной и юго-восточной окраинах поля. В них накапливаются литий, фтор, олово, бериллий, ниобий и тантал, но они беднее литием и фтором по сравнению с пегматитами третьей группы. В этой группе пегматитов грейзеноподобные образования встречаются редко, довольно широко проявлена поздняя альбитизация, присутствует кварц-мусковит-флюоритовый замещающий комплекс и часто наблюдается онкозинизация.

Для северной и южной окраин поля характерны проявления минерализации бора. В северной части развита первая группа ранних пегматитов, обладающая борной спецификой. Здесь произошло накопление ниобия и тантала; концентрации лития и фтора низкие. В этих пегматитах имеет место поздняя альбитизация и в меньшей степени проявлена онкозинизация. На южной окраине поля при наличии борной специфики накапливается также литий, ниобий, тантал и в меньшей степени фтор. Поздняя альбитизация проявлена слабо, но интенсивно проявлены процессы онкозинизации и поздней флюоритизации.

Вмещающие породы на состав пегматитов влияния почти не оказывают, влияние же пегматитов на вмещающие породы выражается в образовании экзоконтактовых кварц-мусковит-турмалиновых и кварц-мусковитовых зон мощностью не выше 10—20 см.

МИНЕРАЛОГИЯ ПЕГМАТИТОВ

В пегматитах района Хух-Дель-Ула к настоящему времени установлены 31 минеральный вид и их разновидность; ниже приводим полный список в соответствии с кристаллохимической классификацией (Штрунц, 1962).

1. Самородные элементы. Золото.
2. Сульфиды. Халькопирит, молибденит, пирит.
3. Галогениды. Флюорит.
4. Окислы и гидроокислы. Магнетит, кварц, касситерит, пироклор, колумбит-танталит.
5. Сульфаты. Барит.
6. Фосфаты. Апатит, манганопатит, монацит.
7. Силикаты. Циркон, ураноторит, гранат, топаз, андулузит, берилл; турмалины: шерл, шерл-дравит, эльбаит, индиголит; слюды: мусковит, лепидолит, циннвальдит, онкозин; полевые шпаты: микроклин, клевеландит, альбит сахаровидный.

Из перечисленных минералов преобладают силикаты, пользующиеся наибольшим распространением. В целом, среди минералов пегматитов выделены главные породообразующие, составляющие более 5, второстепенные — более 0,1 и редкие — менее 0,1 %. В такой последовательности и будут описаны минералы. Так как главное, чем отличается описываемый тип пегматитов, — высокие концентрации в нем фтора и лития, то особое внимание при изучении пегматитов уделялось слюдам, топазу, бериллу, турмалинам и апатитам. Эти минералы описаны нами более подробно.

Кварц

Кварц — ведущий минерал пегматитов всех выделенных групп. Несмотря на колебания содержания кварца в различных структурных разновидностях пегматитов, среднее содержание его в пегматитах всех групп составляет 25—35 %. Изучение взаимоотношений кварца с другими минералами показывает, что кварц кристаллизовался на всех этапах формирования пегматитов.

Ранний кварц — обычно темного цвета с большим количеством газожидких включений, иногда с битуминозными включениями (при ударе издает неприятный запах). Кварц встречается в ассоциации со всеми изученными минералами, образуя с топазом и реже с микроклином графические срастания. В грейзеноподобных образованиях кварц отмечается в тонких срастаниях с лепидолитом (при среднем размере зерен в агрегатах 0,1 мм). В еще более поздних образованиях кварц входит в состав мусковит-флюоритового замещающего комплекса, причем в пустотах породы

Т а б л и ц а 2

Содержания калия, натрия и некоторых редких элементов в кварцах (в $n \cdot 10^{-4} \%$)

Номер образца	Характеристика минерала	Группа пегматитов	Номер жилы	K	Na	Li	Rb	Cs	Pb	Sn	Zn	Tl	Be
525/121	Ранний	2	11	400	400	158	—	—	2	1	—	—	5,1
803/15	»	3	9	600	700	126	19	—	Сл.	1	—	13	30
521/52	»	3	6	1600	600	161	69	—	2,5	4	30	—	48
52/55	Поздний	3	6	2600	1800	274	23	—	Не обн.				
521/201	Ранний	4	3	3400	1600	280	123	6	3,5	6	—	9	23
802/7	»	4	10	700	600	—	—	—	Сл.	—	—	12	34

образует ограниченные белые кристаллы размером до 0,5 см. В кварцах из пегматитов Хух-Дель-Ула отмечаются относительно высокие концентрации щелочей, лития, таллия и бериллия (табл. 2). Не исключено, что во многих случаях повышение содержания отмеченных элементов может быть связано с многочисленными газовой-жидкими включениями. Почти полностью отсутствует в кварцах цезий.

Полевые шпаты

Микроклин. Микроклин — один из породообразующих минералов пегматитов, распределение его по группам пегматитов неравномерное. Наиболее распространен микроклин в пегматитах второй и четвертой групп, где он выделяется часто в виде блоков (до 20 см в поперечнике) и среднезернистых агрегатов. В пегматитах первой и третьей групп микроклин встречается реже, а в пегматитах пятой — практически отсутствует. Цвет микроклина серый, реже белый. По рентгеновским данным (табл. 3)

Таблица 3

Состав микроклинов по данным рентгеноструктурного анализа

Номер пробы	Группа пегматитов	№ жилы	Альбит		Микроклин		Триклинность
			% вал.	Аб, %	% вал.	Аб, %	
1108/3	I	14	40	97,6	60	3,8	0,90
801/8	II	11	40	94,6	60	0,0	0,92
804/133	II—III	20	10	100,0	90	3,8	0,96
802/4	IV	10	20	100,0	80	3,0	0,96
521/203	IV	3	5	98,6	95	1,0	0,00

Аналитик Г. Г. Афонина.

триклинность микроклинов близка к единице. Однако в пегматите четвертой группы встречен ортоклаз с триклинностью, равной нулю. Для микроклинов Хух-Дель-Улы характерны довольно высокие концентрации натрия (табл. 4), причем наиболее высоко содержание натрия в микроклине из пегматита первой группы. Содержание рубидия возрастает от микроклинов из пегматитов первой группы к пегматитам четвертой. Концентрация цезия, свинца, таллия и бериллия не подчиняется определенным закономерностям в микроклинах разных групп. Содержание цинка в микроклинах довольно постоянное и равно 0,002%. Оловом обеднены микроклины первой и второй групп.

Плагиоклазы. По морфологическим признакам, парагенезису и времени образования среди плагиоклазов можно выделить крупнопластинчатый клевеландит и мелкопластинчатый (в части «сахаровидный») альбит.

Клевеландит является одним из главных породообразующих минералов пегматитов и встречается во всех группах. Количество его в пегматитах различных групп и в разнообразных минеральных агрегатах, заключенных в них, варьирует в широких пределах, но в среднем составляет 20—35%. Он встречается в ассоциации с кварцем, микроклином, лепидолитом, топазом, бериллом. Цвет клевеландита — белый, сероватый; в пегматитах первой группы наблюдается зеленовато-голубая его разность. Размер выделений минерала варьирует от 1 до 6 см. Состав колеблется от № 8 до № 15. Наиболее высокие содержания натрия наблюдаются в голубом клевеландите из пегматитов первой группы. По сравнению с клевеландитами сподуменовых пегматитов (Гордиенко, 1970) наши клевеландиты

Таблица 4

Содержания калия, натрия (в вес. %), редких щелочей и др. редких элементов (в $n \cdot 10^{-2}$ %) в полевых шпатах из пегматитов Хух-Дель-Ула

№ анали- зов	Номер пробы	Группа пегматита	Состав по хи- мическим данным	Микроклин										
				K	Na	Li	Rb	Cs	Pb	Sn	Zn	Tl	Be	
1	1108/3	I	Орт ₄₉ Аб ₅₁	6,90	4,49	7	1653	44	13,5	7	20	10	9,8	
2	801/8	II	Орт ₅₆ Аб ₃₈	7,89	3,29	53	1765	25	21,0	6,2	20	18,2	1,9	
3	804/133	II—III	Орт ₆₀ Аб ₂₀	8,39	1,64	14	2035	284	48,0	25,0	20	16,0	10	
4	804/134	II—III	Орт ₆₈ Аб ₂₄	9,59	2,09	—	2142	192	35,5	45,0	20	16,5	7,3	
5	521/10	III	Орт ₆₆ Аб ₂₄	9,29	2,09	107	2882	79	80	28	44	Не опр.	14,5	
6	802/4	IV	Орт ₆₃ Аб ₂₃	8,79	2,00	15	2532	56	12,5	11,0	20	14,5	26	
7	521/203	IV	Орт ₆₅ Аб ₁₈	9,03	1,60	175	3005	184	64	15	—	Не опр.	7,0	
				Клевеландит										
8	1108/2	I	Орт ₂ Аб ₉₆	0,31	8,39	—	42	3	18,0	6,0	20	1,3	16	
9	801/14	II	Орт ₃ Аб ₇₉	0,36	6,89	141	89	—	14,0	4,7	20	8,2	5,6	
10	804/135	II—III	Орт ₃ Аб ₇₆	1,89	6,69	35	379	22	15	14	25	7,2	34	
11	521/9	III	Орт ₆ Аб ₈₇	0,91	7,59	21	129	—	19	28	20	17	9,5	
12	803/16	III	Орт ₅ Аб ₇₆	0,73	6,69	107	435	85	12,5	14	25	9,1	3,7	
13	802/6	IV	Орт ₄ Аб ₈₂	0,51	7,19	12	85	—	9,1	6,3	25	29	21	
14	800/12	V	Орт ₁ Аб ₈₃	0,60	7,69	193	171	27	30	19	20	8,2	38	
				Мелкопластинчатый (сахаровидный) альбит										
15	1108/1	I	Орт ₁ Аб ₉₆	0,21	8,39	—	40	—	15	1,6	30	0,7	55	
16	801/5	II	Орт ₂ Аб ₉₁	0,31	8,00	99	33	—	7,2	2,2	20	3,1	3,6	
17	804/136	II—III	Орт ₃ Аб ₈₉	0,41	7,79	—	59	—	7,2	9,0	34	7,6	3,8	
18	521/51	III	Орт ₂ Аб ₉₆	0,28	8,33	17	26	—	9,0	11,5	40	12,0	5,5	
19	803/10	III	Орт ₁ Аб ₈₉	0,09	7,79	12	4	—	8,3	1,2	20	0,5	2,0	
20	802/8	IV	Орт ₁ Аб ₉₃	0,13	8,03	—	8	—	10,0	36	20	0,5	9,3	

характеризуются более высокими содержаниями калия, рубидия, цезия и бериллия, которые, однако, сильно колеблются (см. табл. 4).

Мелкопластинчатый и сахаровидный альбит представляют собой позднюю разновидность плагиоклаза и встречаются в парагенезисе с кварцем, аксессуарным колумбит-танталитом и реже лепидолитом, мусковитом и турмалином. В альбититах их количество доходит до 80%. Часто сахаровидный альбит развивается по всем ранним минералам. Отмечена его перекристаллизация с образованием микрозернистого альбита (Россовский и др., 1971). По составу клеветландит отвечает альбиту № 0—№ 5. Содержание редких элементов в альбите представлено в табл. 4. Поздние альбиты, в среднем, обеднены литием, рубидием, свинцом, оловом, таллием и бериллием.

Слюды

Из группы слюд в пегматитах Хух-Дель-Ула встречены лепидолит, литиевый мусковит, мусковит, онкозин (тонкозернистый мусковит), циннвальдит и биотит. Наибольшим распространением в пегматитах пользуются лепидолит и онкозин. Циннвальдит и биотит встречаются лишь в контактовой зоне пегматитов жилы № 1 и то очень редко.

Химические составы слюд приведены в табл. 5.

Лепидолит — характерный типоморфный минерал всех пегматитов поля, однако в различных группах пегматитов он распространен неодинаково.

Наибольшие содержания лепидолита отмечены в пегматитах второй, третьей и четвертой групп (10—30%), несколько меньше его в пятой группе пегматитов (10—20%). В пегматитах первой группы лепидолит встречается редко и количество его не превышает 1%.

Можно различать крупно-, средне- и мелкозернистые выделения лепидолита. Крупнокристаллический лепидолит входит в состав кварц-лепидолит-клевеландитовых, топаз-лепидолит-клевеландитовых и топаз-лепидолит-кварцевых крупнозернистых агрегатов, где количество его достигает 30%. Здесь он образует боченковидные и конусовидные кристаллы размером до $12 \times 5 \times 5$ см. Крупнокристаллический лепидолит встречается в ассоциации с кварцем, клеветландитом, топазом, микроклином, бериллом, манганопатитом. Среднезернистый лепидолит, находящийся в ассоциации с кварцем, клеветландитом, реже топазом и эльбаитом, образует сравнительно мелкие ($6 \times 6 \times 2$ мм) таблитчатые кристаллы и их агрегаты.

Мелкозернистый лепидолит (зерно — меньше 1 мм) встречается в кварц-лепидолитовых грейзеноподобных породах, где количество его достигает 40%.

По цвету можно выделить три разновидности лепидолита: зеленоватый, розовый и белый. Зеленоватый — встречается в пегматитах второй группы (жила № 11) и пегматитовых телах, по составу переходных между второй и третьей группой (жила № 20). Он образует крупные (до 5 см) таблитчатые кристаллы и отмечается в ассоциации с кварцем, микроклином, топазом, бериллом, манганопатитом. По трещинкам эта разновидность лепидолита пересекается прожилковидными агрегатами сахаровидного альбита. В небольшом количестве (до 5%) мелкозернистый зеленоватый лепидолит встречается в поздних альбититах — составляющих пегматитов этих же групп. С белым и розовым лепидолитом он совместно не наблюдался. По химическому составу зеленоватый лепидолит отличается от его розовых аналогов относительно невысокими содержаниями лития (3,88%) и фтора (6,09) и высокой концентрацией марганца (2,45—3,96%).

Вероятно высоким содержанием марганца обусловлен и зеленоватый цвет данного лепидолита. В структурном отношении для этих лепидолитов характерен политип 1М. При дальнейшем описании данный лепидолит будем называть марганецсодержащим.

Лепидолит розового цвета имеет наибольшие распространения и встречается в пегматитах третьей и четвертой групп. Он находится в ассоциации с кварцем, клеветландитом, топазом, микроклином, бериллом, белым лепидолитом. Кроме того, розовый лепидолит широко развит в грейзеноподобных образованиях. Его зерна бывают крупными (до $12 \times 5 \times 5$ см) и мелкими (до $1 \times 0,5$ мм). Крупные кристаллы розового лепидолита часто обрастают с периферии белым лепидолитом. В кавернозных образованиях позднего кварц-мусковит-флюоритового комплекса в пегматитах встречаются отдельные мелкие призматические кристаллы розового лепидолита, окаймленные и, по-видимому, частично замещенные белым мусковитом.

Содержания окиси лития и фтора в розовых лепидолитах колеблются в пределах 3,84—5,45 и 5,75—8,51%, соответственно. Причем именно в розовом лепидолите встречаются наивысшие для пегматитов Хух-Дель-Ула содержания лития (5,45%) и фтора (8,51%). Если розовый и белый лепидолит встречаются совместно (см. табл. 5, №№ 11—12, 14—15, 16—17, 18—19 и 20—21), то в розовом лепидолите всегда содержания лития и фтора выше, чем в белом. В структурном отношении для розовых лепидолитов характерна смесь политипов $2M_2 + 2M_1$ и в единичных случаях встречаются полиморфные модификации 1М и $2M_1$.

Таблица 5

Химический состав слюды из пегматитов Хух-Дель-Ула, вес. %

№ анали- зор	Номер пробы	Номер жидлы	Подтип пегматита	Характеристика слюды и парагенезис	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO
1	XX-804/10	14	I	Белый мусковит, перл-мусковит-альбит	44,85	0,25	32,23	0,43	2,25
2	XX-1108/4	14	I	Розоватый лепидолит, перл-мусковит-альбит	50,83	0,06	24,68	0,21	0,35
3	XX-1108/7	14	I	Зеленоватый онкозин	45,55	0,09	36,30	1,13	0,11
4	XX-525/14	11	II	Зеленоватый лепидо- лит, топаз-микроклин- альбит	48,48	0,25	24,82	0,11	1,08
5	XX-2	11	II	То же	47,80	—	26,20	1,92	—
6	XX-1	11	II	Розовый онкозин	45,35	—	36,68	0,48	—
7	XX-804/137	20	II—III	Белый лепидолит, то- паз-микроклин-альбит	49,67	0,10	23,90	0,18	0,72
8	XX-753/1	2	III	Розоватый лепидолит- топаз-альбит	50,30	—	26,50	0,06	—
9	XX-753/2	2	III	То же	49,72	—	26,79	—	—
10	XX-753/3	2	III	»	50,30	0,05	26,34	—	0,08
11	XX-3	2	III	»	49,56	—	26,40	0,72	—
12	XX-4	2	III	Белый микроклин, топаз альбит	50,04	—	27,10	0,72	—
13	XX-521/II	6	III	Розовый лепидолит, топаз-альбит-микро- клин	49,09	0,09	25,66	0,10	—
14	XX-525/241	9	III	Розовый лепидолит, топаз-альбит	50,12	—	25,82	0,12	0,82
15	XX-525/242	9	III	Белый лепидолит, то- паз-альбит	50,22	—	24,96	0,24	1,75
16	XX-525/23	9	III	Розовый лепидолит, кварц-лепидолитовый грейзен	50,11	0,04	25,15	0,49	—
17	XX-803/6a	9	III	Белый лепидолит, кварц-лепидолитовый грейзен	50,82	0,05	27,41	0,24	0,11
18	XX-802/36	10	IV	Розовый лепидолит, топаз-микроклин-аль- бит	51,48	0,10	24,25	0,10	0,10
19	XX-802/3a	10	IV	Белый лепидолит, то- паз-микроклин-альбит	54,35	0,12	26,34	0,28	0,35
20	XX-754/1a	3	IV	Розовый лепидолит, топаз-микроклин-аль- бит	48,00	—	27,18	0,10	0,62
21	XX-754/26	3	IV	Белый лепидолит, то- паз-микроклин-альбит	48,08	—	23,83	0,82	1,83
22	XX-766	8	V	Белый лепидолит, эльбаит-альбит	49,40	0,04	29,08	0,18	0,03
23	XX-525/40	8	V	Белый лепидолит, ин- диголит-альбит-флюо- рит	50,46	0,05	25,39	0,12	—
24	XX-804/4	2	III	Красноватый цинн- вальдит, экзоконтак- товая зона	41,49	2,14	22,22	1,84	9,61

Аналитики: Г. С. Гормашева (анализы № 1, 3, 4, 16, 17, 22—24) 1971 г.; В. Б. Бондаренко (ана-
лизы № 2, 7—10, 13, 18, 19) 1972 г.; В. А. Писарская (анализы № 14, 20, 21) 1968 г.; А. И. Гусева
(анализы № 5, 6, 11, 12) 1970 г.

П р и м е ч а н и е. Анализ № 10 — эталонный лепидолит, среднее из 10 химических анализов.

MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Li ₂ O	Rb ₂ O	Cs ₂ O	H ₂ O	F	P ₂ O ₅	-O=F ₂	Сумма
0,64	0,50	0,66	10,11	1,62	1,04	0,52	0,04	3,32	1,20	He onp.	0,51	99,15
1,45	0,17	0,41	9,87	0,38	4,26	0,93	0,22	2,69	6,25	0,02	2,63	100,15
0,39	0,38	0,41	10,84	0,39	0,06	0,37	0,01	3,86	0,72	He onp.	0,30	100,31
2,45	—	—	10,38	0,54	3,88	0,77	0,48	2,55	6,40	He onp.	2,69	99,50
3,96	0,45	0,28	10,54	0,40	3,81	0,95	0,13	0,48	6,09	—	2,56	100,45
0,40	0,34	0,12	11,23	0,39	0,64	0,50	0,01	3,24	1,32	—	0,55	100,15
0,87	0,08	0,26	11,10	0,38	4,83	0,75	0,10	2,77	6,50	0,38	2,73	99,86
0,28	—	0,25	10,20	0,93	5,48	0,90	0,08	1,24	8,00	—	3,37	100,85
0,29	—	0,16	10,40	0,42	5,54	0,90	0,05	1,93	7,60	—	3,20	100,60
0,31	0,07	0,25	10,21	0,65	5,25	0,97	0,09	1,63	7,63	0,09	3,21	100,71
0,33	—	0,20	10,60	0,54	5,45	0,97	0,08	0,45	8,51	—	3,56	100,25
0,46	0,17	0,28	10,35	0,80	4,96	0,90	0,08	0,36	7,12	—	2,99	100,35
0,44	0,08	0,61	9,83	1,50	5,05	0,88	0,11	2,05	6,50	0,24	2,73	99,50
0,85	0,17	1,08	10,06	0,53	4,04	0,80	0,13	1,56	6,80	0,37	2,86	100,41
1,59	0,88	1,67	9,30	0,36	3,00	0,74	0,04	1,98	4,60	0,06	1,93	99,46
0,19	0,21	1,40	10,54	0,67	3,84	1,09	0,32	2,12	6,00	He onp.	2,52	99,35
0,12	0,17	0,35	9,51	1,32	3,53	0,76	0,16	2,16	4,60	—	1,94	99,37
0,85	0,17	1,05	11,06	0,53	4,04	0,80	0,13	1,56	6,80	3,37	2,86	100,53
0,66	0,28	0,51	10,55	0,60	1,45	0,50	0,03	2,21	1,75	0,07	0,73	99,32
0,49	0,94	1,52	8,67	1,25	4,86	0,74	0,06	2,05	5,75	0,05	2,47	99,81
0,32	0,64	2,37	8,96	0,93	4,62	0,78	0,04	3,26	4,70	0,08	1,98	99,34
0,04	0,04	0,18	10,82	0,67	3,62	0,76	0,92	2,16	4,60	—	1,93	100,61
0,02	—	0,32	9,72	0,81	5,03	0,83	0,48	1,45	8,20	—	3,45	99,43
0,08	3,89	0,54	10,11	0,62	2,28	0,92	0,05	1,31	4,40	—	1,85	99,66

Лепидолиты белого цвета отмечены в пегматитах четвертой, пятой и реже третьей групп. Они встречаются как в крупно- и среднезернистых пегматитах, так и в мелкозернистых грейзеноподобных кварц-лепидолитовых агрегатах. В крупно- и среднезернистых пегматитах третьей и четвертой групп белые лепидолиты образуются в ассоциации с кварцем, клевеландитом, розовым лепидолитом, бериллом, топазом, микроклином и касситеритом. Причем в пегматитах четвертой группы белый лепидолит преобладает над розовым. Белый лепидолит образует обычно таблитчатые кристаллы до 4 см в поперечнике. Иногда он, как уже говорилось, обрастает кристаллы розового лепидолита. Содержания окиси лития в белых лепидолитах из пегматитов этих групп колеблются от 3,00 до 4,62%, а фтора — от 4,60 до 7,12%. Белая разность чаще всего образует смесь политипов $2M_2 + 2M_1$, а образцы из грейзеноподобного агрегата (табл. 5, ан. 17) показывают полиморфную модификацию $2M_1$.

Несколько отличаются от описанных белый лепидолит из пегматитов пятой группы. Здесь его кристаллы встречаются либо в парагенезисе с альбитом, клевеландитом и кварцем (центральная часть пегматитового тела, чешуи размером до 0,5 см, с относительно низкими содержаниями окиси лития — 3,62 и фтора 4,60%), либо в парагенезисе с кварцем, клевеландитом, индиголитом и флюоритом (призальбандовая часть пегматита). Размер зерен лепидолита в данном случае колеблется от 0,5 до 1,5 см. В призальбандовом лепидолите по спайности часто наблюдаются пленки флюорита, в связи с чем он приобретает слабофиолетовый оттенок. Этот лепидолит содержит 5,03% окиси лития и 8,20% фтора. Оба лепидолита из пегматита пятой группы в структурном отношении образуют смесь политипов $1M + 1M_1$.

Литиевый мусковит широко развит в пегматитах первой группы в парагенезисе с шерлом, клевеландитом и кварцем. Он образует таблитчатые кристаллы размером до 2 см в поперечнике. Цвет мусковита — белый, слегка зеленоватый. Содержание окиси лития в нем колеблется от 0,43 до 1,04%. Литиевый мусковит также встречен в небольшом количестве в пегматите четвертой группы (жила № 10), где он образует таблитчатые кристаллы белого цвета, размером до 0,5 см и находится в ассоциации с кварцем, клевеландитом, розовым лепидолитом и бериллом. Этот литиевый мусковит содержит 1,45% окиси лития и 1,75% фтора.

В результате поздних процессов оба литиевых мусковита замещены сахаровидным альбитом и онкозином.

Мусковит является составной частью позднего кварц-мусковит-флюоритового комплекса в пегматитах третьей и четвертой групп. Он образует мелкозернистые агрегаты вместе с поздним кварцем и флюоритом в кавернозных, по-видимому, выщелоченных участках пегматита. В пустотах находятся таблитчатые кристаллы в сростаниях с ограненными кристаллами кварца и флюорита. В структурном отношении этот мусковит относится к политипной модификации $2M_1$.

Онкозин — тонкозернистый (до микрокристаллического) мусковит встречается во всех группах пегматитов. Особенно широко он развивается по топазу и турмалину, образуя иногда псевдоморфозы. В онкозиновом агрегате иногда встречаются реликты лепидолита. Онкозин имеет белый, зеленоватый и розово-фиолетовый цвет. Под микроскопом он представляет собой очень мелкозернистый сливной мономинеральный слюдистый агрегат. Онкозины разного цвета не отличаются содержаниями алюминия и кремния: в зеленом онкозине содержание окиси лития колеблется от 0,06 (при 0,72% фтора) в пегматитах первой группы, до 0,64 — в остальных пегматитах; в фиолетовом онкозине по топазу содержание Li_2O равно 0,64% и фтора 1,32%, а в онкозине по турмалину Li_2O 0,62%. По-видимому, существует зависимость содержания лития в онкозине от количества его в исходном пегматите.

Для онкозина по турмалину (жила № 8) характерна смесь полиморфных модификаций $2M_2 + 2M_1$, а по топазу развивается политип $2M_1$.

Таблица 6

Кристаллохимические формулы слюд *

Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
K	0,87	0,86	0,92	0,91	0,89	0,96	0,96	0,86	0,88	0,86	0,90	0,87	0,85	0,94	0,81	0,90	0,80	0,94	0,88	0,74	0,77	0,92	0,83	0,92
Na	0,21	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,12	0,06	0,08	0,07	0,10	0,19	0,06	0,05	0,08	0,17	0,07	0,07	0,16	0,12	0,08	0,11	0,09
Ca	0,04	0,03	0,03	—	—	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,07	0,12	0,10	0,03	0,07	0,04	0,11	0,17	0,01	0,03	0,04
Rb	0,02	0,04	0,01	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,08	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Cs	—	0,01	—	0,01	0,02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,01	—	—	—	—	—	—	0,01	—
X	1,14	0,99	1,01	1,02	1,00	1,04	1,06	1,04	0,99	1,00	1,02	1,03	1,12	1,12	1,01	1,17	1,03	1,12	1,01	1,04	1,10	1,05	1,02	1,09
Ti	0,01	—	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,11
Al ^{VI}	1,63	1,38	1,86	1,35	1,28	1,87	1,31	1,38	1,40	1,39	1,36	1,39	1,36	1,37	1,41	1,41	1,50	1,35	1,60	1,39	1,22	1,56	1,39	0,83
Fe ³⁺	0,13	0,01	0,05	—	0,10	0,02	0,01	—	—	—	0,03	0,03	—	—	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	—	0,04	0,01	0,01	0,10
Fe ²⁺	0,02	0,02	0,01	0,06	—	—	0,04	—	—	—	—	—	—	0,05	0,10	—	0,01	—	0,02	0,04	0,11	—	—	0,57
Mn	0,04	0,08	0,02	0,14	0,22	0,02	0,05	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,09	0,01	0,01	0,05	0,04	0,03	0,02	—	—	—
Mg	0,05	0,02	0,04	—	0,04	0,03	0,01	—	—	0,01	—	0,02	0,01	0,02	—	0,02	0,02	0,02	0,03	—	0,07	—	—	0,41
Li	0,28	1,15	0,02	1,07	1,03	0,17	1,33	1,46	1,48	1,40	1,46	1,31	1,37	1,08	0,82	1,03	0,94	1,09	0,38	1,31	1,26	0,92	1,36	0,66
Y	2,16	2,66	2,00	2,63	2,67	2,11	2,75	2,85	2,89	2,82	2,87	2,77	2,76	2,57	2,43	2,48	2,49	2,52	2,08	2,77	2,72	2,49	2,76	2,68
Si	3,05	3,42	3,02	3,34	3,21	3,00	3,39	3,32	3,30	3,33	3,29	3,29	3,32	3,34	3,41	3,35	3,36	3,44	3,56	3,23	3,28	3,28	3,38	2,96
Al ^{IV}	0,95	0,58	0,98	0,66	0,79	1,00	0,61	0,68	0,70	0,67	0,71	0,71	0,68	0,66	0,59	0,65	0,64	0,56	0,44	0,77	0,72	0,72	0,62	1,04
Z	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
OH	1,74	0,67	1,84	0,61	0,71	1,73	0,60	0,33	0,40	0,40	0,09	0,52	0,61	0,56	1,01	0,73	1,04	0,56	1,62	0,78	0,99	1,09	0,26	1,01
F	0,26	1,33	0,16	1,39	1,29	0,27	1,40	1,67	1,60	1,60	1,91	1,48	1,39	1,44	0,99	1,27	0,96	1,44	0,38	1,22	1,01	0,91	1,74	0,99

* Номера соответствуют табл. 5, Теоретическая формула $X_1Y_{2-3}[Z_4O_{10}](OH, F)_2$.

Содержание щелочей (в вес.%) и редких элементов (в м

Группа пегматитов	№ пробы	№ жилы	Характеристика слюды	K	Na
I	804/10	14	Li-мусковит	8,39	1,20
I	1108/4	14	Белый лепидолит	8,19	0,28
I	804/14	19	Li-мусковит	8,26	0,34
II	525/14	11	Зеленоватый лепидолит	8,61	0,40
II	№ 4	11	То же	8,75	0,30
II	525/13	11	»	8,84	0,62
II—III	804/137	20	Белый лепидолит	9,21	0,28
III	753/3	2	Розовый лепидолит	8,47	0,48
III	522/27	2	То же	7,67	1,49
III	522/36	2	Белый лепидолит	8,37	0,25
III	525/9	5	Розовый лепидолит	8,72	0,18
III	521/11	6	То же	8,16	1,11
III	521/53	6	»	7,43	0,31
III	803/11	9	»	7,32	0,28
III	803/12	9	Белый лепидолит	7,78	0,63
III	525/23	9	Розовый лепидолит из грейзена	8,75	0,50
III	803/6a	9	Белый лепидолит из грейзена	7,89	0,98
III	525/241	9	Розовый лепидолит	8,35	0,39
III	526/242	9	Белый лепидолит	7,72	0,32
IV	521/24	3	Розовый лепидолит	8,56	0,03
IV	521/23	3	Белый лепидолит	9,20	0,32
IV	754/2	3	То же	7,44	0,69
IV	754/1a	3	Розовый лепидолит	7,36	0,92
IV	802/36	10	Белый лепидолит	8,34	0,44
IV	802/36	10	Розовый лепидолит	9,18	0,39
V	766	8	Белый лепидолит	8,98	0,50
V	525/40	8	То же	8,07	0,83
V	800/7	8	Белый опкозин	8,99	0,22
IV	802/5	10	Розовый опкозин	9,19	0,23
II	525/18	11	Зеленый опкозин	9,18	0,29
II—III	804/138	20	То же	9,19	0,31
I	1108/7	14	»	9,00	0,29

Примечание. Щелочи определялись методом фотометрии пламени; аналитик Л. Аналитики В. А. Легейдэ, Л. Л. Петров.

Таблица 7

0,10⁻⁴%) в слюдах из пегматитов Хух-Дель-Ула

Li	Rb	Cs	Pb	Sn	Zn	Tl	Be
0,48	0,47	0,04	11	570	210	18	35
1,96	0,85	0,21	7,6	200	38	54	67
0,20	0,25	0,01	6,0	1350	175	18	35
1,78	0,70	0,45	6,0	215	300	48	14
1,75	0,87	0,12	7,5	165	190	48	8,9
1,54	0,78	0,10	6,0	340	167	50	16
2,22	0,68	0,09	5,5	150	107	30	23
2,48	0,88	0,08	7,0	250	40	30	30
1,68	0,49	0,06	21	270	30	33	36
2,37	0,56	0,06	5,5	170	45	33	27
2,00	0,59	0,07	6,3	180	44	40	30
2,32	0,80	0,10	6,7	360	690	40	35
2,45	0,75	0,06	4,0	250	365	40	45
1,67	0,45	0,07	10	190	40	39	26
1,44	0,48	0,08	7,0	145	25	29	35
1,77	1,00	0,30	9,2	240	33	83,0	12
1,62	0,69	0,15	Не обн.				
1,86	0,73	0,12	То же				
1,38	0,67	0,04	»	»	»	»	»
2,41	0,86	0,04	4	120	27	»	18
2,38	0,96	0,04	4,5	280	360	»	32
2,12	0,66	0,04	5,0	520	30	63	14
2,23	0,67	0,62	9,0	215	28	21	29
0,66	0,46	0,03	7,5	180	36	15	20
1,86	0,73	0,12	13,0	470	80	33	33
1,66	0,83	0,15	Не обн.				
2,31	0,76	0,45	То же				
0,28	0,25	0,06	4,7	6,0	20	65	15
0,16	0,23	0,01	4,7	300	28	19	41
0,16	0,31	—	9	96	20	22	5,0
0,29	0,25	0,04	9,5	100	20	29	25
0,03	0,34	0,01	10	9,2	40	57	38

И. Черная; остальные элементы — количественным спектральным анализом;

Циннвальдит в пегматитах Хух-Дель-Ула — редкий минерал. Он встречается в приконтактной зоне дробления пегматитовой жилы № 1 в парагенезисе с кварцем и зеленоватым турмалином. Минерал образует мелкие (до 2 мм) призматические кристаллы красноватого цвета. По химическому составу эта слюда попадает в поле циннвальдита. Особенность минерала — повышенное содержание магния (3,89%), в связи с чем его можно назвать магнийсодержащим циннвальдитом. По составу описываемый минерал близок к бурому цезийсодержащему биотиту из кристаллического сланца на контакте со сподуменовым пегматитом в Кингс-Маунтин, Северная Каролина, США (Дир и др., 1966). Но описываемый циннвальдит содержит меньше магния и цезия и больше лития.

Биотит в пегматитах Хух-Дель-Ула встречается очень редко. Он представляет собой реликтовый минерал и отмечается в эндоконтактной части пегматитов жилы № 1 в парагенезисе с черным турмалином.

Кристаллохимические формулы слюд. Пересчет химических анализов слюд (табл. 5) на кристаллохимические формулы, произведенный по методу Стивенса (Stevens, 1946) исходя из 22 валентных единиц в формуле слюд, приведен в табл. 6.

По химическому составу описываемые слюды относятся к маложелезистому ряду лепидолит—мусковит (рис. 5), вообще характерному для литиевых пегматитов (Гинзбург, Берхин, 1953; Foster, 1960). Некоторые слюды (№№ 4, 5, 15) могут рассматриваться в группе литиевого фенгита (Коваль и др., 1972), характерного для редкометалльных литий-фтористых гранитов (Коваленко и др., 1971). Большинство составов изученных слюд близки к теоретическому составу лепидолита. Для слюд этого состава соответственно отмечаются наивысшие содержания лития и фтора. Зеленоватые лепидолиты с повышенными содержаниями марганца попадают в пограничную область между лепидолитами и литиевыми фенгитами. Для слюд из пегматитов восточной части пегматитового поля, относящихся к различным группам пегматитов (тела № 8, 9, 10), характерны более высокие содержания мусковитового минала по сравнению с пегматитами западной части поля. В парах розовых и белых слюд белые, как правило, характеризуются более высокими содержаниями мусковитового минала.

Для изученных слюд (рис. 6) наблюдается прямая корреляция (в атомах на формульную единицу) между содержаниями лития и фтора, а также лития и суммой катионов группы Y, и обратная корреляция между содержаниями лития и трехвалентных катионов в октаэдрической позиции. На этом основании можно предположить, что изоморфизм в слюдах в основном, осуществляется по схеме $2R^{3+} \rightleftharpoons 2Li + Si$, характерной для высокоглиноземистой серии литиевых слюд (Foster, 1960).

Для различных групп пегматитов характерны следующие черты в химическом составе слюд: I группа — литиевые мусковиты и более редкие лепидолиты с повышенным содержанием железа и марганца; II группа — марганецсодержащий лепидолит; III группа — наиболее фтористые и литиевые лепидолиты; IV и V группы — обычный лепидолит.

Содержание редких элементов в слюдах приведено в табл. 7. Для слюд характерны наиболее высокие содержания олова сравнительно с его количествами в других породообразующих минералах. В парах розового и белого лепидолита в розовом лепидолите наблюдаются наивысшие содержания олова (исключение — пара № 754). В литиевых мусковитах первой группы пегматитов содержание олова выше, чем в слюдах пегматитов других групп. В изученных лепидолитах наблюдаются низкие содержания рубидия и цезия по сравнению с опубликованными для образцов лепидолитов из различных типов литиевых пегматитов (Дир и др., 1966).

Исследования распределения лития, проведенные И. Б. Берманом и И. Г. Берзиной (методом n_x -радиографии), в кристаллах лепидолитов различного цвета и из различных групп пегматитов свидетельствуют о равномерном распределении лития по поверхности кристалла слюды

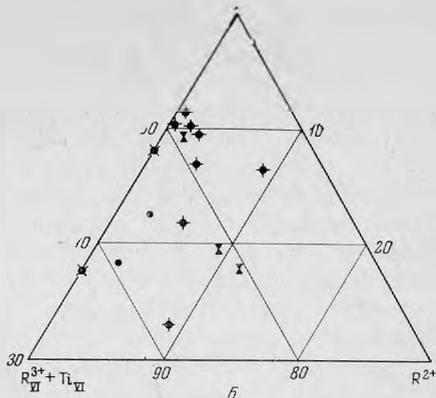
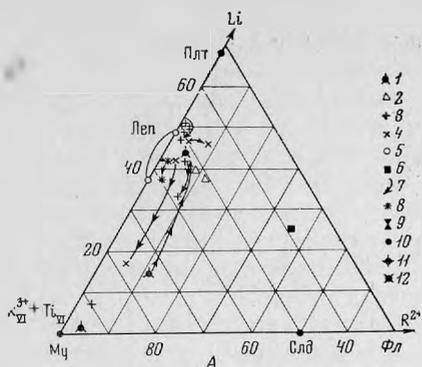


Рис. 5. Диаграмма составов слюд

Слюды из пегматитов (А): 1 — I группы; 2 — II группы; 3 — III группы; 4 — IV группы; 5 — V группы; 6 — магнийсодержащий циннвальдит из экзоконтакта; 7 — направление эволюции состава в парах слюд; 8 — слюды из грейзенов

Распределение поли типов изученных слюд (Б): 9 — 1М, 10 — 2М₁, 11 — смесь 1М + 2М₁, 12 — смесь 2М₁ + 2М₂.

Сокращения: Плт — протолитонит, Леп — лепидолит, Мус — мусковит, Слд — селадонит, Фл — флогопит

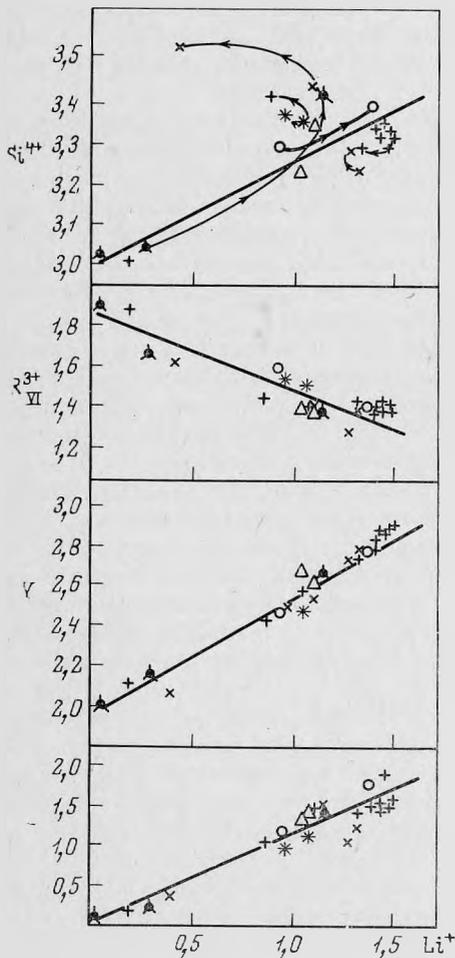


Рис. 6. Корреляция числа атомов лития в слюдах с числом атомов фтора, кремния, трехвалентных катионов и суммой катионов группы

Условные обозначения см. рис. 5

(рис. 7). Эти данные говорят о кристаллизации лепидолита в стабильных условиях и в среде, обогащенной литием и фтором.

В табл. 8 приведена структурная характеристика слюд и определенные для них поли типы. Для слюд, по составу близких к теоретическому лепидолиту (окиси лития больше 5,0%), наиболее характерны смеси полиморфных модификаций 2М₂ + 2М₁. В единичных случаях встречаются поли типы 1М и смесь поли типов 1М + 2М₁. Для слюд с содержанием окиси лития от 3,00 до 5,00% наблюдаются смеси полиморфных модификаций

Структурная характеристика слюд из пегматитов Хух-Дель-Ула

№ анализа	№ жилы	№ образца	Характеристика слюды	Политип	Параметры элементарной ячейки			
					a_0	b_0	c_0	β
1	11	2	Зеленоватый лепидолит	1M 3T	5,21	9,04	10,1	99°50'
2	2	3	Розовый лепидолит	2M ₂ + 2M ₁	8,99	5,18	20,4	99°40'
					5,18	8,99	20,15	95°30'
3	2	4	Белый лепидолит	2M ₂ + 2M ₁ *	8,98	5,18	20,2	99°40'
4	10	1	Розовый онкозин по топазу	2M ₁	5,18	8,98	20,1	95°30'
5	8	8	Розовый онкозин по турмалину	2M ₂ + 2M ₁	8,96	5,17	20,3	100°00'
					5,17	8,96	20,1	96°00'
6	3	7	Розовый крупнозернистый лепидолит	2M ₂ + 2M ₁	8,97	5,17	20,4	100°00'
					5,17	8,97	20,15	95°50'
7	3	5	Розовый мелкозернистый лепидолит	2M ₂ + 2M ₁	8,96	5,17	20,2	100°00'
					5,17	8,96	20,0	96°00'
8	3	6	Розовый среднезернистый лепидолит	2M ₂ + 2M ₁	8,97	5,17	20,2	—
					5,17	8,47	20,0	—
9	11	525/12	Зеленоватый лепидолит	2M ₁	2	9,06	—	—
10	11	525/12	Зеленоватый лепидолит	1M	9,09	—	—	—
11	6	521/11	Розовый крупнозернистый лепидолит	1M	—	—	—	—
12	10	802/36	Белый среднезернистый лепидолит	2M ₁	—	—	—	—
13	8	525/40	Белый лепидолит	1M + 2M ₁	9,00	—	—	—
					—	—	—	—
14	8	766	Белый лепидолит	1M + 2M ₁	9,02	—	—	—
					—	—	—	—
15	9	525/23	Розовый среднезернистый лепидолит	2M ₁	—	9,03	—	—
16	9	803/6a	Белый мелкозернистый лепидолит	2M ₁	—	9,00	—	—
17	6	521/51	Розовый среднезернистый лепидолит	2M ₁	—	9,04	—	—
18	6	521/52	Белый мусковит	2M ₁	—	9,01	—	—
19	9	526/241	Розовый лепидолит	2M ₂ + 2M ₁	—	—	—	—
					—	—	—	—
20	9	526/242	Белый лепидолит	2M ₂ + 2M ₁	—	—	—	—
					—	—	—	—
21	3	754/1a	Розовый крупнозернистый лепидолит	2M ₂ + 2M ₁	—	—	—	—
					—	—	—	—
22	3	754/26	Белый крупнозернистый лепидолит	2M ₂ + 2M ₁	—	—	—	—
					—	—	—	—

Примечания. Звездочкой отмечено весьма малое содержание политипа 2M₁; определения слюд №№ 1–8 и 11–12 произведены электронографически Б. Б. Звягиным, остальные рентгенографически, методом порошка — С. Б. Базаровой.

2M₂ + 2M₁, 1M + 2M и, кроме того, обособленные поли типы 2M₁ и 1M (зеленоватые, марганецсодержащие лепидолиты). Следует отметить, что изученные пары слюд относятся обычно к одной полиморфной модификации или к смеси тех же поли типов. Наиболее часто встречаемой в слюдах из пегматитов Хух-Дель-Ула оказывается смесь поли типов 2M₂ + 2M₁.

Полученные данные по поли типии мало что добавляют к известным в литературе. Не удается установить, существует ли связь поли типов с химическим составом слюд. В большинстве случаев наши слюды, анализи-

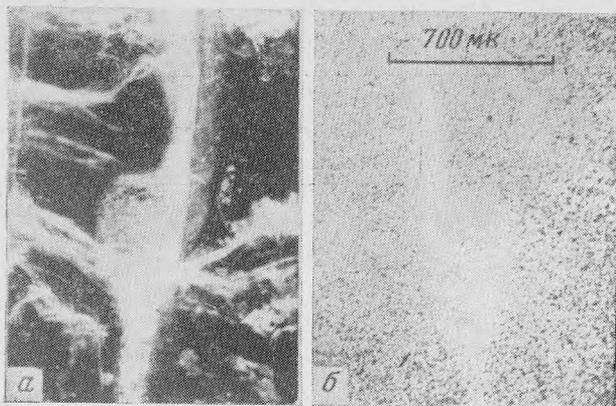


Рис. 7. Распределение лития в лепидолите

а — слюда,
б — детектор



Рис. 8. Типичные фигуры травления на поверхности лепидолита. Условия травления: 40% HCl, 20° С, 15 мин.

рованные в основном из монокристаллов, являются смесью различных полиморфов, часто даже смесью ди- и триоктаэдрических разновидностей. В связи с этим возникает вопрос о составе полиморфных модификаций в перечисленных смесях. Возможно при высоких температурах они были гомогенны, а при понижении температуры, как это наблюдается в полевых шпатах, распадаются на мусковиты ($2M_1$) и слюду, обогащенную литием.

Изучение форм фигур травления на следах деления ядер урана (Берзина, Попенко, 1970) показало, что все изученные слюды литиевые (рис. 8). Термические исследования, проведенные И. Л. Лапидесом, говорят о выделении фтора из лепидолита при 900° С; сравнительное изучение химического состава прокаленного и непрокаленного минерала, проведенное Г. С. Гормашевой (Лапидес, Гормашева, 1973), установило, что выделение фтора происходит не в виде SiF_4 , а скорее всего в форме F или HF.

Топаз

Топаз — характерный типоморфный минерал пегматитов месторождения Хух-Дель-Ула. Он встречается во всех группах пегматитов. Наиболее широко развит топаз во второй и четвертой группе пегматитов, где он часто участвует в кварц-топазовом графическом агрегате и в кварц-микроклин-топазовых (с касситеритом) участках пегматитов. Количество его в этих агрегатах доходит до 25% при размерах кристаллов до $5 \times 5 \times 15$ см. Среднее содержание топаза в пегматитах второй, третьей и четвертой групп достигает 5—10%. В пегматитах пятой и первой групп он встречается довольно редко.

Топаз отмечен в парагенезисе с кварцем, микроклином, лепидолитом, литиевым мусковитом, клевеландитом, бериллом и касситеритом. Он об-

разует плохо ограненные кристаллы в виде ромбических призм. Цвет топаза молочно-белый; он — непрозрачен, спайность выражена плохо, с поверхности породы легко выветривается, оставляя каверны. На контакте с кварцем часто образует бурую оторочку. По трещинкам в топазе часто развивается онкозин, который в некоторых пегматитах дает полные псевдоморфозы по топазу.

Химические анализы топазов представлены в табл. 9. Как видно из нее, для топазов из пегматитов Хух-Дель-Ула характерны несколько повышенные содержания кальция. В остальном они близки к теоретическому составу топаза. Фтористость их колеблется от 80% фтортопазового минала до 100% его.

Одной из характеристик данных топазов является наличие в них большого количества газово-жидких включений (до 10%). Температура гомогенизации газово-жидких включений в топазах соответствует 450—500°. Декрепитация включений в топазе начинается с 450° С и, по-видимому, ведет к большой потере его веса. В растертых топазах, обработанных в течение часа соляной кислотой (1 : 1), кальций, магний и щелочные элементы отсутствуют. При подобной обработке фракции 0,25 мм топазов содержание указанных элементов не меняется. Это может свидетельствовать в пользу предположения, что и кальций, магний и щелочные элементы в топазах присутствуют в жидких включениях.

Таблица 9

Химический состав (вес. %) и параметры элементарной ячейки (Å) топазов

Компоненты	1	2	3	4
SiO ₂	30,28	32,46	31,96	32,56
Al ₂ O ₃	52,90	50,96	53,14	55,04
Fe ₂ O ₃	0,28	0,18	0,16	0,48
CaO	2,63	2,82	2,38	—
MgO	0,63	0,38	0,74	—
K ₂ O	Не опр.	0,48	Не опр.	0,22
Na ₂ O	То же	0,47	То же	0,04
Li ₂ O	»	0,03	»	0,04
Pb ₂ O	»	0,005	»	0,007
Cs ₂ O	»	0,003	»	0,006
F	16,40	17,00	16,08	20,54
H ₂ O	2,85	2,65	2,55	—
—O-F ₂	—6,90	—7,15	—6,71	—8,63
Сумма	99,07	100,29	100,30	100,30
Аналитик	В. А. Писарская, 1970 г.	В. А. Писарская, 1970 г.	В. А. Писарская, 1970 г.	—
a ₀	4,653	4,653	4,656	—
b ₀	8,809	8,806	8,812	—
c ₀	8,393	8,394	8,394	—
v	344,0	344,0	344,0	—

Аналитик Г. Г. Афонина, 1971 г.

1 — проба 804,8 из обр. кварц-топазовой графической структуры; жила 3, пегматит IV группы; 2 — проба 804,9, крупнозернистый топаз, жила 3, пегматит IV группы; 3 — проба 525,13, крупнозернистый топаз, жила 11, пегматит II группы; 4 — проба 4, крупнозернистый топаз, жила 11, пегматит II группы.

Содержание калия, натрия (вес. %) и некоторых редких элементов (в $\cdot 10^{-4}\%$) в топазах из пегматитов Хух-Дель-Ула

№ пробы	№ жилы	Группа пегматитов	K	Na	Li	Rb	Pb	Sn	Zn	Tl	Be
XX-525/13	11	II	0,35	0,48	100	500	11	0,6	—	2,7	1,7
XX-804/131	20	II—III	1,00	0,75	150	170	1,2	0,6	20	3,1	2,7
XX-521/72	6	III	0,54	0,48	750	290	1,0	2,2	44	2,5	5,0
XX-803/14	9	III	0,34	0,15	450	170	1,2	1,3	20	14,5	9,1
XX-802/12	10	IV	0,70	0,53	160	150	1,2	1,9	20	3,1	2,7
XX-521/202	3	IV	0,48	0,67	260	50	1,0	7	20	3,5	10
XX-804/8	3	IV	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	1,7	1,8	20	Не опр.	19
XX-804/9	3	IV	То же	То же	То же	То же	1,7	5,0	20	То же	20

Параметры элементарной ячейки (см. табл. 9) в топазах из различных групп пегматитов остаются неизменными. Плотность же топазов несколько варьирует, что может быть связано с колебанием содержаний газожидких включений.

Данные по распределению щелочей и некоторых редких элементов в топазах представлены в табл. 10. В первую очередь обращают на себя внимание большие количества в содержаниях лития, свинца, таллия и бериллия. Причем намечается зависимость содержаний лития и бериллия в топазах от содержаний этих элементов в пегматитах: наиболее высокие концентрации лития намечаются в топазах и пегматитах третьей группы, а бериллия, соответственно, — в минерале из четвертой группы.

Турмалины

Турмалины являются типоморфными минералами первой и пятой групп пегматитов. В пегматитах других групп они встречаются редко и в основном в экзоконтактной зоне.

По химическому составу (табл. 11) можно выделить три разновидности минерала: 1) железистый шерл; 2) магниезиально-железистый шерл-дравит; 3) алюминиево-литиевый эльбаит¹.

Шерл. Шерл характерен для пегматитов первой группы. Здесь выделяются две генерации турмалина: шерл и темно-зеленый турмалин.

Крупнозернистый шерл черного цвета образует длиннопризматические кристаллы размером до 2×10 см. Количество его в пегматитах первой группы 5—10%, а в крупнозернистых кварц-турмалиновых участках повышается до 30%. Обычно турмалин приурочен к блоковым выделениям кварца, реже — к кварц-клевеландитовым и кварц-мусковитовым агрегатам. Шерл первой генерации выделяется одновременно с ранним кварцем и раньше клеветандита и литиевого мусковита. Иногда его по трещинам рассекают поздние кварц и альбит.

Мелкозернистый турмалин темно-зеленого цвета образует удлиненные кристаллы (до 3 мм) и обычно приурочен к зонам мелкопластинчатого и сахаровидного альбита в пегматитах первой группы.

По химическому составу (см. табл. 11) турмалины из пегматитов первой группы относятся к шерлам изоморфного ряда шерл — эльбаит. От шерлов из пегматитов стандартных гранитов они отличаются низкими содер-

¹ Кристаллохимические формулы турмалинов рассчитаны на 19 катионов по методу И. Д. Борнеман-Старынкевич (1964) и приведены в табл. 12.

Таблица 11

Химический состав турмалинов, вес. %

Компо- ненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	36,06	36,90	Не опр.	36,15	38,10	36,15	37,00	39,82	36,22
TiO ₂	0,76	0,46	То же	0,31	1,23	1,30	0,31	—	0,13
B ₂ O ₃	10,81	10,45	»	10,60	10,49	10,70	10,84	9,62	11,97
Al ₂ O ₃	34,08	32,76	»	34,28	30,56	31,11	34,32	41,30	35,74
Fe ₂ O ₃	0,19	2,58	»	2,69	2,91	1,96	1,51	0,20	1,87
FeO	11,86	10,64	»	8,41	4,31	9,34	7,55	0,20	3,23
MnO	0,45	0,38	»	0,37	0,04	0,07	0,25	0,04	0,04
MgO	0,63	0,36	»	0,90	5,12	3,23	2,14	0,17	0,17
CaO	0,29	0,26	»	0,33	0,93	0,97	0,36	0,93	4,03
Na ₂ O	1,77	1,59	1,05	1,94	1,57	1,79	1,81	0,35	1,62
K ₂ O	0,39	0,28	1,03	0,30	0,51	0,30	0,27	2,78	1,20
Li ₂ O	0,22	0,17	0,63	0,32	0,22	0,16	0,27	0,37	0,97
Rb ₂ O	—	0,001	0,002	0,001	0,06	0,008	0,001	0,013	0,020
Cs ₂ O	—	—	0,011	—	—	0,002	—	0,015	—
H ₂ O _{общ}	2,60	2,86	Не опр.	2,00	2,75	2,65	2,16	3,45	1,26
F	0,93	0,45	То же	0,77	1,60	1,10	1,08	1,10	2,85
-O=F ₂	-0,39	-0,19	—	-0,24	-0,67	-0,46	-0,45	-0,46	-1,22
Сумма	100,65	99,95	—	99,31	99,68	100,38	99,42	99,90	100,18
Уд. вес	3,161— 3,166	Не опр.	Не опр.	Не опр.	3,106— 3,125	Не опр.	Не опр.	2,991— 3,015	3,030— 3,080

1 — проба ХХ-804/10, пегматит I группы; 2 — ХХ-805/1, пегматит I группы; 3 — ХХ-1108, пегматит I группы; 4 — проба ХХ-521/1, эндоконтакт пегматита III группы; 5 — проба ХХ-803/3, экзоконтакт пегматита III группы; 6 — проба ХХ-750, эндоконтакт переходного пегматита I—II группы; 7 — проба ХХ-1105, пегматит переходный I—III группы; 8 — проба ХХ-766, пегматит V группы; 9 — проба ХХ-525/40, пегматит V группы.

Примечание. Турмалины №№ 804/10, 803/3, 766 и 525/40 анализировались классическим химическим методом (аналитик Г. С. Гармошева, 1971 г.), в остальных пробах Si, Al, Ti определялись спектрофотометрическим дифференциальным методом, Ca, Mg, Mn, Fe_{общ} — методом атомной абсорбции, щелочи — методом пламенной фотометрии, В — объемным методом с маннитом (аналитик В. К. Бондаренко, 1973 г.)

жаниями трехвалентного железа, магния и повышенными — двухвалентного железа, лития и фтора. Шерлы II-й генерации по сравнению с шерлами I-й генерации характеризуются повышенными содержаниями лития, рубидия, цезия и калия и низкими — натрия. По содержанию редких элементов (табл. 13) шерлы Хух-Дель-Ула близки к шерлам из пегматитов стандартных гранитов пробы Ух-Х и Ух-ХVI, притом характерной особенностью всех шерлов являются высокие концентрации в них цинка.

Магнезиально-железистые турмалины. Они довольно широко распространены в кристаллических сланцах экзоконтактной зоны пегматитов третьей, четвертой и пятой групп, где образуют мелкие темно-коричневые бочонковидные кристаллики длиной до 2 мм. Обычно турмалин находится в ассоциации с мусковитом и кварцем. Количество его в породе колеблется в пределах 20—40%. По химическому составу этот турмалин характеризуется почти равными содержаниями железа и магния и попадает в поле магнезиально-железистых турмалинов, характерных для метаморфогенных пегматитов (Ширяева, Шмакин, 1969), но отличается от них высокими содержаниями лития и фтора. По содержанию цинка и

Кристаллохимические формулы турмалинов

№ образцов	804/10	805/1	524/1	803/3	750	1105	766	525/40
Na	0,57	0,51	0,62	0,51	0,58	0,58	0,41	0,52
K	0,08	0,06	0,06	0,11	0,06	0,06	0,59	0,25
Ca	0,05	0,05	0,06	0,17	0,17	0,06	0,12	0,36
X	0,70	0,62	0,74	0,79	0,81	0,70	0,82	1,13
Al ^{VI}	0,83	0,43	0,71	—	0,30	0,73	2,10	1,01
Fe ³⁺	0,02	0,32	0,34	0,36	0,25	0,19	—	0,23
Fe ²⁺	1,65	1,48	1,17	0,60	1,30	1,05	—	0,45
Mn	0,08	0,04	0,04	—	—	0,03	0,01	—
Mg	0,16	0,09	0,22	1,27	0,80	0,53	0,08	0,04
Ti	0,10	0,06	0,04	0,15	0,16	0,04	—	0,02
Li	0,15	0,11	0,21	0,15	0,10	0,18	0,25	0,65
Y	2,99	2,53	2,73	2,53	2,91	2,75	2,44	2,40
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,10	3,00	3,04	3,00	3,07	3,11	2,76	3,43
Si	6,00	6,14	6,01	6,34	6,01	6,15	6,62	6,08
O	27,93	27,05	28,17	27,89	27,82	28,01	29,43	28,53
OH	2,58	3,71	2,43	2,27	2,60	2,42	0,99	1,70
F	0,49	0,24	0,40	0,84	0,58	0,57	0,58	0,77
Сумма O,OH,F	31	31	31	31	31	31	31	31

Теоретическая кристаллохимическая формула $[XY_{2-3}Al_6B_3Si_6(O, OH, F)_{31}]$.

Таблица 13

Содержание редких элементов в турмалинах (в $n \cdot 10^{-4}$ %)

Наименование массива	Номер пробы	Sr	Nb	Zr	Pb	Sn	Zn	Be
Пегматиты Хух-Дель-Ула	XX-766	Не опр.	Не опр.	Не опр.	120	400	20	16
То же	XX-803/3	425	84	140	44	35	93	Не опр.
»	XX-804/10	60	105	111	5,5	60	3500	5,3
Пегматиты стандартных гранитов Ху-Ху-Ула	Ух-Х	76	140	104	4,3	14	3250	10,5
То же	Ух-ХVI	85	126	155	4,7	26	3700	Не опр.

Аналитики: В. А. Легейдо, Л. Л. Петров.

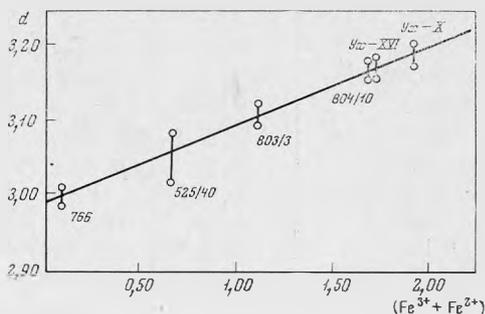
Примечание. Стронций, ниобий и ниобий определены рентгеноспектральным анализом; свинец, олово, цинк, бериллий — количественным спектральным.

свинца (см. табл. 13) шерл-дравит стоит ближе к эльбаитам, а по количеству олова — к шерлам.

В эндоконтактных частях пегматитов встречаются литиево-железистые турмалины с повышенным содержанием магния (см. табл. 11).

Эльбаит. В пегматите пятой группы по химическому составу и парагенезису сопутствующих ему минералов выделены две генерации турмалина. К первой относится алюминиевый (слаболитиевый) эльбаит. Он широко распространен в центральной части пегматита, образуя шестоватые кристаллы размером $0,5 \times 8$ см.

Рис. 9. Зависимость плотности (d) турмалинов от содержания суммы атомов железа (пробы Ух-Х и Ух-ХVI на пегматитов Ху-Ху-Улинского массива)



Цвет турмалина меняется от молочно-белого до зеленоватого и розового, свойственного рубеллиту. Все перечисленные разновидности непрозрачны. Эльбаит встречается в парагенезисе с кварцем, клевеландитом и белым лепидолитом. Выделялся он в породе несколько раньше перечисленных минералов. В ряде случаев эльбаит частично или полностью замещен розовым онкозином. Вероятно с этим связано высокое содержание в минерале калия, хотя для всех турмалинов Хух-Дель-Ула характерны повышенные содержания этого элемента.

В эльбаите отмечается повышенное содержание кремния (см. табл. 11), что может быть связано с мелкими включениями кварца.

Ко второй генерации турмалина в этом пегматите относится голубой индиголит — минерал из группы эльбаита. Он образует мелкие прозрачные кристаллы размером до 5 мм и веерообразные друзы, в парагенезисе с клевеландитом, кварцем, лепидолитом и флюоритом.

Выделялся индиголит в породе позже первых трех перечисленных минералов и раньше флюорита. По химическому составу индиголит характеризуется более высокими содержаниями лития, фтора и железа. Аномальным для турмалинов является повышенное содержание в нем кальция (4,09%).

По содержанию редких элементов (см. табл. 13) эльбаиты отличаются от всех других турмалинов высокими содержаниями олова и свинца и низкими — цинка. Интересна корреляция плотности турмалинов с содержанием атомов железа в формульной единице турмалина (рис. 9).

Турмалины являются характерными минералами первой и пятой групп пегматитов. Они образовывались как в ранние, так и в поздние стадии формирования пегматитов и их появление, по-видимому, объясняется повышенными концентрациями бора в этих группах пегматитов, причем турмалины более поздних пегматитов обогащены литием.

Для турмалинов, как и для других минералов Хух-Дель-Ула, характерной особенностью являются повышенные содержания лития и фтора,

Берилл

Берилл — распространенный минерал пегматитов Хух-Дель-Ула и встречается в пегматитах всех групп, за исключением пятой. Он образует выделения неправильной формы размером до 5 см и встречается в ассоциации

Химический состав бериллов, вес. %

Компоненты	1	2	3	4	5
SiO ₂	63,78	64,74	64,40	65,56	65,28
Al ₂ O ₃	18,74	19,39	19,19	17,66	18,95
BeO	11,95	12,66	12,80	13,96	13,37
FeO	0,41	—	0,41	—	—
Fe ₂ O ₃	0,45	0,36	0,45	0,38	1,08
CaO	2,52	1,82	0,49	0,77	0,07
MgO	Не опр.	Не опр.	—	Не опр.	0,25
K ₂ O	0,25	0,26	0,13	0,48	0,26
Na ₂ O	0,32	0,41	0,62	0,56	0,26
Li ₂ O	0,29	0,19	0,31	0,11	0,05
Rb ₂ O	0,02	0,013	0,009	0,02	0,01
Cs ₂ O	0,14	0,13	0,13	0,08	0,02
H ₂ O	0,61	0,18	0,60	0,20	0,88
F	0,83	0,68	0,28	0,54	0,02
—O=F ₂	—0,33	—0,29	—0,11	—0,22	—0,01
Сумма	99,98	100,54	99,71	100,10	100,49
Уд. вес	2,665—2,673	2,666—2,676	2,670—2,677	2,673—2,682	2,670—2,685

Аналитик Г. С. Гормашева, 1971 г.

1 — проба ХХ-1108/6, пегматит I группы; 2 — проба ХХ-804/15, пегматит II группы; 3 — проба ХХ-804/13, пегматит II-III группы; 4 — проба ХХ-521/73, пегматит III группы; 5 — ДЧ-614/6, пегматит литий-фтористых гранитов Жанчивланского массива МНР.

с кварцем, лепидолитом (белым и розовым), топазом, клевеландитом и касситеритом. Цвет берилла молочно-белый с синеватым отливом. Он кристаллизуется позже розового лепидолита, топаза и микроклина и близок по времени выделения к белому лепидолиту и клевеландиту. Намечается прямая корреляция содержаний берилла, белого лепидолита и касситерита. В грейзеноподобных образованиях пегматитов и альбититах берилл не отмечен.

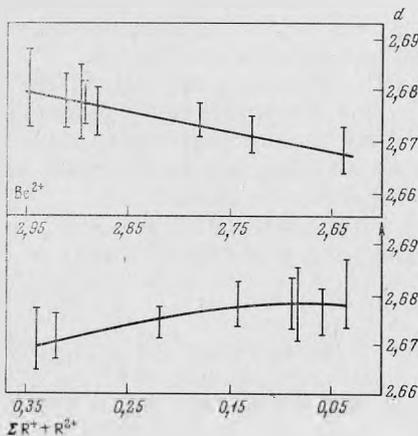


Рис. 10. Корреляция плотности (d) бериллов с числом щелочных элементов в них R^+ — $Na^+ + K^+ + Cs^+$; R^{2+} — Ca^{2+}

Химические анализы бериллов из пегматитов разных групп приведены в табл. 14. Для сравнения в ней же приводится анализ берилла (ДЧ-614/6) из шпировых пегматитов литий-фтористых гранитов Жанчивланского массива в МНР (Коваленко и др., 1971). По содержанию щелочей бериллы из изученных пегматитов относятся к группе щелочных бериллов. Кроме того, особенность описываемых бериллов заключается в высоких содержаниях в них фтора и повышенных концентраций кальция. Для бериллов и пегматитов первой и второй групп по сравнению с бериллами из пегматитов третьей группы и литий-фтористых гранитов характерны относительно низкие содержания бериллия, кремния и сравнительно высокие концентрации кальция и фтора. Бериллы из третьей группы пегматитов наиболее близки по составу к бериллам из пегматитов литий-фтористых гранитов. Наблюдается прямая корреляция содержания лития в сосуществующих бериллах и слюдах. Так же устанавливается уменьшение удельного веса бериллов с возрастанием суммы щелочей (рис. 10).

Таблица 15

Кристаллохимические формулы бериллов

Компоненты	Пробы				
	ХХ-1108/6	ХХ-801/15	ХХ-804/13	ХХ-521/73	ДЧ-614/6
Be	2,637	2,728	2,777	2,894	2,895
Na	0,057	0,065	0,109	0,088	0,046
K	0,028	0,030	0,015	0,055	0,030
Rb	0,001	0,001	—	0,001	—
Cs	0,006	0,050	0,050	0,003	—
Ca	0,248	0,174	0,047	—	0,007
X	2,977	3,048	2,998	3,041	2,978
Al	1,836	1,858	1,860	1,820	1,894
Fe ³⁺	0,030	0,025	0,029	0,026	0,076
Li	0,107	0,069	0,113	0,040	0,018
Mg	—	—	—	—	0,034
Y	1,973	1,952	2,002	1,886	2,022
Si	5,858	5,807	5,817	5,935	5,884
Al	0,142	0,193	0,183	0,065	0,116
Z	6	6	6	6	6
O	17,568	17,475	17,519	17,599	17,760
OH	0,184	0,333	0,402	0,247	0,240
F	0,248	0,192	0,079	0,154	—
Сумма O, OH, F	18	18	18	18	18

Теоретическая кристаллохимическая формула: $X_3Y_2[Z_6(O, OH, F)_{18}]$.

Содержание свинца, олова и таллия в бериллах (в $n \cdot 10^{-4}$ %)

№ пробы	Pb	Sn	Tl	№ пробы	Pb	Sn	Tl
XX-1108/6	5,0	5,5	6,3	XX-804/13	3,1	4,8	10,4
XX-801/15	9,2	4,9	10,5	XX-521/73	1,5	2,5	12,3

Количественный спектральный анализ. Аналитик В. А. Легейдо, 1970.

Бериллы — характерные типоморфные минералы пегматитов Хух-Дель-Ула, и образуются они в конце их магматического этапа формирования. При переходе от ранних пегматитов (I—II группы) к поздним происходит увеличение в бериллах содержания бериллия и кремния и уменьшение концентраций кальция и фтора, притом содержание свинца в бериллах (табл. 16) уменьшается, а содержание таллия увеличивается.

Апатит

Апатит — характерный второстепенный минерал всех групп пегматитов Хух-Дель-Ула. Он пока единственный установленный фосфат в этих пегматитах. Средние содержания апатита в пегматитах составляют около 0,2—0,5%. Наименьшие его количества отмечаются в пегматитах первой группы.

Апатит образует непрозрачные выделения неправильной формы с размером зерен до 5 мм. Цвет минерала — от светло-зеленого до зелено-голубого, плотность варьирует от 3,159 до 3,189 (табл. 17). Намечается корреляция между плотностью и содержанием в апатитах суммы редкоземельных элементов и иттрия (рис. 11). По содержанию и составу редкоземельных элементов и иттрия апатиты Хух-Дель-Ула по сравнению с апатитами из пегматитов стандартных гранитов МНР (Коваленко и др.,

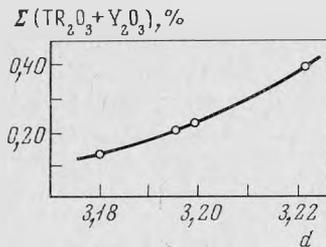


Рис. 11. Зависимость плотности апатитов от содержания в них суммы редкоземельных элементов (TR) и иттрия

1971) характеризуются более низкой концентрацией ниодима и наличием тяжелых лантаноидов (см. табл. 17).

Кроме нормальных апатитов в пегматитах второй группы встречен манганатапатит, причем количество его в некоторых участках достигает 10%. Минерал образует крупные уплощенные кристаллы величиной 3 см. Цвет апатита зеленовато-серый, облик фарфоровидный, плотность 3,197. Дебаеграмма минерала аналогична эталонной (табл. 18). Химический состав манганатапатита представлен в табл. 19. Для сравнения там же приводятся манганатапатиты из других пегматитов. Спектр редкоземельных элементов (TR) в манганатапатите мало чем отличается от их распределения в обычных апатитах Хух-Дель-Ула. Минерал встречается в парагенезисе с кварцем, клеветландитом, бериллом, топазом и марганецсодержащим лецидолитом.

Таблица 17

Состав редкоземельных элементов и их содержание (вес. %) в апатитах
(в % от суммы TR_2O_3)

Компоненты	1	2	3	4	5	6
La_2O_3	15,86	16,65	17,89	4,75	7,09	17,11
Ce_2O_3	23,88	27,83	22,21	23,81	30,85	45,61
Pr_2O_3	1,80	1,33	2,13	2,38	1,77	2,50
Nd_2O_3	3,18	2,65	5,44	14,28	15,96	19,68
Sm_2O_3	4,16	1,20	2,81	2,38	3,54	3,16
$Gd_2O_3 + Eu_2O_3$	4,00	1,61	2,92	2,38	3,54	2,78
$Y_2O_3 + Tb_2O_3$	32,42	36,87	28,08	50,02	37,25	8,13
Dy_2O_3	3,08	1,27	4,21	—	—	1,03
Ho_2O_3	0,24	0,53	0,60	—	—	—
Er_2O_3	4,54	2,39	3,70	—	—	—
Tu_2O_3	—	1,08	0,24	—	—	—
Yb_2O_3	6,84	5,39	9,53	—	—	—
Lu_2O_3	—	1,20	0,24	—	—	—
$\Sigma TR_2O_3 + Y_2O_3$	0,41	0,13	0,18	0,20	0,36	2,07
Уд. вес	—	3,182	3,197	3,204	3,224	—

Аналитик [С. Р. Абрамова], 1970 г.

1—2 — голубовато-зеленые апатиты из пегматитов III группы Хух-Дель-Ула, пробы ХХ-521/7, ХХ-521/14; 3 — серо-зеленый манганатапит из пегматитов II группы, проба ХХ-1101; 4 — светло-зеленый апатит из мусковит-гранатовых гранитных пегматитов Модотинского массива в МНР, проба М-720; 5 — светло-зеленый апатит из мусковит-гранат-шерловых гранитных пегматитов Ху-Ху-Улинского массива в МНР, проба Ух-х; 6 — белый апатит из дайки тингуаитов Лугингольского массива псевдолейцитовых сиенитов в МНР, проба Л-1260.

Таблица 18

Дебаеграмма манганатапита из пегматита Хух-Дель-Ула

Манганатапит, проба ХХ-1101		Манганатапит (Михеев, 1957)		Манганатапит, проба ХХ-1101		Манганатапит (Михеев, 1957)	
d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
3,41	3	3,38	3	1,88	1	1,87	4
3,05	3	3,05	3	1,83	4	1,82	8
2,97	1	2,96	1	1,79	2	1,79	4
2,78	10	2,78	10	1,76	2	1,76	4
2,76	1	2,75	4	1,74	2	1,74	4
2,69	6	2,69	8	1,72	3	1,70	4
2,62	3	2,59	4	1,63	1	1,63	3
2,24	4	2,24	6	1,47	2	1,48	2
2,13	1	2,13	3	1,44	2	1,44	3
1,93	5	1,97	1				

Аналитик С. Б. Базарова.

Условия съемки: Fe-излучение, $D = 57,3$ мм, $d = 0,3$ мм.

Химические анализы манганопатита, вес. %

Компоненты	1	2	3
P ₂ O ₅	40,60	41,47	41,61
SiO ₂	Не опр.	0,08	Не опр.
Al ₂ O ₃	0,23	0,08	То же
Fe ₂ O ₃	0,08	0,22	0,87
MnO	3,87	6,12	4,74
MgO	0,16	0,05	—
CaO	53,27	49,95	50,23
SrO	Не опр.	0,05	—
K ₂ O	0,13	—	—
Na ₂ O	0,13	0,02	—
Li ₂ O	0,01	—	Не опр.
Rb ₂ O	0,008	Не опр.	То же
Cs ₂ O	—	То же	»
F	1,72	2,59	3,68
Cl	Не опр.	0,02	Сл.
H ₂ O ⁺	0,73	0,26	0,22
H ₂ O ⁻	0,47	0,06	0,04
—O=F ₂ , Cl ₂	—0,72	—1,09	—1,55
С у м м а	100,69	99,88	99,84
Аналитик	С. Юрченко, 1971 г.	—	Г. Перман

Кристаллохимическая формула, рассчитанная из данных 1 анализа:



1 — серо-зеленый манганопатит, проба ХХ-1101 из пегматитов Хух-Дель-Ула; 2 — синеваго-зеленый манганопатит из сподуменовых пегматитов (Гордиенко, 1970); 3 — черный манганопатит из пегматита Лемнес, Финляндия (Дир и др., 1966).

Касситерит

Касситерит — довольно распространенный аксессуарный минерал в рассматриваемых пегматитах и встречается во всех их группах. Наибольшее его количество наблюдается в пегматитах четвертой группы, где выделения касситерита неправильной формы достигают 5 см. Из аксессуарных минералов он находится в ассоциации с колумбит-танталитом, пирохлором, цирконом, апатитом. Выделялся касситерит, вероятно, в конце магматического этапа образования пегматитов и близок по времени выделения к бериллу и белому лепидолиту. Цвет минерала — черный, коричневый и зеленый. По данным рентгеноспектрального анализа, в касситеритах из третьей группы пегматитов обнаружено (в вес. %): пятиокисей ниобия 0,71, тантала 1,5 при отношении ниобия к танталу 0,47; из четвертой группы пегматитов: пятиокисей ниобия 0,85, тантала 1,25 при отношении ниобия к танталу 0,68.

Танталит-колумбит

Минералы этой группы встречаются во всех группах пегматитов. Однако наиболее характерны эти минералы для поздних альбититов, в которых содержание танталита-колумбита значительно выше, чем в собственно пегматитах. В альбититах он образует плохо ограниченные удлиненные кристаллы черного цвета размером до $0,5 \times 2$ мм.

Исходя из содержания ниобия и тантала в альбититах, где танталит-колумбит является единственным их концентратом, отношения ниобия к танталу в минерале, вероятно, тоже близки к 2. В некоторых танталитах, по данным полуколичественного спектрального анализа, содержание олова превышает 3%. По магнитным свойствам и морфологическим признакам (формы кристаллов иные, чем у колумбита и касситерита) минерал, возможно, представляет собой олово-танталит (иксиолит). В спектре присутствуют цериевые и иттриевые земли¹ (с иттрием) примерно в равной пропорции, при полном отсутствии тяжелых лантаноидов (табл. 20).

Таблица 20

Содержание и спектр редкоземельных элементов и иттрия в некоторых минералах из пегматитов Хух-Дель-Ула (в % от суммы $TR_2O_3 + Y_2O_3$)

Компоненты	1	2	3
La_2O_3	4,98	13,02	10,00
Ce_2O_3	36,68	18,33	26,00
Pr_2O_3	2,30	1,81	2,00
Nd_2O_3	8,56	16,21	16,00
Sm_2O_3	0,76	3,01	2,00
$Gd_2O_3 + Eu_2O_3$	0,76	1,81	2,00
$Y_2O_3 + Tb_2O_3$	43,66	45,21	42,00
Dy_2O_3	2,30	0,60	—
Ho_2O_3	—	—	—
Er_2O_3	—	—	—
Tu_2O_3	—	—	—
Yb_2O_3	—	—	—
Lu_2O_3	—	—	—
$\Sigma TR_2O_3 + Y_2O_3$	0,055	0,12	0,07

Аналитик [С. Р. Абрамова], 1971 г.

1 — колумбит; обр. 1100. жила № 11, пегматит II группы; 2 — пирохлор; обр. 752, жила № 2, пегматит III группы; 3 — флюорит; обр. 521/0, жила № 6, пегматит III группы.

Микролит-пирохлор

Минералы этой группы встречаются в пегматитах всех групп, исключая первую. Они образуют метамиктные кристаллы-октаэдры желтого и оранжевого цвета величиной до 2 мм; часто встречаются в сростках с цирконом.

Содержание редкоземельных элементов (TR) (см. табл. 20) и иттрия в этом минерале равно 0,12%, причем спектр редкоземельных элементов характеризуется почти равными соотношениями иттриевых и цериевых земель (как и в колумбите), при отсутствии тяжелых лантаноидов. По данным полуколичественного спектрального анализа, ниобий в минерале

¹ К цериевой группе, согласно Д. А. Минееву (Минеев, 1969), мы относим лантан, церий, празеодим и неодим, к иттриевой — самарий, гадолиний, европий, тербий, диспрозий и иттрий; к группе тяжелых лантаноидов — гольмий, эрбий, тулий, иттербий и лютеций.

преобладает над танталом. В отличие от колумбита микролит-пироклор отмечается только в собственно пегматитах и грейзеноподобных участках и не обнаружен в поздних альбититах.

Флюорит

Флюорит — характерный поздний минерал пегматитов Хух-Дель-Ула и встречается во всех их группах. Однако содержание флюорита в них обычно незначительное. В самых богатых им пегматитах четвертой и пятой групп его количество не превышает 1%. В кавернозных участках кварц-мусковит-флюоритового комплекса он иногда образует крупные выделения размером до 1 см. В остальных агрегатах пегматитов флюорит встречается в виде секущих прожилков и пленок. Цвет минерала белый, красноватый, фиолетовый. Уд. вес 3,180. В спектре редкоземельных элементов (см. табл. 20) наблюдается незначительное преобладание элементов цериевой группы над иттриевой, при отсутствии тяжелых лантаноидов.

Циркон. Циркон обнаружен нами во всех группах пегматитов, кроме первой. Он образует мелкие изометричные кристаллы размером до 3 мм. Цвет минерала от светло-коричневого до бурого. Интересно отметить, что в цирконе сумма редкоземельных элементов и иттрия достигает 13%.

Гранат. Встречается он во всех типах пегматитов, но в весьма незначительных количествах. Наибольшие концентрации граната отмечаются в участках кварц-топазовых графических образований в пегматитах второй группы и в пегматитах первой группы. Он образует мелкие (до 1 мм) кристаллы тетрагонтриоктаэдрического габитуса. Согласно полуколичественному спектральному анализу он имеет марганцево-железистый состав, что вообще характерно для пегматитов.

Молибденит. Молибденит встречен в участках, сложенных кварц-топазовыми графическими образованиями пегматитов второй группы и находится в парагенезисе с гранатом и касситеритом. Образует он таблитчатые кристаллы размером до 3 мм. По данным полуколичественного спектрального анализа, минерал содержит примеси олова и кремния.

Золото. Золото в самородном виде встречено в протолочках из клеветландитового участка пегматита первой группы. Оно образует пластинки ярко-желтого цвета размером до 1 мм. По данным полуколичественного спектрального анализа, в золоте основной примесью является серебро; микропримесями оказываются магний, железо, кремний, свинец.

Барит. Наблюдался он в виде поздних мономинеральных прожилков мощностью до 1 см, секущих пегматитовое тело № 10. Барит образует мелкие призматические кристаллы белого цвета размером до 0,2 см.

Магнетит. Магнетит — редкий минерал эндоконтактных частей пегматитов Хух-Дель-Ула.

Халькопирит и *пирит* являются аксессуарными минералами поздних альбититов.

Кроме описанных минералов в пегматитах Хух-Дель-Ула Л. Г. Россовским встречены андалузит, ортит, монацит и хризоберилл (Россовский и др., 1971). Фиолетовые агрегаты, принятые вышеуказанными исследователями из кукеит, являются розовым онкозином (см. табл. 5).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕГМАТИТОВ ХУХ-ДЕЛЬ-УЛА

Химический состав наиболее развитых на площади поля пегматитов третьей группы по двум представительным большим пробам приведен в табл. 21. Эти составы уже обсуждались ранее в связи с вещественными особенностями и генезисом литий-фтористых гранитов (Коваленко и др., 1971). Описываемые пегматиты на диаграмме нормативных составов кварц-

Химический состав пегматитов Хух-Дель-Ула, вес. %

Компоненты	1	2	Компоненты	1	2
SiO ₂	70,98	70,88	P ₂ O ₅	0,06	0,46
TiO ₂	Следы	Следы	F	1,62	1,75
Al ₂ O ₃	15,63	15,97	П.п.п.	1,67	1,81
Fe ₂ O ₃	0,11	0,01	—O=F ₂	—0,68	—0,75
FeO	0,46	0,43	Сумма	100,20	100,84
MnO	0,01	0,03	Нормативный состав		
MgO	Следы	Следы	Or	18,62	17,56
CaO	0,95	0,91	Ab	53,24	55,82
Na ₂ O	5,67	5,67	Q	28,14	26,62
K ₂ O	2,78	2,72			
Li ₂ O	0,75	0,96			
Rb ₂ O	0,17	0,22			
Cs ₂ O	0,02	0,07			

Аналитик В. А. Писарская, 1970 г.

1 — проба ХХ-752, среднезернистый пегматит II типа; 2 — проба ХХ-753, крупнозернистый пегматит II типа.

альбит-ортоклаз попадают в поле литий-фтористых гранитов и пегматитов ряда районов США (Norton, 1966). Соответственно, по сравнению с составом «гранитного минимума» они обеднены нормативным кварцем и обогащены нормативным альбитом.

Топаз-лепидолит-альбитовые пегматиты отличаются по составу от наиболее близких к ним сподуменовых пегматитов (Гордиенко, 1970) более низкими содержаниями кремния, лития; повышенными концентрациями железа, натрия, цезия и несравненно более высокими содержаниями фтора.

По содержанию фтора пегматиты Хух-Дель-Ула близки к субвулканическим аналогам литий-фтористых гранитов — онгонитам.

В пегматитах разных групп обнаружены различные концентрации фтора (табл. 22). Наиболее низкие они в пегматитах первой группы (0,17—0,22). В пегматитах третьей, четвертой и пятой групп содержания фтора близки и составляют в среднем 2%, причем в некоторых участках пегматитов третьей группы содержания его возрастают до 4%. В поздних кварц-лепидолитовых грейзеноподобных породах содержания фтора достигают 3,9%, а в альбититах не превышают 0,25%. Повышенное содержание фтора вообще характерно для данных пегматитов, что выражается в образовании фтористых слюд, топазов, в повышении содержания фтора в бериллах, турмалинах, апатитах (см. раздел «Минералогия пегматитов»).

Наряду с невысокими концентрациями фтора для пегматитов первой группы Хух-Дель-Ула характерны низкие по сравнению с пегматитами других групп содержания лития, рубидия цезия и бериллия. Наиболее высокие содержания лития отмечаются в пегматитах третьей группы (1,75%), средние же содержания лития в пегматитах этой группы — 1,34%, в пегматитах четвертой группы — 0,81% и пегматитах пятой группы — 1,14%. Главные концентраторы лития — слюды. Повышенные содержания лития характерны также для бериллов и турмалинов из пегматитов.

Среди пегматитов Хух-Дель-Ула наивысшие содержания рубидия и цезия отмечаются в пегматитах третьей группы. Концентраторами рубидия являются слюды и в меньшей мере микроклин, а цезия — слюды. Минералов цезия в изученных пегматитах не обнаружено.

Для пегматитов указанного района характерны высокие содержания

Содержание калия, натрия и фтора (в вес. %) и редких элементов (в $\mu \cdot 10^{-4}$ %) в пегматитах Хух-Дель-Ула

Номер анализа	Номер пробы	Номер жили	Группа пегматитов	K	Na	Li	Rb	Cs	F	Pb	Sr	Zn	Be
1	1108	14	I	0,55	3,22	230	118	20	0,22	10	50	60	Не обн.
2	1109	14	I	—	—	—	—	H. o.	0,17	20	1230	30	21
3	1105	1	I	2,71	4,11	70	218	10	0,18	4	46	—	Не обн.
4	552/10	1	I	2,99	7,77	28	79	H. o.	0,07	17	9	20	15
5	749	1	I	1,58	6,81	18	83	10	0,05	12	10	20	9,8
6	522/3	1	I	7,97	2,81	90	347	17	0,34	25	40	20	54
7	1102	11	II	1,16	0,55	32	282	28	2,1	5,8	20	30	25
8	1100	11	II	0,51	8,62	515	118	28	0,25	4,0	0,8	—	7,3
9	521/3	6	III	5,39	2,59	7912	3085	217	4,0	20	350	30	23
10	751	2	III	3,82	3,48	5014	2083	444	1,85	12	250	30	120
11	755	5	III	3,15	2,22	5924	2122	851	2,00	12	100	20	435
12	752	2	III	2,24	4,14	3450	1567	207	1,62	12	250	20	91
13	521/4	6	III	3,48	2,37	8050	2725	378	3,70	20	600	20	20
14	753	2	III	2,24	4,22	4416	1983	699	1,75	8	100	20	135
15	1104	9	III	2,17	3,04	4922	1092	301	1,40	8	50	—	Не обн.
16	522/22	2	III	4,48	1,63	9890	3630	604	3,9	125	125	30	19
17	754	3	IV	3,90	2,88	6256	2261	113	1,35	20	300	15	540
18	521/19	3	IV	4,23	2,00	3450	2488	197	2,60	12	750	20	1050
19	1103	10	IV	2,39	4,41	2070	755	66	0,95	15	890	—	Не обн.
20	1107	3	IV	1,80	0,99	3174	1101	85	2,6	4	6300	—	То же
21	766	8	V	2,82	2,59	5428	4122	113	1,35	19	145	20	2
22	525/3a	8	V	2,90	2,07	5106	2351	105	2,2	30	100	30	72
23	767	7	V	3,82	3,77	18	237	9	0,02	20	7	30	4

Аналитики: Л. И. Черная, В. А. Лейгеро, Л. Л. Петров, Л. А. Иванова, Е. С. Костюкова, 1969—1972 гг.

Примечание. № 9—15 и 17—20 — топаз-лепидолит — микроклин-альбитовый пегматит; № 21—22 — эльбаит-лепидолит-альбитовый пегматит; № 1 — шерл-альбитовый пегматит; № 2—3, 23 —

олова, несколько превышающие таковые в литий-фтористых редкометалльных гранитах (Коваленко и др., 1971) и в некоторых альбит-сподуменовых пегматитах (Солодов, 1971). Концентрируется олово в касситеритах. Из породообразующих минералов относительно высокие содержания олова наблюдаются в слюдах (0,01—0,13%), особенно в литиевых мусковитах из пегматитов первой группы, в которых касситерит нами не отмечался. Среди изученных пегматитов наивысшие содержания олова встречаются в пегматитах четвертой группы, для которых характерны и наиболее высокие концентрации касситерита.

Содержание бериллия в описываемых пегматитах выше, чем в литий-фтористых гранитах МНР и примерно равно его содержанию в сподуменовых пегматитах (Гордиенко, 1970) и несколько ниже среднего содержания в альбитовых пегматитах (Солодов, 1971).

Наиболее высокие содержания бериллия отмечаются в пегматитах третьей и, особенно, четвертой групп. Минералом-концентратором бериллия является берилл, но повышенные содержания этого элемента отмечены в слюдах и в кварце (до 0,0048%); в последнем количестве бериллия выше, чем в микроклине и в альбите.

Ba	Sr	W	Nb	Ta	Zr	Hf	Nb/Ta	Zr/Hf	K/Rb	Na/Na+K	Ba/Sr	Zn/Pb
Не обн.	Не обн.	Не обн.	87,4	49,9	22,4	2,1	1,7	10,6	46	0,87	—	—
То же	То же	То же	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—	—	—	2,00	—	—
»	»	»	29	26,7	40	2,9	1,1	13,7	124	0,63	—	—
140	200	1,5	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—	—	250	0,79	0,7	1,2
52	200	Не обн.	3,4	102	48	4,4	0,03	10,9	200	0,81	0,2	1,6
53	206	129	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—	—	108	0,42	0,2	0,8
Не обн.	Не обн.	Не обн.	16,2	7	6	1	2,3	6,0	41	0,35	—	—
То же	То же	То же	86,2	39,4	13,5	1,2	2,2	11,2	43	0,95	—	—
40	42	83	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—	—	17	0,32	0,9	1,5
9	51	83	163	106	70	4,0	1,5	17,5	19	0,48	0,1	2,5
24	38,5	1,25	75	54	31	2,0	1,4	15,5	15	0,41	0,6	1,6
100	63	224	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—	—	16	0,57	1,6	1,6
14	42	155	То же	То же	То же	То же	—	—	13	0,41	0,3	1,0
40	200	37	74	21	110	5,1	3,5	22,0	12	0,64	0,2	2,5
Не обн.	Не обн.	Не обн.	44,4	30	204	6	1,5	33,5	20	0,61	—	—
95	46	76	142	158	158	3,6	0,90	43,8	12	0,27	2,0	0,2
350	160	135	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—	—	17	0,43	2,2	0,7
340	170	34	То же	То же	То же	То же	—	—	23	0,32	2,0	1,6
Не обн.	Не обн.	Не обн.	57	52,3	356	8,4	1,1	42,3	32	0,67	—	—
То же	То же	То же	139	278	42	10	2,0	4,2	163	0,37	—	—
53	22	129	140	110	66	6,0	1,3	11,0	13	0,50	2,4	1,0
300	150	35	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—	—	12	0,42	2,0	1,0
130	30	Не обн.	То же	То же	То же	То же	—	—	158	0,50	3,4	0,2

мусковит-микроклин-альбитовый пегматит; № 4, 5, 8 — комплекс «сахаровидного» альбита; № 7 — кварц-топазовая графика; № 6 — кварцевый участок пегматита с мусковитом; № 16 — кварц-лепидолитовый грейзен.

Методы анализа: щелочи определены фотометрией пламени; ниобий, тантал, цирконий, гафний — спектро-химически, остальные — количественной спектроскопией.

По содержанию ниобия и тантала пегматиты Хух-Дель-Ула близки к литий-фтористым редкометалльным гранитам МНР; отношение ниобия к танталу в них несколько ниже этого отношения в гранитах и колеблется в интервале 0,9—2,3.

Концентрации ниобия и тантала в пегматитах разных групп колеблются довольно значительно, но в среднем их содержания близки. В кварц-лепидолитовых грейзеноподобных породах количество тантала выше содержания ниобия, а в альбититах, напротив, тантала в два раза меньше, чем ниобия. Это, вероятно, связано с тем, что в альбититах эти элементы концентрируются в колумбите (в котором преобладает ниобий), а в «грейзенах» — в пирохлоре (преобладает тантал). В касситеритах из пегматитов Хух-Дель-Ула содержание тантала несколько преобладает над концентрацией ниобия. Кроме тантало-ниобатов и касситерита тантал и ниобий концентрируются в слюдах, в которых содержания этих элементов из различных групп пегматитов достигают (в g/m): первая группа — литиевый мусковит № 804/10, Nb 218, Ta 19,4, Nb : Ta = 11,23; вторая группа — зеленоватый лепидолит № 525/14, Nb 132, Ta 52,4, Nb : Ta = 2,52; третья группа — розовый лепидолит; Nb 215, Ta 29, Nb : Ta = 7,41. Приведен-

Содержания калия, натрия (в вес. %) и редких элементов (в $n \cdot 10^{-4}$ %) в экзоконтакте пегматитов Хух-Дель-Ула

Наименование породы	Номер пробы	Номер жилы	Группа пегматитов	K	Na	Li	Rb
Силлиманитовый сланец ¹	800/4	8	5	3,56	0,16	226	119
Ослоденелый ксенолит вмещающих сланцев	720/1	7	5	1,4	0,48	1008	1315
Сланец в 2 м от контакта с пегматитом	803/4	9	3	0,7	0,34	147	579
Зона ослоденения в экзоконтакте	802/17	10	4	3,30	0,22	593	116
Сланец на контакте с зоной ослоденения	802/16	10	4	2,64	0,40	406	277
Сланец в 1 м от контакта	802/15	10	4	4,48	0,58	493	156
Сланец в 6 м от контакта	802/14	10	4	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.

Наименование породы	Cs	Nb	Ta	Zr	Hf	Nb/Ta	Zr/Hf
Силлиманитовый сланец	50	16	1	268	6,2	16	43,2
Ослоденелый ксенолит вмещающих сланцев	240	Не обн.					
Сланец в 2 м от контакта с пегматитом	49	То же					
Зона ослоденения в экзоконтакте	33	»	»	»	»	»	»
Сланец на контакте с зоной ослоденения	32	9	1,3	377	8	6,9	47,1
Сланец в 1 м от контакта	40	16	1,3	269	11	12,3	24,4
Сланец в 6 м от контакта	Не обн.	14	1,2	352	8	11,6	44,0

ные количества близки к содержаниям тантала и ниобия в слюдах из альбит-лепидолитовых гранитов МНР (Коваленко и др., 1971), но в этих гранитах отношение ниобия к танталу более высокое.

Следует отметить, еще весьма низкие [значительно ниже кларков в гранитоидах (Виноградов, 1962)] содержания в рассматриваемых пегматитах стронция, бария и циркония. Значение цирконий-гафниевого отношения также низкое.

Содержание вольфрама в пегматитах подвержено колебаниям.

Пегматиты, как отмечалось выше, не оказывают существенного влияния на вмещающие породы, и в последних (табл. 23) не наблюдается значительных концентраций рассматриваемых элементов.

В целом для топаз-лепидолит-альбитовых пегматитов Хух-Дель-Ула характерна следующая геохимическая специфика: резкая обогащенность фтором, высокие содержания лития, рубидия, олова, ниобия, тантала, бериллия и в меньшей степени цезия. Для них также характерны очень низкие концентрации стронция, бария и циркония. Все это указывает на большое геохимическое сходство их с редкометалльными литий-фтористыми гранитами (Коваленко и др., 1971).

ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

Парагенетические схемы формирования различных групп пегматитов Хух-Дель-Ула, основанные на изучении взаимоотношений минералов друг с другом и взаимоотношений минеральных парагенезисов, представлены на рис. 12.

Группы пегматитов	Первая группа		Вторая группа		Третья и четвертая группы				Пятая группа	
	Собственно магматический	Автоматасоматический Альби-тизация Онкозитизация	Собственно магматический	Автоматасоматический Альби-тизация Онкозитизация	Собственно магматический	Автоматасоматический Торваль-низация	Альби-тизация	Онкозитизация	Собственно магматический	Автоматасоматический Онкозитизация
Кварц	■		■		■				■	
Микроклин	■		■		■				■	
Плагиоклаз	■	Аб	■	Аб	■				■	
Топаз			■		■				■	
Лепидолит (зел.)										
Лепидолит (роз.)										
Лепидолит (бел.)										
Мусковит	■		■		■				■	
Берилл	■		■						■	
Турмалин	■								■	■
Апатит										
Гранат										
Касситерит										
Колумбит										
Пирактин										
Циркон										
Малибденит										
Тарит										
Халькопирит										
Пирит										
Золото										
Флюорит										

Рис. 12. Парагенетические схемы формирования пегматитов различных групп поля Хух-Дель-Ула

Самым ранним в пегматитах первой группы следует считать парагенезис кварца, микроклина, клевеландита, литиевого мусковита и шерла, довольно распространенный в природе (Солодов, 1971). Но даже в этих пегматитах намечается литиевая специфика и отмечаются довольно высокие содержания олова. В некоторых участках рассматриваемых пегматитов вместо шерла появляются небольшие по размерам агрегаты топаз-лепидолитового состава, которые характерны и для пегматитов других типов. По-видимому, они образовались на самых поздних этапах формирования парагенезиса ведущих минералов. К поздним автоматасоматическим процессам в пегматитах относится образование альбитита и зон онкозина.

В пегматитах второй группы возрастает концентрация фтора и лития, что приводит к резкому увеличению содержания топаза и лепидолита в породах. Наиболее ранний парагенезис в них представлен кварцем, микроклином, клевеландитом, топазом и лепидолитом. В конце кристаллизации минералов, входящих в этот парагенезис, по-видимому, происходило образование берилла, манганопатита и других акцессорных минералов. В автоматасоматическую стадию здесь формировались альбититы и онкозиновые породы.

Пегматиты третьей и четвертой групп имеют одинаковый минеральный состав и отличаются только лишь количественным содержанием отдельных минералов, поэтому мы описываем их совместно.

Последовательность формирования минеральных парагенезисов пегматитов третьей и четвертой групп сходна. Ведущий парагенезис близок к описанному, но здесь отмечаются две генерации лепидолита, увеличение содержания берилла, касситерита и акцессорных минералов. В отличие от

пегматитов второй группы здесь в автотасоматическую стадию образование грейзенов предшествовало альбитизации, после которой происходило образование кварц-мусковит-флюоритового комплекса.

В пегматитах пятой группы ранний парагенезис представлен лепидолит-эльбаит-кварц-клевеландитовой ассоциацией. В автотасоматическую стадию в них сформировались зоны опкозина и прожилки флюорита.

Соотношения между пегматитами разных групп не установлены. По аналогии с хорошо изученными пегматитами Борщовочного хребта (Сливко, 1955) и литиевыми пегматитами Колорадо, США (Staatz *а. оth.*, 1935) можно предположить, что шерлсодержащие пегматиты несколько более ранние, чем эльбаитсодержащие.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕГМАТИТОВ

На настоящем этапе исследования пегматитов месторождения Хух-Дель-Ула еще преждевременно всесторонне анализировать их генезис. Для такого анализа пока недостаточно фактического материала. Поэтому выскажем только некоторые соображения о их генезисе, которые в той или иной степени могут быть обоснованы фактическими данными. Это относится к проблеме выделения минеральных парагенезисов в изученных пегматитах, установления порядка их формирования, выявление геохимических условий формирования различных минеральных парагенезисов, сравнения их с другими редкометалльными объектами.

К сожанию, довольно трудно пока выявить, с какими породами генетически связаны данные пегматиты, почему здесь проявлены пегматиты, а не аналогичные им в вещественном отношении редкометалльные граниты, каковы причины зональности всего пегматитового поля и с чем связана сама геохимическая специфика этих литий-фтористых пегматитов. Здесь можно только проводить аналогии разной степени надежности с теми объектами, которые лучше изучены и в которых перечисленные вопросы решаются относительно уверенно.

К таким же проблематичным вопросам относится вопрос о происхождении пегматитов: из магмы или под воздействием растворов на твердую породу? Изучив пегматиты месторождения Хух-Дель-Ула, авторы не надеются внести что-либо принципиально новое в имеющиеся уже многочисленные гипотезы о пегматитах (Ферсман, 1940; Заварицкий, 1944, 1947; Никитин, 1959; Гинзбург, 1955, 1960; Солодов, 1971; Мелентьев, 1972; Jahns, 1953; Jahns, Burnham, 1969; и др.). В связи с этим мы считаем возможным присоединиться к одной из высказанных гипотез, с которой в наибольшем согласии оказываются имеющиеся факты.

На наш взгляд для генезиса пегматитов, о которых идет речь, более обоснована магматическая гипотеза А. Е. Ферсмана, модернизированная в США (Jahns, Burnham, 1969). Она принимается нами в отношении наиболее ранних ведущих минеральных парагенезисов пегматитов. Однако это не исключает признания проявлений в них поздних метасоматических процессов: грейзенизации, альбитизации, онкозинизации.

Имея возможность довольно детального изучения аналогов редкометалльных пегматитов — редкометалльных гранитов (Коваленко и др., 1971; Коваленко, 1973) и особенно важных в генетическом отношении их субвулканических аналогов — онгонитов, мы пришли к выводу о наибольшей сложности интерпретации генезиса именно пегматитов. В этом отношении пегматиты — неблагоприятный объект. Если для онгонитов, в силу их закаленного, порфиривого, а иногда и стекловатого строения, магматический генезис устанавливается надежно, то грубозернистая (иногда гигантозернистая) структура и зональное строение пегматитов обычно без дополнительных данных (экспериментальных, например, Jahns, Burnham, 1969) не поддается однозначной генетической интерпретации. В нашем случае в качестве таких дополнительных данных мы рассматри-

ваем возможность сравнения пегматитов с онгонитами. Сходство их химического и минерального состава дает веское основание для такой параллелизации. По крайней мере сам факт присутствия онгонитов указывает на наличие в природе расплавов, по составу весьма близких к рассмотренным пегматитам. Об этом же свидетельствует факт независимости состава пегматитов от состава вмещающих пород, инъекционная природа пегматитов и отсутствие в них реликтов более ранних интрузивных (инъекционных) пород, по которым могли бы метасоматически развиваться ранние парагенезисы пегматитов.

Переходя к рассмотрению эволюции пегматитов и их минеральных парагенезисов, отметим специфику выделения последних именно в пегматитах. В силу крупно-, а нередко грубозернистости и неравномерной текстуры пегматитов, площади пород, которые должны рассматриваться при парагенетическом анализе пегматитов, несоизмеримо обширнее, чем для обычных интрузивных пород. И хотя парагенезис, например, блоковых микроклина, кварца, крупнозернистых лепидолита, топаза и относительно более мелкозернистого клефеландита является идентичным парагенезису вкрапленников онгонитов не только по составу, но и по относительной характеристике размеров перечисленных минералов (Коваленко и др., 1971), иногда появляется тенденция перевести более мелкозернистый клефеландит в позднюю стадию по сравнению с блоковыми минералами. Объяснение такой неравномерности пегматитов, характерной хотя и в меньшей степени для редкометалльных гранитов и онгонитов, по-видимому, одно: разные скорости одновременного роста различных минералов в силу их кристаллизации из сосуществующих расплава и флюида, между которыми компоненты разных минералов распределены по-разному (Jahns, Burnham, 1969; Коваленко, 1971). В пегматитах, по-видимому, фракционирование расплава и флюида достигает максимальной степени, чем и определяется крайняя неоднородность их строения.

Учтя это замечание, кратко рассмотрим минеральные парагенезисы пегматитов Хух-Дель-Ула.

Как уже говорилось, главной геохимической чертой этих пегматитов является их обогащенность литием и фтором, имеющее свое минералогическое выражение в появлении литиевых минералов и минеральных разновидностей очень часто с топазом.

Исходная обогащенность пегматитового расплава литием и фтором предопределила и большинство его геохимических и минералогических особенностей. Такой расплав должен быть низкотемпературным так, что его солидус пересекает субсолидус щелочных полевых шпатов, и в равновесии с расплавом оказываются микроклин и альбит (Коваленко и др., 1970). Низкотемпературный (вероятно остаточный) его характер объясняет обогащенность пегматитов многими редкими элементами, особенно геохимически тесно связанными с фтором.

Наиболее ранние минеральные парагенезисы пегматитов могут быть четко разделены на две группы: 1) без турмалина, 2) с турмалином. Безтурмалиновые парагенезисы пегматитов практически полностью аналогичны таковым для редкометалльных литий-фтористых гранитов с учетом, конечно, меньшей железистости последних (Коваленко и др., 1971). В отличие от сподуменовых пегматитов, лепидолит-топазовые сформировались при более высоком значении химического потенциала фтора (рис. 13). В этих условиях неустойчив мусковит, который при повышении активности фтора разлагается на калиевый полевой шпат и топаз. Повышенная активность фтора при их формировании объясняет и расширенное поле кристаллизации кварца, что выражается в относительной обедненности их составов кремнеземом (см. табл. 21). В процессе кристаллизации пегматитового расплава, по-видимому, происходило некоторое понижение активности лития, в связи с чем розовый лепидолит замещался белым лепидолитом, содержащим меньшие количества лития, но до муско-

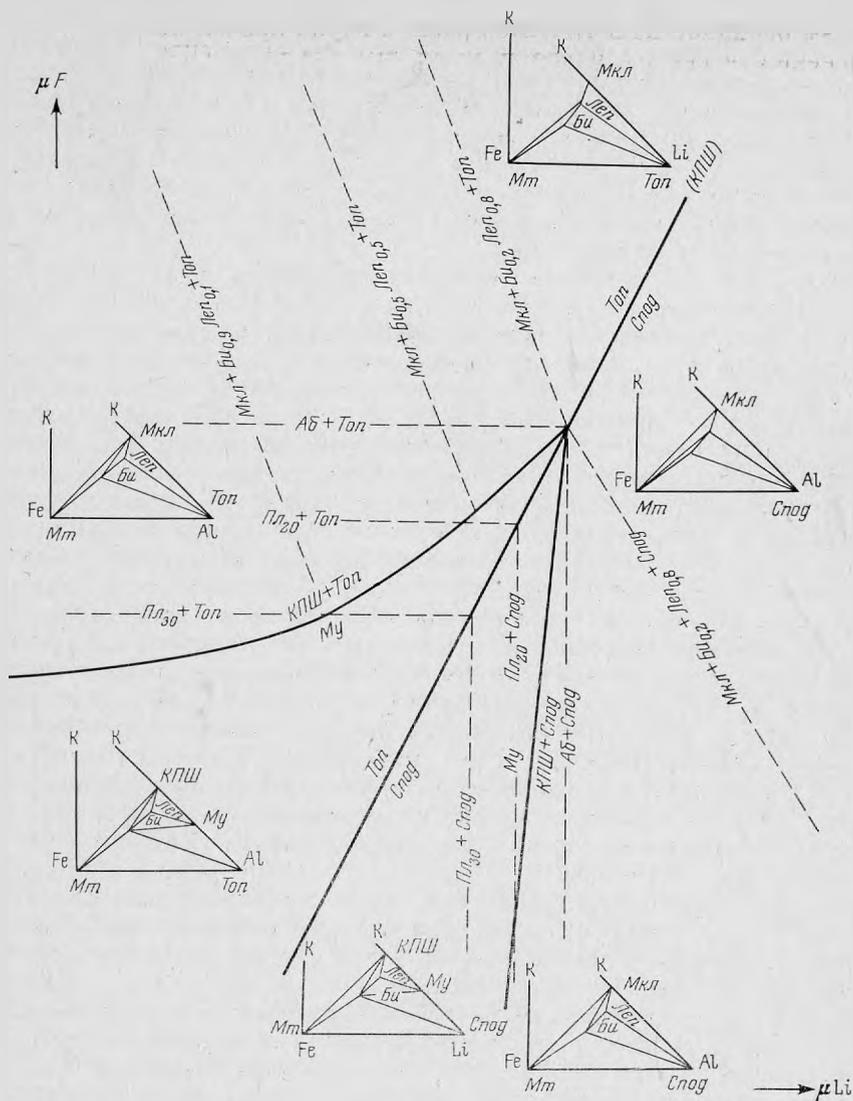


Рис. 13. Минеральные парагенезисы редкометальных литий-фтористых гранитов и пегматитов в координатах химических потенциалов лития и фтора

Пунктиром показаны линии флюидосодержаний лепидолита в слюдах и альбита в плагиоклазах. Избыточные минералы в системе — кварц, плагиоклаз и флюорит

Обозначения: Аб — альбит, Би — биотит, Инд — индигалит, КПШ — калиевый полевой шпат, Леп — лепидолит, Мкл — микроклин, Мт — магнетит, Му — мусковит, Пл — плагиоклаз, Спод — сподумен, Топ — топаз

витовых парагенезисов здесь дело не дошло. К этому моменту приурочено концентрированное выпадение берилла.

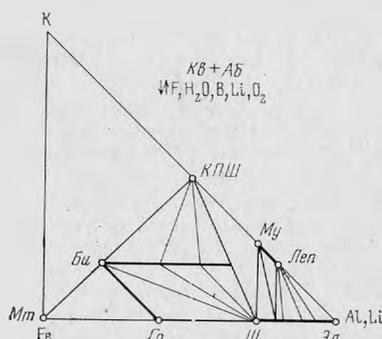
Несколько иными представляются парагенезисы турмалиносодержащих пегматитов. Появление турмалина, естественно, связано с повышенной концентрацией бора в пегматитах. Однако в данном случае не масса бора определяла минеральные парагенезисы, а его химический потенциал, заданный внешней средой. Другими словами, поведение бора в рассматриваемых пегматитах соответствует поведению вполне подвижного компонента (Коржинский, 1957). Действительно, если бы бор был инертным (обособленным, по Д. С. Коржинскому) компонентом, то наличие его в системе добавляло бы просто лишний минерал к парагене-

зису, например, бестурмалиновых пегматитов. Возможно, что в каких-то случаях так и бывает. Но в пегматитах Хух-Дель-Ула турмалин появляется не как дополнительный минерал, а вместо топаза. То есть, количество фаз в минеральном парагенезисе не возрастает и в присутствии бора, что указывает на его вполне подвижное поведение. В связи с этим считается, что турмалинсодержащие пегматиты образовались при заданной внешней среде, но относительно высокой активности бора.

Диаграмма состав — парагенезис турмалинсодержащих пегматитов приведена на рис. 14. Она отражает основные закономерности составов

Рис. 14. Диаграмма состав — парагенезис для турмалинсодержащих литий-фтористых пегматитов

Обозначения: *Аб* — альбит, *Би* — биотит, *Гр* — гранат, *Кв* — кварц, *Леп* — лепидолит, *Мт* — магнетит, *Му* — мусковит, *Ш* — шерл, *Эл* — эльбаит



их минеральных парагенезисов. Во-первых, в условиях повышенной активности бора становятся неустойчивы слюды состава циннвальдит — криофиллит, которые замещаются парагенезисом шерла с калиевым полевым шпатом. Во-вторых, здесь неустойчив топаз, который вместе с частью альбита и, возможно, лепидолита замещается парагенезисом эльбаита с кварцем. В-третьих, диаграмма объясняет редкость калиевого полевого шпата в парагенезисе с эльбаитом либо индиголитом. Полевой шпат устойчив только в ассоциации с шерлом и мусковитом при малой активности лития. С повышением активности последнего, по-видимому, все более обогащенный литием мусковит, а затем — лепидолит влияют на равновесие с турмалином, обогащаемом литием, образуется эльбаит. С железистым эльбаитом в принципе возможна ассоциация лепидолита с мусковитом. Чистый эльбаит устойчив преимущественно с лепидолитом, альбитом и кварцем. К сожалению, мало пока известно составов сосуществующих турмалинов и слюд. Поэтому конноды на диаграмме (см. рис. 14) являются предварительными.

Наконец, напомним, что в рассмотренных пегматитах имеются поздние метасоматические минеральные комплексы, замещающие парагенезисы, свойственные пегматитам. Наиболее ранние из них — грейзеноподобные обособления, состоящие из мелкозернистого лепидолита и кварца. Они развиты не во всех телах пегматитов. Мы склонны пока их параллелизовать с грейзенами в литий-фтористых гранитах. Более поздним и шире распространенным послемагматическим процессом является альбитизация пегматитов с образованием секущих зон алхимоминеральных альбититов. Еще более поздними оказываются онкозинизация и процессы формирования пустот с кварц-мусковит-флюоритовыми агрегатами и флюоритовых прожилков. В целом, такая последовательность отвечает смене стадии кислотного выщелачивания (грейзенизация) стадией осаждения оснований (альбитизация, возможно, онкозинизация) и далее стадией нейтральных растворов (флюоритовые, баритовые прожилки) (Коржинский, 1966). Но в пегматитах, по-видимому, иногда после альбитизации снова может проявиться слабое кислотное выщелачивание пород (образование кварц-мусковит-флюоритового комплекса).

Судя по геохимическим данным, перечисленные наложенные процессы не были решающими в формировании редкометального облика пегма-

титов Хух-Дель-Ула, заложенного еще в магматической стадии. Они могли способствовать, например, более интенсивному формированию колумбита в альбититах, но повышенные содержания ниобия и тантала, по-видимому, были характерны и для магматических парагенезисов пегматитов.

Таковыми представляются авторам генетические особенности пегматитов месторождения Хух-Дель-Ула.

Советско-Монгольская научно-исследовательская геологическая экспедиция АН СССР и АН МНР

Литература

- Барсанов Г. П., Яковлева М. Е. О турмалине дравитового состава. — Труды Минер. музея АН СССР, 1964, вып. 15.
- Берзина И. Г., Попенко Д. П. Диагностика слюд по фигурам травления на следах от осколков деления. М., 1970.
- Беус А. А., Северов Э. А., Ситнин А. А., Субботин К. Д. Альбитизированные и грейзенизированные граниты (апограниты). М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Борнеман-Старинкевич И. Д. Руководство по расчету формул минералов. М., «Наука», 1964.
- Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. — Геохимия, 1962, № 7.
- Гинзбург А. И., Берзин С. И. О химическом составе и структуре литиевых слюд. — Труды Минер. музея АН СССР, 1953, вып. 5.
- Гинзбург А. И. Минералого-геохимическая характеристика литиевых пегматитов. — Труды Минер. музея АН СССР, 1955, вып. 7.
- Гинзбург А. И. Геохимические особенности пегматитового процесса. — В кн. «Минералогия и генезис пегматитов». (Международ. геолог. конгресс. XXI сессия. Докл. сов. геол. Пробл. 17). М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Гордиенко В. В. Минералогия, геохимия и генезис сподуменовых пегматитов. Л., «Недра», 1970.
- Дир. У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 1—5. М., «Мир», 1965.
- Заварицкий А. Н. Основной вопрос физической химии процесса образования пегматитов. — Изв. АН СССР, сер. геол., 1944, № 5.
- Заварицкий А. Н. О пегматитах как образованиях, промежуточных между изверженными горными породами и рудными жилами. — Записки Всес. Минерал. общ-ва, 1947, ч. 76, вып. 1.
- Коваленко В. И., Кузьмин М. И., Летников Ф. А. О магматическом генезисе редкометалльных литий-фтористых гранитов. — Докл. АН СССР, 1970, 190, № 2.
- Коваленко В. И., Кузьмин М. И., Зоненшайн Л. П., Нагибина М. С., Павленко А. С., Владыкин Н. В., Цеден Ц., Гундсамбуу Ц., Горегляд А. В. Редкометалльные гранитоиды Монголии. (Петрология, распределение редких элементов и генезис). М., «Наука», 1971.
- Коваленко В. И. Физико-химические условия формирования редкометалльных гранитоидов в гипабиссальных условиях (общие принципы генетической модели). — В кн. «Ежегодник — 1970». Сибирский институт геохимии, Иркутск, 1971.
- Коваленко В. И. Распределение фтора в дайке топазсодержащего кварцевого кератофира (онгонита) и предполагаемая растворимость фтора в гранитном расплаве. — Геохимия, № 1, 1973.
- Коваль П. В., Коваленко В. И., Кузьмин М. И., Писарская В. А., Юрченко С. А. Минеральные парагенезисы, состав и номенклатура слюд редкометалльных альбитсодержащих гранитоидов. — Докл. АН СССР, 1972, 202, № 5.
- Коржинский Д. С. Физико-химические основы анализа минеральных парагенезисов. Изд-во АН СССР, 1957.
- Коржинский Д. С. Общие закономерности послемагматических процессов. В кн.: «Метасоматические изменения боковых пород и их роль в рудообразовании». М., «Недра», 1966.
- Лавидес И. Л., Гормашева Г. С. Поведение химических компонентов лепидолитов при термических исследованиях. В кн.: «Ежегодник—1972», Сибирский институт геохимии, Иркутск, 1973.
- Мелентьев Г. В. Лещидолит-альбитовые пегматиты и их генезис. Автореф. канд. дисс. ИМГРЭ. М., 1972.
- Минеев Д. А. Лантаноиды в минералах. М., «Недра», 1969.
- Милеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Никитин В. Д. Современное состояние учения о процессах и условиях формирования пегматитов. — Записки Ленингр. горн. ин-та, 1959, 40.

- Россовский Л. Н., Шостацкий А. Н., Матросов И. И.* Особенности матра-литивых пегматитов Восточной Гоби (МНР). — Докл. АН СССР, 1971, 201, № 4.
- Сливко М. М.* Исследование турмалинов некоторых месторождений СССР. Изд-во Львовского университета, 1955.
- Солодов Н. А.* Внутреннее строение и геохимия редкометалльных гранитных пегматитов. Изд-во АН СССР, 1962.
- Солодов Н. А.* Научные основы перспективной оценки редкометалльных пегматитов. М., «Наука», 1971.
- Соседко Т. А.* Изменение структуры и свойств берилла с повышенным содержанием щелочей. Записки Всес. мин. об-ва, ч. 86, вып. 4, 1957.
- Ферсман А. Е.* Пегматиты, т. I. Изд-во АН СССР, 1940.
- Ширяева В. А., Шмакин Б. М.* О составе турмалинов из мусковитовых пегматитов Восточной Сибири. — Записки Всес. мин. об-ва, 1969, ч. 98, вып. 2.
- Штрунц Х.* Минералогические таблицы. М., Госгортехиздат, 1962.
- Foster M. D.* Interpretation of the composition of lithium micas. — U. S. Geol. Surv., Prof. Papers, 354 — B, 1960.
- Jahns R. H.* The genesis of pegmatites. — Amer. Mineral., 1953, 38.
- Jahns R. H., Burnham C. W.* Experimental studies of pegmatite genesis. I. A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. — Econ. Geol., 1969, 64, № 8.
- Norton J. J.* Ternary diagrams of the quartz — feldspar content of pegmatite in Colorado. — Geol. Surv. Bull., 1241—D, 1966.
- Rosenberg P. E.* Paragenesis of the topaz-bearing portion of the Brown Derby No 1 pegmatite, Gunnison County Colorado. — Amer. Mineral., 1972, 57, № 3—4.
- Staatz M. N., Murata K. J., Glass J. J.* Variation of composition and physical properties of tourmaline with its position in the pegmatite. — Am. Mineral., 1955, 40.
- Stevens R. E.* A system for calculating analysis of micas and related minerals to end members. — U. S. Geol. Surv., Bull., 950, 1946.