

ПЕГМАТИТОВЫЕ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ



4

ВЫПУСК 4



МОСКВА-1971

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ
И КРИСТАЛЛОХИМИИ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

ПЕГМАТИТОВЫЕ РЕДКОМЕТАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

ВЫПУСК 4

Новые данные по пегматитам
Урала, Сибири
и Северной Карелии

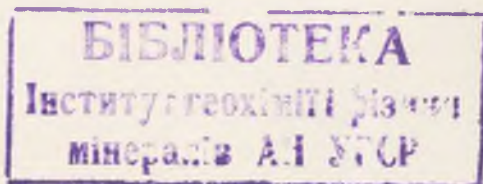
МОСК

Главный редактор
член-корреспондент АН СССР
Л. Н. Овчинников

Редакционная коллегия:

К. Л. Волочкович,
М. В. Кузьменко (ответственный редактор),
И. Б. Недумов,
Т. И. Нефелова

13557 ✓ ✓



ВВЕДЕНИЕ

Настоящий выпуск освещает вопросы геологии, петрохимии, минералогии и геохимии пегматитоносных гранитов, пегматитов и пневматолитов Урала, а также поллукитоносных пегматитов Сибири. В статьях сборника разбираются особенности состава пегматитов в зависимости от их генетической связи с различными верхнепалеозойскими гранитами Урала, предложены петрохимические константы для расчленения гранитоидов и их жильных производных, выявлена геохимическая редкометальная специализация последних. Достаточно подробно описаны внутреннее строение, минеральный состав и геохимические особенности рубеллитоносных пегматитов и установлено, что по своим геологическим и геохимическим особенностям они занимают промежуточное положение между камерными и комплексными редкометальными пегматитами. Проведен сравнительный анализ петрохимических особенностей уральских пневматолитовых образований линии скрещения с редкометальными пегматитами различных районов СССР и предложены количественные петрохимические характеристики для оценки их перспектив в отношении редких щелочных металлов. Выявлены также особенности распределения редких элементов в поллукитоносных микроклин-сподумен-альбитовых пегматитах Сибири, характеризующихся отсутствием отчетливой зональности, лепидолита, клеветландита и полихромных турмалинов, предлагаются количественные минералогическо-геохимические характеристики для их поисков и оценки.

На основе достоверного валового опробования доказывалось, что систематическое обеднение редкими элементами является характерной особенностью слюдоносных пегматитов ультраметаморфогенного происхождения.

Д.Я. Айздердзис, А.П. Калита,
Т.Н. Большакова

ГЕОЛОГО-ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ВЕРХНЕПАЛЕОЗОЙСКИХ ПЕГМАТИТОНОСНЫХ
ГРАНИТОВ УРАЛА И ВОПРОСЫ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ
РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПЕГМАТИТОВ С ГРАНИТАМИ

Верхнепалеозойские пегматитоносные гранитные интрузии развиты в пределах палеозойской геосинклинальной зоны Урала и приурочены к ядрам крупных антиклинальных структур, где они образуют крупные многофазные массивы, окаймленные гнейсо-мигматитовыми ореолами. Преимущественным развитием в них пользуются нормальные биотитовые и лейкократовые плагио-микроклиновые граниты. Гранитоиды повышенной основности (кварцевые диориты, гранодиориты, плагиограниты) и граносиениты имеют ограниченное распространение. Массивы нормальных биотитовых и лейкократовых гранитов сопровождаются обширным дайково-жильным комплексом, представленным гранит-аплитами, гранит-пегматитами, безрудными, керамическими, слюдоносными, хрусталеносными, редкометальными пегматитами, пегматитами с драгоценными камнями, различными гидротермально-пневматолитовыми и гидротермальными образованиями.

Большинство ведущих геологов Урала подразделяет верхнепалеозойские гранитоиды Урала на три субформации: гранодиоритовую, нормальных калиевых гранитов и аляскитовую. Д.С. Штейнберг (1963) выделяет две генетические серии гранитных пород: гранито-гнейсовую и магматическую. И.В. Ленных (1961) расчленяет гранитоиды на два комплекса: добатолитовый и батолитовый. В отличие от последнего автора, Б.К. Львов (1966) разделяет их на три разновозрастных комплекса: 1) кварцевые диориты и плагиограниты; 2) гранитоиды непостоянного состава (гранодиориты, диорит-сиениты, граносиениты, биотитовые и амфибол-биотитовые граниты, лейкократовые граниты); 3) нормальные биотитовые и лейкократовые граниты и аляскиты. Каждый комплекс, в свою очередь, расчленяется на интрузивные фазы. При этом ранние фазы (в каждом комплексе) представлены меланократовыми, а более поздние — лейкократовыми разновидностями. Почти все гранито-гнейсы Б.К. Львов относит к доинтрузивным метаморфическим образованиям.

Предлагаемая Б.К. Львовым схема наиболее полно учитывает весь имеющийся в настоящее время материал по минералогии и ме-

таждогении гранитоидов восточного склона Урала. Выделяемые им комплексы довольно четко различаются по геологическим условиям локализации, своему петрографическому составу, набору аксессуарных минералов и рудной специализации.

Первые два комплекса развиты в краевой зоне геантиклинального поднятия, последний – в его центральной (осевой) части. Согласно схеме Б.К.Львова, пегматитоносными являются главным образом граниты наиболее позднего, третьего комплекса, который в свою очередь расчленяется на две фазы: 1) меланократовых, реже лейкократовых биотитовых и двуслюдяных гранитов; 2) розовых, лейкократовых и аляскитовых флюоритоносных гранитов. По мнению Б.К.Львова, с последней фазой связано редкометальное оруденение.

Несмотря на большое количество работ, посвященных гранитоидам Урала, особенности внутреннего строения, взаимоотношения и последовательность формирования различных структурно-петрографических разностей гранитов и дайково-жильных пород в пегматитоносных массивах далеко не полностью изучены. В известных обобщающих работах по редкометальным пегматитам Урала (Ферсман, 1932; Куклин, Сазонов, 1962; Таланцев, 1969 и др.) вопросы генетических взаимоотношений различных промышленных типов пегматитов с гранитами и критерии рудоносности последних на редкометальное "пегматитовое" оруденение достаточно детально не анализируются. Представления ряда исследователей о генетической связи отдельных пегматитовых полей с гранитами базируются главным образом только на их пространственной близости.

Петрохимические и минералого-геохимические особенности различных магматических комплексов Урала рассмотрены довольно детально (Романов, 1947; Соболев, 1966; Кузнецов, 1961; Ленных, 1961; Овчинников, Троянова, 1963; Штейнберг, 1963; Львов, 1964, 1966; Ляхович, 1963; Шерстюк, 1963; Сиротин, Задумина, 1963; Ферштатер, 1963 и др.). Однако недостаточная изученность особенностей внутреннего строения и химизма отдельных фаз, фаций и связанного с ними дайково-жильного комплекса делает невозможным решение вопросов о генетических взаимоотношениях гранитов, пегматитов и содержащегося в них оруденения, совершенно необходимое для оценки рудоносности гранитных массивов и, следовательно, правильного выбора площадей под поисково-разведочные работы на некоторые редкие элементы.

В связи с этим нами были проведены исследования внутренне-

го строения, минералого-геохимических и петрохимических особенностей главных пегматитоносных гранитных массивов и их эндо- и экзоконтактных зон, с которыми связаны пегматитовые месторождения различной промышленной специализации. При этом генетические взаимоотношения экзоконтактных пегматитов с гранитами изучались путем прослеживания переходов от гранитов, через их экзоконтактные жильные фации, к полнодифференцированным (продуктивным) пегматитам.

Для характеристики химизма пород и закономерностей распределения в них редких элементов в работе использовано 100 полных химических анализов пород и около 200 частных определений тантала, ниобия, бериллия, лития, рубидия, цезия, фтора, бора и редких земель, выполненных лабораториями ИМГРЭ. Кроме того, использовано около 100 химических анализов пород, опубликованных в работах Б.К.Львова.

В результате проведенного комплекса исследований предлагается уточненная схема расчленения верхнепалеозойских пегматитоносных интрузий на фазы, субфазы и фации, делается попытка увязать различные промышленные типы пегматитов с определенными этапами становления гранитной интрузии, а также намечаются некоторые петрохимические и минералого-геохимические критерии оценки их рудоносности.

Основанием для выделения интрузивных фаз послужили следующие общеизвестные признаки: 1) пересечения одних гранитов другими, 2) четко выраженные поверхности раздела зон закалки на контакте гранитов различных фаз, 3) пересечения жильных производных гранитов ранних фаз более поздними гранитами или их жильными производными, 4) петрохимические и минералого-геохимические особенности, характерные для гранитов разных фаз. В субфазы выделяются пространственно ассоциирующие структурно-петрографические разновидности гранитоидов или их жильных производных, имеющие сложные фазово-фациальные взаимоотношения, т.е. когда наряду с явными пересечениями одних пород другими наблюдаются между ними и постепенные (фациальные) переходы.

При выяснении генетических взаимоотношений пегматитов с гранитами учитывались: а) пространственная связь и пространственная зональность, б) наличие постепенных переходов, в) сходство внутреннего строения экзоконтактных и внутригранитных пегматитов, г) минералого-геохимическая специализация, д) петрохимическое родство.

Расчленение пегматитоносных гранитных массивов и связанного с ними жильного комплекса

Сравнение внутреннего строения и минералого-геохимической специфики главных пегматитоносных массивов Урала позволяет выделить для рассматриваемых гранитов ряд закономерно сосуществующих в различных массивах фазовых и фациальных разновидностей гранитов и пегматитов, отличающихся между собой по возрастным взаимоотношениям, геологическим условиям локализации, минеральному составу и структурно-текстурным особенностям.

В отличие от схемы Б.К.Львова, пегматитоносный комплекс расчленяется на три фазы, при этом в состав первой фазы включаются и гранитоиды повышенной основности, закономерно связанные с эндоконтактами пегматитоносных массивов и имеющие явно гибридное происхождение (табл. I):

Наиболее ранними образованиями являются гранитоиды повышенной основности (кварцевые диориты, гранодиориты), биотитовые, биотит-амфиболовые и лейкократовые граниты. Они слагают отдельные мигмаплутоны или эндоконтакты крупных гранитных массивов и зоны синклюдчатых мигматитов в их экзоконтактах. Эти образования секутся более молодыми лейкократовыми и биотитовыми гранитами второй (главной) фазы (фиг. I).

Гранитоиды I фазы подразделяются на две субфазы: 1) меланократовые биотитовые, биотит-амфиболовые граниты, гранодиориты, кварцевые диориты; 2) лейкократовые граниты. Наиболее распространенной фацией первой субфазы являются мелко-среднезернистые биотитовые и биотит-амфиболовые гнейсовидные граниты. В эндоконтактовой зоне эти породы насыщены ксенолитами вмещающих биотит-амфиболовых гнейсов. Последние в значительной степени переработаны в кварцевые диориты и гранодиориты. Лейкократовые граниты (вторая субфаза) образуют отдельные полосы, обособления, прожилки, переходящие (особенно в зоне экзоконтакта) в секущие жильнообразные и дайкообразные тела. Таким образом, между образованиями этих субфаз существуют сложные фазово-фациальные взаимоотношения.

Минеральный состав пород I (главной) субфазы колеблется в

Т а б л и ц а I

Схема размещения верхнепалеозойских пегматитовых гранитных массивов
Урала и взаимоотношений гранитов с жильным комплексом

Фазы	Субфазы	Фазы			Фазы по Б.К. Лынову
		внутриконтактные		экзоконтактная	
		главная	аппалачская	кварцевая	жильная
I Граниты позднепалеозойской осеанотитовые, биотит-амфиболовые и лейкократовые граниты (раннеосеанотитовый - дообогатительный)	1. Мелкозернистые граниты (главная)	Мелко-среднезернистые биотитовые и биотит-амфиболовые граниты	Гнейсовидные, полосчатые гранодиориты, кварцевые диориты с коенолитами амфиболоидного порока	Полосчатые инъекционные гнейсовидные биотитовые и биотит-амфиболовые граниты, гранодиориты	I Меланократовые, мезократовые, реже лейкократовые биотитовые и двускладные граниты
	2. Лейкократовые граниты, плагиограниты (второстепенная)	Средне-мелкозернистые лейкократовые граниты с биотитом, амфиболом, реже двускладные и мусковитовые граниты	Полосчатые, иногда гнейсовидные несколько обогащенные слюдой и амфиболом, мелкозернистые граниты	Инъекционные пегматитовые граниты и апалачидные амфиболовые граниты	
	3. Аплиты, пегматиты (жильная)	Аплиты	Пегматит-аплиты, пегматиты, кварцевые жилы	Аплиты, безрудные аплит-пегматиты, пегматиты, кварцевые жилы	
II Нормальные плагиоклазово-розовидные граниты (главная, позднеледниковая - дообогатительная)	1. Средне-крупнозернистые биотитовые (до лейкократовых) граниты (главная)	Крупнозернистые лейкократовые граниты с биотитом	Резкопорфировидные биотитовые граниты с коенолитами амфиболоидного порока и кварцами пегматитов	Мелко-среднезернистые гнейсо-граниты биотитовые	I Меланократовые, мезократовые, реже лейкократовые биотитовые и двускладные граниты
	2. Мелкозернистые биотитовые (до лейкократовых) граниты (второстепенная)	Мелкозернистые, биотитовые и лейкократовые		Мелкозернистые аплитовидные двускладные лейкократовые граниты со шкряпкой и прожилками пегматитов	
	3. Аплиты, пегматиты различного состава, кварцевые жилы (жильная)	Аплиты, безрудные пегматиты, кварцевые жилы		Пегматит-аплиты, пегматиты с древесными камнями и Li, Be, Ta, Nb минерализацией, кварцевые жилы	
III Лейкократовые "граниты" (допалеозойская - дообогатительная)	1. Мелко-среднезернистые двускладные лейкократовые граниты (главная)	а) Олигоклаз-микроклазовые граниты б) Макроклаз-альбит-олигоклазовые граниты с мусковитом		Мусковитовые аплитовидные граниты с пегматитовыми обособлениями, пегматитовые граниты	II Розовые, преимущественно лейкократовые и аляскинские флюоритовые граниты, аплиты, пегматиты
	2. Аплитовидные граниты, аплиты, пегматиты, кварцевые жилы (жильная)	Аплитовидные граниты, аплиты, аплит-пегматиты с акцессорной редкометаллоидной минерализацией, кварцевые жилы		Гранит-пегматиты, аплит-пегматиты, дифференцированные пегматиты с Be, Nb, Ta минерализацией (редкоисходными пегматитами), литоритово-мально-пневматолитовые жилы с повышенными содержаниями Li, Rb, Cs, Ba, Mo, кварцевые жилы, иногда с молибденитом	

весьма широких пределах. Биотитовые и биотит-амфиболовые граниты главной фации состоят (в %) из плагиоклаза (30-40), кварца (30), ортоклаза (до 20), биотита, амфибола (20). Гибридные гранодиориты отличаются более высокими (20-30%) содержаниями темноцветных минералов. Плагиоклаз в гранитоидах первой субфазы представлен андезин-олигоклазом и андезином.

Лейкократовые граниты II субфазы отличаются несколько более крупнозернистой структурой, наличием пегматоидных фаций и меньшим (обычно до 5%) содержанием темноцветных минералов. Плагиоклаз в них представлен главным образом олигоклазом и альбит-олигоклазом. Наряду с ортоклазом появляется микроклин.

Гранитоиды I фазы в целом бедны акцессорными минералами, из которых наиболее характерны: магнетит, ильменит, сфен, энфит, а для лейкократовых гранитов, кроме того, гранат. Редкометалльные минералы обычно присутствуют в единичных знаках только в лейкократовых разностях второй субфазы и представлены монацитом, ксенотимом, ильменорутилом, ортитом, торитом и изредка тантало-ниобатами.

Относительно крупнокристаллические пегматоидные фации и жильные тела пегматитов в I фазе развиты довольно широко, но представлены обычно только недифференцированными разностями средне-крупнокристаллической гранитной структуры. Для них характерен простой кварц-полевошпатовый состав и незначительные содержания или полное отсутствие слюд. Из акцессорных минералов в заметных количествах отмечается только магнетит. Мощность пегматитовых жил обычно не превышает 0,5-1,0 м.

Граниты II фазы являются доминирующими почти во всех пегматитоносных гранитных массивах. Они также подразделяются на две субфазы: главную и второстепенную. Главная субфаза представлена нормальными биотитовыми (до лейкократовых) гранитами, среди которых выделяются фации крупнокристаллических лейкократовых гранитов с биотитом (главная), резкопорфировидных биотитовых гранитов (апикальная) и мелко-среднезернистых биотитовых гранитов (краевая).

Крупнокристаллические лейкократовые граниты с биотитом развиты в центральных наиболее эродированных частях пегматитоносных массивов. Для них характерна равномернозернистая или слабо порфировидная структура, массивная текстура. С порфировидными разностями они связаны относительно постепенными переходами. Нерав-

номернозернистые резкопорфировидные граниты состоят из мелкозернистой основной массы и крупных идиоморфных выделений микроклина, олигоклаза и кварца. Они развиты в краевых и центральных частях многих пегматитоносных массивов и отличаются в той или иной мере проявленной гнейсовидностью и нередко присутствием ксенолитов вмещающих пород, что позволяет, предположительно, считать их апикальной фазией главной фазы. Это подтверждается также широким развитием в гнейсовидных гранитах разнообразных дайково-жильных пород (аплитов, пегматитов). Содержания порообразующих минералов в гнейсовидных гранитах колеблются в широких пределах.

Крупнокристаллические и порфировидные граниты обычно имеют микроклин-плагиоклазовый, реже плагио-микроклиновый состав (табл. 2). Они заметно обогащены акцессорными минералами (апатитом, магнетитом, монацитом, ксенотимом, иногда тантало-ниобатами, турмалином, бериллом и др.). В них нередко отмечаются акцессорный колумбит и флюорит.

Гнейсовидные биотитовые граниты развиты в эндоконтактах многих массивов и представляют собой их краевую фацию. Они имеют четкие секущие контакты с различными по составу вмещающими породами докембрия и палеозоя и довольно постепенные переходы к массивным разностям крупнокристаллических фаций. Для краевой фации характерны гнейсовидная, реже полосчатая текстуры, среднезернистая и слабопорфировидная структуры. По минеральному составу (см. табл. 2) они характеризуются преобладанием плагиоклаза над микроклином, довольно высоким содержанием кварца и бедной акцессорной минерализацией. В них наиболее широко проявлены процессы мусковитизации, реже альбитизации.

Вторая субфаза представлена мелко- среднезернистыми биотитовыми (до двуслюдяных) гранитами. Более или менее четкие секущие контакты характерны только для мелких жильных тел в апикальных и краевых фациях гранитов главной фазы. В свою очередь, они пересекаются внутригранитными пегматитами главной фазы и лейкократовыми гранитами III фазы (фиг. 2). Аналогичные возрастные взаимоотношения мелкозернистых биотитовых гранитов с порфировидными были установлены также К.М. Сиротиным (1963), Л.В. Покровским (1963) и другими исследователями. По своему минеральному составу (см. табл. 2) эти граниты мало чем отличаются от пород главной фазы. В них несколько выше содержание калиевого полевого шпата, но меньше акцессорных минералов.

Таблица 2

Минеральный состав (%) верхнепалеозойских пегматитовосных гранитов и пегматитов

Игру- зные фазы	Фашия	Кварц	Кальциевый полевой шпат	Плагиоклаз	Мусковит	Бiotит	Амфибол	Прочие по- родообра- зующие минералы	И плагио- клаза	Характерные акцессорные минералы
I	Гранодиориты	30	10	40-45	—	20-30		до 5	25-35	Магнетит, эпидот, ильменит, офеи, апатит, гранат, рече орит, торит, ильменоруты, монацит
	Бiotитовые и бiotит- амфиболовые граниты	30	20	30-40	—	20		до 5	25-30	
	Лейкоократовые граниты	30	20-40	20-30	I-3	5		до 5	10-20	
	Щекальные пегматиты в лейкоократовых гранитах	3I	29	37	до I	до I		0,5	10-20	
II	Гнейсовидные бiotитовые граниты	32-44	I4-28	26-42	2-4	I-3		до I		Апатит, гранат, магнетит, циркон, ильменит, монацит (иногда)
	Крупнокристаллические лейкоократовые и резко- порфировидные бiotитовые граниты	29-34	20-35	36-39	0,5-4	2-10	—	I-3	I3-25	Апатит, магнетит, гранат, циркон, ильменит, офеи, руты, монацит, коено- тит, иногда тапало-анобит, берилл, турмалины
	Мелкозернистые бiotи- товые граниты	3I-32	2I-33	33-38	2-4	4-6	—	I-2	I2-24	Апатит, циркон, монацит, магнетит, ильменит, гранат
	Эпидотитовые или иль- менитовые мелко-орек- новидные лейкоокра- тово дуаловидные гра- ниты, гранит-пегматиты	32-36	I9-28	33-38	2-8	2-3	—	I-2	II-I4	Турмалины, апатит, гранат, магнетит, ильменит, монацит, тапалит-колум- бит, парохлор, берилл, легинокит
	Щекальные пегматиты в гранитах II фазы	26-32	30-37	36-38	I-4	I-3	—	до I	9-I2	Гранат, магнетит, ильменит, апатит, циркон, офеи, монацит, коенотит, тапало-анобит, берилл
III	Олигоклаз-микроклино- вые граниты	30-39	26-37	29-30	I-2	I-3	—	I-2	9-I3	Магнетит, гранат, апатит, монацит, коенотит, ильменит, руты, турма- лины, иногда омарокит
	Пегматиты в олигоклаз- микроклиновых гранитах	30-38	36-38	25-29	0,5-I,5	I-3	—	до I	3-I2	
	Макроклин-альбит-оли- гоклазовые граниты	30-32	I8-23	37-42	2-6	I-3	—	I-2	7-I0	Апатит, гранат, монацит, коенотит, ильменит, магнетит, флюорит, колумбит, берилл, топаз, маляде- нит, касситерит
	Щека и калы пегма- титов в микроклин-оли- гоклазовых гранитах	27-36	8-32	37-46	I-I0	до 2	—	до 3	6-I2	
	Эпидотитовые гранит-пегматиты и по- лидифференцированные редкометалльные пегматиты	29-39	3-23	41-62	I-7	I-3	—	до 3	I-9	Апатит, гранат, монацит, коенотит, магнетит, флюорит, колумбит-тап- галит, берилл, касситерит и др.

Жильные образования в гранитах II фазы концентрируются главным образом в апикальных и краевых фациях, образуя серии субпараллельных зон, насыщенных преимущественно маломощными (до I м) жилами аплитов и пегматитов. Мелкие жилы обычно имеют участковую текстуру, аплитовидную неравномернозернистую и графическую структуру. В крупных же (более I м) телах нередко появляются пегматоидная и мелкоблоковая зоны и кварцевое ядро. В целом, эти пегматиты характеризуются олигоклаз-микроклиновым составом, широким развитием графических зон с саблевидным биотитом, который во внутренних зонах (блоковых и пегматоидных) сменяется гранатом и мусковитом. В пегматоидных зонах нередко отмечается ельчатый мусковит, а в окружении кварцевого ядра - альбит-мусковитовый комплекс. Из акцессорных минералов наиболее часто встречаются: гранат, магнетит, ильменит, апатит, циркон, эпидот, сфен, монацит и ксенотим. В небольших количествах присутствуют: тантало-ниобаты, берилл, сульфиды, изредка - сподумен. Содержания тантало-ниобатов (колумбита, пирохлора) не превышают 10-20 г/т.

Экзоконтактовая жильная фация главной фазы гранитов представлена мелкозернистыми биотитовыми и двуслюдяными (до мусковитовых) аплитовидными гранитами с гнездами и прожилками пегматитов, гранит-пегматитами, аплит-пегматитами и пегматитами, которые связаны между собой постепенными переходами. В совокупности они образуют ореол дайко-, жило- и штокообразных тел над пологими контактами массивов.

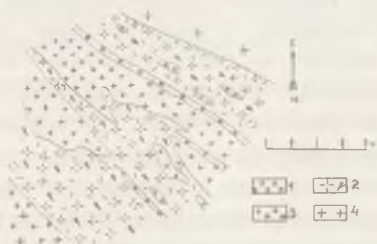
По сравнению с фациями эндоконтакта уменьшается содержание биотита, но возрастает - кварца и мусковита. В гранит-пегматитах и аплит-пегматитах появляются участки, заметно обогащенные шерлом. Пегматиты имеют олигоклаз-кварц-микроклиновый, микроклин-кварц-альбит-олигоклазовый состав и содержат хрусталеносные "погреба". В подчиненном количестве в них развиты кварц-альбитовый и мусковит-кварц-альбитовый комплексы с колумбит-танталитом, пирохлором, лепидолитом, бериллом и цветными турмалинами. Таким образом, устанавливается связь хрусталеносных пегматитов с экзоконтактовым жильным комплексом II фазы.

Лейкократовые граниты III фазы образуют относительно небольшие интрузии, дайко- и штокообразные тела в зонах эндо-, реже экзоконтактов нормальных биотитовых гранитов главной фазы. Они секут порфировидные и мелкозернистые граниты (см. фиг. 2), а также внутригранитные дайково-жильные породы (фиг. 3). Эти граниты за-



Фиг.1. Последовательность формирования жильных пород (а) и взаимоотношения гранитов I и II интрузивных фаз (б)

I — пегматиты; 2 — лейкокротовые средне-крупнозернистые порфировидные граниты II фазы ($\delta_2^I P_{23}$); 3 — мелкозернистые лейкокротовые граниты I фазы ($\gamma_1^I P_{23}$); 4 — гнейсовидные биотитовые граниты I фазы ($\gamma_1^I P_{23}$)



Фиг.2. Пересечение мелкозернистых биотитовых гранитов (вторая субфаза II фазы) лейкокротовыми гранитами III фазы

I — пегматиты; 2 — лейкокротовые граниты ($\delta_4 P_{23}$); 3 — мелкозернистые биотитовые граниты ($\gamma_3 P_{23}$); 4 — порфировидные биотитовые граниты II фазы ($\gamma_2 P_{23}$)



Фиг.3. Взаимоотношения внутригранитных жильных пород II фазы с жилами мусковитовых аплитовидных гранитов III фазы

I — мусковитовые аплитовидные граниты III фазы; 2 — жильные пегматиты II фазы; 3 — аплиты и аплитовидные граниты (с биотитом) вторая субфаза II фазы; 4 — гнейсовидные граниты II фазы (краевая фация)

метно отличаются более лейкократовым составом, высокими содержаниями мусковита и кварца. Широким развитием среди них пользуются пегматоидные фации, образующие мелкие шпироподобные обособления и прожилки, которые составляют от 5 до 40% (а иногда и более) от общей массы породы. Иногда наблюдаются грубополосчатые текстуры, обусловленные чередованием мелкозернистых и пегматоидных участков. Для лейкократовых гранитов характерно также обилие минеральных обособлений и прожилок темного дымчатого кварца. По минеральному составу они подразделяются на олигоклаз-микроклиновые и микроклин-альбит-олигоклазовые. Для последних характерны повышенные содержания мусковита. Возрастные и генетические взаимоотношения этих разновидностей гранитов пока не установлены.

Олигоклаз-микроклиновые граниты характеризуются преобладанием микроклина над платиоклазом (олигоклазом и альбитом), низким содержанием слюд и акцессорных минералов. Среди последних наиболее распространенным является магнетит. В незначительных количествах присутствуют: гранат, апатит, монацит, ксенотим, ильменит, гематит, эпидот, рутил, турмалин, ставролит, сульфиды и очень редко — сподумен. С данными гранитами связаны безрудные, существенно микроклиновые жильные и фациальные пегматиты.

Микроклин-альбит-олигоклазовые граниты с мусковитом отличаются большим разнообразием акцессорных минералов. Наряду с повышенным содержанием апатита, граната, монацита в них встречаются: флюорит, ксенотим, колумбит, берилл, топаз, молибденит и другие сульфиды. В пегматитовых обособлениях, особенно наиболее крупных и хорошо дифференцированных, наблюдаются заметные концентрации колумбит-берилловой минерализации.

Экзоконтактный жильный комплекс гранитов этой фазы представлен микроклин-альбитовыми гранит-пегматитами, аплит-пегматитами, микроклин-альбитовыми и альбитовыми пегматитами. Для этих пород характерна тантал-ниобий-бериллиевая минерализация. Между гранитами, гранит-пегматитами и полнодифференцированными редкометальными пегматитами существуют постепенные переходы.

Химизм пегматитоносных гранитов
и закономерности распределения
в них редких элементов

Для сравнения и характеристики химизма гранитоидов и жильных пород различных фаз нами использованы диаграммы (Калита и др. 1971).

$\frac{Na+K}{Ca+Mg+Fe} - SiO_2$ (фиг.4); $Al-Ca+Mg+Fe+Mn+Ti-K-Na$ (фиг.5),

а также характеристики Si/Al , $\frac{Na+K}{Ca+Mg+Fe}$, $\frac{Na+K}{Al}$, $\frac{Na}{Ca}$, $\frac{Na}{K}$ и Al' (табл. 3).

По своему химическому составу гранитоиды I фазы отличаются от нормальных щелочноземельных гранитов (по Дэли) повышенным содержанием Ca, Mg , Fe и несколько пониженным $- SiO_2$, на что указывает положение их фигуративных точек в левой нижней части диаграммы $\frac{Na+K}{Ca+Mg+Fe} - SiO_2$ (см.фиг.4, поле I и Ia). Основные петрохимические характеристики первой субфазы $Si/Al \approx 2-4$ (до 9); $\frac{Na+K}{Ca+Mg+Fe} \approx 0,5-2,5$; $\frac{Na+K}{Al} \approx 0,5-0,8$; $Na/Ca - 1-4,5$; $Na/K - 1-4$ (табл.3).

Лейкократовые разности второй субфазы заметно отличаются от первой повышенными значениями Si/Al (7-8); $\frac{Na+K}{Ca+Mg+Fe}$ (2,5-3,5), что указывает на их относительную обогащенность кремнеземом и щелочами. По $\frac{Na+K}{Al}$ для них нет особых различий. Пегматитовые фации лейкократовых гранитов от последних отличаются несколько пониженными значениями Si/Al (4-4,5) и Na/K (< 1). Для пород I фазы в целом не характерно присутствие избыточного алюминия, а также повышенных содержаний редких элементов (табл.4).

Граниты главной (II) фазы по химическому составу близки к нормальным щелочноземельным гранитам. Они характеризуются постоянством химического состава. Более или менее заметные колебания отмечаются только для SiO_2 . По сравнению с гранитоидами I фазы они заметно обогащены кремнеземом и щелочами, но содержат несколько меньше Ca, Mg и Fe (см.табл.3). В них выше отношения $\frac{Na+K}{Ca+Mg+Fe}$ (3-4); Na/Ca (4-5); Si/Al (4-5), но ниже Na/K (около 1). Характерно присутствие избыточного алюминия (обычно $Al' = 20-30$), что объясняется присутствием значительных количеств слюды. Краевые фации отличаются от крупнокристаллических и порфировидных гранитов более высокими значениями Na/K и $Ca+Mg+Fe$.

Для крупнокристаллических и резкопорфировидных гранитов (см.табл.4) характерны устойчиво повышенные содержания редких элементов - Ta, Nb, Li, Rb, Cs , а также F и B . Главными концентраторами редких элементов и летучих компонентов являются слюды.

Основные петрохимические характеристики верхнепалеозойских пегматитоносных гранитов и их жильного комплекса

Инту- зивные фазы	Суофазы, фации	Si/Al	Na+K Ca+Mg+Fe	Na+K Al	Na/Ca	Na/K	Al ⁺	
I	Гранодиориты	2-3	0,5-2	до 0,5	I-2	I-4	-	
	Биотитовые и биотит-амфи- боловые граниты	3,5-4,2	2-2,5	0,6-0,8	2-4,5	I-3	-	
	Лейкократовые граниты	7-8	2,5-3,5	0,6-0,7	I,5-3	I-4	-	
	Фациальные пегматиты в лейкократовых гранитах	4	4,5	до 0,8	3-3,5	0,6	до 7	
II	Гнейсовидные граниты краевой фации	4-4,5	2-3 (до 4)	0,6-0,8	3-4,5 до 6)	I-2	20	
	Крупнокристаллические лейкократо- вые граниты с биотитом и рез- копорфировидные биотитовые граниты	4-5	3-4	0,7-0,8	4-5	I,2	30	
	Мелкозернистые биотитовые граниты дополнительной суофазы	4,5	3-5	0,7-0,8	3,5-7	< I	20	
	Экзоконтак- товая жиль- ная фация	Мелкозернистые аплитовидные двуосевые лейкократовые граниты со шши- рами пегматитов	4,5	3-5	0,7-0,8	3,5-6	I,3	30
			4-4,5	3-4	0,8	7-9	2-4	35 (до 50)
III	Жильные пегматиты в гранитах II фазы	4,5	7,5	0,7-0,9	9	0,7	30	
	Олигоклаз-микроклиновые граниты	4-5	5	0,8	7-8	< I	I5	
	Шширы и прожилки пегматитов в олигоклаз-микроклиновых грани- тах	4,5-5,5	7	0,8	5-18	0,7	до I0	
	Микроклин-альбит-олигоклазовые граниты	4-5	5	0,8	5-9	I,4	20	
	Шширы и жилы пегматитов в мик- роклин-альбит-олигоклазовых гранитах	3,5-5	7,5	0,6-0,9	8-10 (до 90)	2	30 (до I20)	
	Экзоконтактовые гранит-пегма- титы, полнокристаллические (редкометалльные) пегматиты	4,5	6-10	0,7-0,9	10-40	более 3,5	30 (до I30)	

Средние содержания редких элементов (г) в верхнепалеозойских пегматитоносных гранитах Урала

Породы	Th ₂ O ₅	K ₂ O ₅	Be	Li	Rb	Cs	ZrO ₂	Sn	TiO ₂	B	F
Мелкозернистые биотитовые граниты	0,0007	0,003	не опр.	0,003	0,018	не опр.	не опр.	не опр.	0,65	не опр.	не опр.
Лейкократовые граниты	0,0003	0,002	"	0,0009	0,015	"	"	"	0,28	"	"
Пегматиты	<0,0003	0,002	"	0,0007	0,016	"	"	"	не опр.	"	"
Гнейсовидные биотитовые граниты краевой фации	0-0,002 ^I	0-0,003	0,0004	0,0001-0,005	0,0022-0,08	0-0,009	0,007-0,013	0,007-0,0013	0,01-0,62	0,001-0,003	0,005-0,052
Резкопорфировидные и равно- зернистые крупно- кристаллические граниты	0,001-0,002	0,001-0,0045	0,0001-0,0004	0,003	0,0148	0,0012	0,001	0,001	0,24	0,002	0,026
Мелко-среднезернистые биотитовые граниты	0,0017	0,026	0,0002	0,005	0,020-0,023	0-0,002	0,01	0,001	0-0,68	0,002-0,004	0,04-0,062
Жильные пегматиты	0-0,001	0-0,003	0,0004	0,002-0,008	0,01-0,04	0-0,0007	не опр.	0,0003	0,1	0,002	0,005
Жильные пегматиты	0,0003	0,001	0,004	0,019	0,012-0,04	0-0,0007	0,002-0,013	0,0013	0-0,51	не опр.	0,08
Жильные пегматиты	0,001	0,002	0,0003	0,0023	0,026	0,0002	0,006	0,0013	0,26	"	"
Жильные пегматиты	0-0,001	0,001-0,003	0,0004-0,0006	0,0005-0,02	0,002-0,047	0-0,001	не опр.	0,001	0,024-0,26	"	"
Жильные пегматиты	0,001	0,0027	0,00045	0,0073	0,021	0,0005	"	"	"	"	"
Лейкократовые олигоклаз- микроклиновые граниты	<0,001	0-0,001	<0,0004	0,0023	0,027	0,0007	не опр.	"	0,13	0,003	0,001
Пегматитовые жилы и шши- ры в олигоклаз-микроклиновых гранитах	0-0,001	до 0,001	до 0,0004	0,0006-0,002	0,026-0,042	0-0,001	"	"	0,09	0,0028	0,005
Лейкократовые микроклин- альбит-олигоклазовые (в микроклиновом) граниты	0-0,007	0-0,007	0,0003-0,0018	0,002-0,011	0,02-0,034	0-0,0015	0,004	0,0002	не опр.	0,001-0,003	0,01-0,13
Жилы и обособления пег- матитов в микроклин- альбит-олигоклазовых гранитах	0,0016	0,003	0,001	0,006	0,025	0,0006	"	"	"	0,002	0,03
Жилы и обособления пег- матитов в микроклин- альбит-олигоклазовых гранитах	0-0,01	0-0,016	0-0,1	0,0002-0,1	0,02-0,2	0-0,006	0,0025	0,0013	0,05	0,001-0,002	0,005-0,10
Экзоконтактовые редко- металльные пегматиты	0,001-0,02	0,001-0,022	0,001-0,3	0,001-0,15	0,01-0,2	0-0,06	0,003	0,001	0,05	0,0015	0,04

^I В числителе - пределы содержания, в знаменателе - средние содержания элементов.

Мелкозернистые граниты дополнительной субфазы главной фазы в петрохимическом отношении почти не отличаются от гранитов главной субфазы. В некоторых случаях им свойственны несколько пониженные значения отношения Na/K (до I). Содержания редких элементов в них заметно ниже, чем в крупнокристаллических и порфировидных гранитах.

Экзоконтактные жильные граниты отличаются от гранитов второй субфазы содержанием кварца и щелочей: в них отношение $\text{Si/Al} \approx 4-5$; $\frac{\text{Na+K}}{\text{Al}} \approx 0,7-0,8$; $\frac{\text{Na+K}}{\text{Ca+Mg+Fe}} \approx 3-5$ (см.табл.3). По мере удаления от контакта массива в гранитах увеличиваются числовые характеристики $\frac{\text{Na+K}}{\text{Ca+Mg+Fe}}$, Na/Ca , Na/K и Al' . Содержание редких элементов в жильных экзоконтактных гранитах выше, чем в порфировидных и крупнокристаллических разностях главной фазы (см.табл. 4). Отмечается некоторое увеличение содержаний Ta, Nb, Be и Li в наиболее крупных и хорошо дифференцированных пегматитовых обособлениях из даек гранит-пегматитов и аплит-пегматитов. Практически интересные концентрации редких элементов наблюдаются только в полнодифференцированных пегматитах, образующих в пределах жильных полей лишь единичные, относительно маломощные жилы, в которых редкометальное оруденение не имеет самостоятельного промышленного значения.

Выявляется некоторое сходство химизма широкоразвитых в описываемых гранитах безрудных олигоклаз-микроклиновых жильных пегматитов с гранитами и пегматитами III фазы. Так, на диаграмме $\frac{\text{Na+K}}{\text{Ca+Mg+Fe}} - \text{SiO}_2$ (см.фиг.4) их фигуративные точки образуют единое поле (поле IIIa). В связи с этим не исключается возможность наличия генетической связи вышеуказанных олигоклаз-микроклиновых пегматитов с соответствующей разностью гранитов III фазы.

Граниты III фазы, как следует из диаграммы $\frac{\text{Na+K}}{\text{Ca+Mg+Fe}} - \text{SiO}_2$, по сравнению с более ранними образованиями заметно обогащены щелочами и кремнеземом. В них меньше Ca, Mg, Fe. Лейкократовые граниты разделяются на две группы (см.фиг.5). К первой относятся микроклин-альбит-олигоклазовые (с мусковитом) граниты с $\text{Na/K} > 1$ (поле III), ко второй (поле IV) - олигоклаз-микроклиновые граниты с $\text{Na/K} < 1$.

Олигоклаз-микроклиновые граниты от пород главной фазы отличаются более высоким отношением $\frac{\text{Na+K}}{\text{Ca+Mg+Fe}}$ и пониженным Na/K , Al'

(см.табл.3). Для этих гранитов не характерны повышенные содержания редких элементов.

Микроклин-альбит-олигоклазовые граниты с мусковитом, кроме отношения Na/K , имеют более высокие значения Al' (≈ 20) и в них выше концентрации редких элементов (Ta, Nb, Be, Li).

Петрохимические и минералого-геохимические особенности гранитов III фазы получают свое отражение в химизме и рудоносности генетически связанных с ними пегматитов. Так, в целом, пегматиты III фазы отличаются более высокими значениями $\frac{Na+K}{Ca+Mg+Fe}$ (7-7,5). По сравнению с внутригранитными шлировыми и экзоконтактовыми жильными пегматитами I и II фаз они заметно обогащены кремнеземом и щелочами (см.фиг.4). С олигоклаз-микроклиновыми гранитами связаны безрудные существенно микроклиновые керамические пегматиты, а с микроклин-альбит-олигоклазовым - редкометалльные пегматиты с отношением $Na/K > 3,5$. При этом намечается возрастание отношения Na/K и содержаний редких элементов (Ta, Nb, Li, Cs и Be) - от микроклин-альбит-олигоклазовых гранитов, через их внутригранитные шлировые пегматиты, к экзоконтактовым полнодифференцированным микроклин-альбитовым и альбитовым пегматитам (см.табл.3,4).

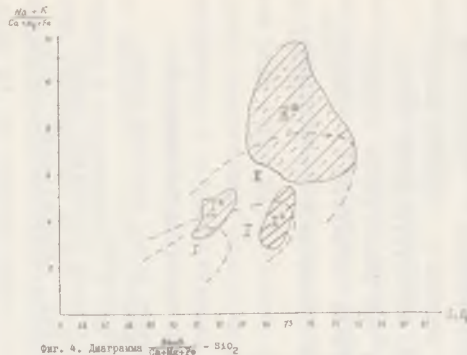
В заключение следует отметить, что относительно низкие содержания редких щелочей (Li и Cs) в редкометалльных пегматитах Урала, по-видимому, в значительной мере связаны с геохимической специализацией материнской интрузии. Так, пегматитоносные граниты Урала заметно беднее литием и цезием, чем аналогичные образования Казахстана (фиг.6), с которыми связаны пегматиты с более богатой, чем в пегматитах Урала, цезий-тантал-литиевой минерализацией.

В ы в о д ы

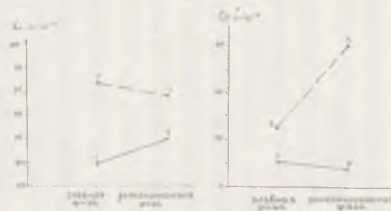
1. В формировании верхнепалеозойских массивов пегматитоносных гранитов Урала выделяются три возрастных фазы, которым соответствуют три основных этапа пегматитообразования.

2. Граниты каждой фазы и связанные с ними пегматиты заметно отличаются по своему внутреннему строению, минеральному составу и рудной специализации.

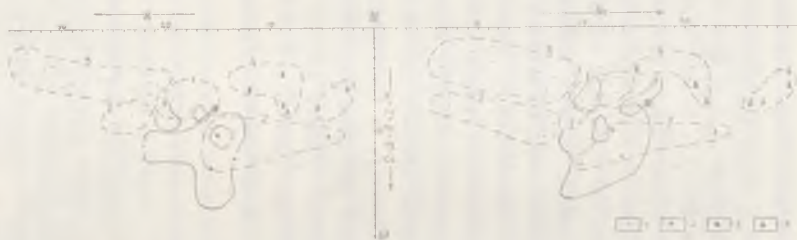
3. В целом, от ранних к более поздним фазам намечается возрастание роли лейкократовых разностей, фациальных и жильных пегматитов, увеличение содержаний кремнезема, щелочей, редких элементов и фтора, уменьшение содержаний Ti, Ca, Mg, Fe и основнос-



Фиг. 4. Диаграмма $\frac{Na+K}{Ca+Mg+Fe}$ - SiO_2 .
Поля фигуративных точек и количество анализов
I - граниты и гравидиоситы I фазы (16); Ia - пегматиты и лейкокротовые граниты I фазы (6); II - граниты II (главной) фазы (32); IIa - граниты и гранит-пегматиты эвдоксидитовой хвильной фазы и альфовых пегматитов II фазы (10); IIb - лейкокротовые граниты II фазы (27); IIa - эвдоксидитовые и внутригранитные пегматиты II фазы и хвильные пегматиты в гранитах II фазы (25)



Фиг. 6. Распределение Li и Cs в пегматитовых гранитах Урала и Кавказа.
I-2 - средние содержания Li и Cs в веридио-пегматитовых гранитах Урала; 3-4 - средние содержания Li и Cs в пегматитовых гранитах редкометалловых формаций Кавказа (по А.Н.Леонтьеву, 1969)



Фиг. 5. Диаграмма $Al-Ca-Mg-Mn-Fe-Ti-Na-K$.
Фигуративные точки пегматитов: 1 - безрудных; 2 - хрусталевоосых; 3 - пегматитов с драгоценными камнями; 4 - тантал-берилловых. Цифры на фигуре: Максимум фигуративных точек: I - безрудных гранитов II фазы; II - двухфазных гранитов эвдоксидитовой хвильной фазы II фазы; III - лейкокротовых олигоклаз-микроклиновых гранитов II фазы; IV - лейкокротовых микроклин-альбит-олигоклазовых гранитов II фазы. Поля фигуративных точек пегматитов: I - хвильных пегматитов, выстилающих в гранитах II фазы; 2 - эвдоксидитовых пегматитов II фазы; 3 - пегматитов, олигоклаз-микроклиновых гранитов II фазы; 4 - пегматитов микроклин-альбитовых-олигоклазовых гранитов II фазы

ти плагиоклаза.

4. Процессы регионального и контактового метаморфизма, гибризм и мигматизация, широко проявленные на ранних этапах становления интрузии (I фаза), приводят в основном к рассеянию редких элементов. С данным этапом связано формирование почти исключительно безрудных, недифференцированных шлировых и жильных микроклин-плагиоклазовых и плагиоклаз-микроклиновых пегматитов, характеризующихся низкими содержаниями слюд. Из акцессорных минералов в заметных количествах присутствует только магнетит.

5. Пегматиты главной (II) фазы отличаются более сложным, участково-зональным или зональным строением, широким развитием зон графического пегматита с саблевидным биотитом, проявлением кварц-мусковитового, реже мусковит-альбитового и лепидоклит-альбитового комплексов с редкометальной минерализацией. Однако повышенные содержания редких элементов (Ta, Nb, Li и Be) отмечаются только в отдельных, максимально удаленных от материнской интрузии, относительно маломощных жилах полнодифференцированных пегматитов. С гранитами главной фазы связаны хрусталеносные пегматиты и пегматиты с драгоценными камнями.

6. Граниты и пегматиты III фазы по своему химизму и минеральному составу разделяются на две группы: 1) олигоклаз-микроклиновые граниты и связанные с ними безрудные существенно микроклиновые и олигоклаз-микроклиновые пегматиты ($Na/K < 1$); 2) микроклин-альбит-олигоклазовые (с мусковитом) граниты и их производные — микроклин-альбитовые и альбитовые пегматиты ($Na/K > 1,5$). От гранитов и пегматитов более ранних фаз они отличаются более лейкократовым составом, резким преобладанием мусковита над биотитом, широким развитием замещающих альбитовых и кварц-мусковит-альбитовых комплексов, наличием акцессорной редкометальной минерализации, более высокими содержаниями кремнезема, щелочей, редких элементов (Ta, Nb, Be) и фтора.

7. Анализ петрохимических диаграмм (см. фиг. 4,5) гранитов и пегматитов Урала показал, что граниты и пегматиты различных фаз, имеющие различную рудную специализацию, заметно отличаются по своему химизму.

8. Минеральный состав и химизм гранитов и особенно внутригранитных шлировых пегматитов могут быть использованы в качестве поисково-оценочных критериев при поисках экзоконтактовых редкометальных пегматитов. Такими критериями являются:

а) широкое развитие внутригранитных шлировых и жильных пегматитов;

б) повышенные содержания альбита, альбит-олигоклаза, мусковита, присутствие флюорита и акцессорной редкометальной минерализации (тантало-ниобатов, берилла, касситерита, молибденита, ксенотима и монацита) в гранитах и внутригранитных пегматитах;

в) петрохимические характеристики Si/Al (3,5-5);

$\frac{Na+K}{Ca+Mg+Fe}$ (5-10); $\frac{Na+K}{Al}$ (0,7-0,9); Na/Ca (8-10 и более); Na/K

($>1,5$); Al' (≥ 30), а также повышенные содержания редких элементов (Ta, Nb, Be, Li) и фтора в гранитах и особенно внутригранитных пегматитах.

Л и т е р а т у р а

Калита А.П., Айдзердзис Д.Я., Мелентьев Г.Б., Большакова Т.Н., Филипова Ю.И. Сравнительный петрохимический анализ редкометальных гранитных пегматитов. Научные собрания, материалы. Вып. 5. Изд. ИМГРЭ, 1971.

Кузнецов Е.А. К петрохимии магматических комплексов Урала. В сб. "Материалы по геологии и полезным ископаемым Урала", вып. 8, 1961.

Куклин Н.В., Сазонов В.Н. Закономерности размещения гранитных пегматитов на Урале. В сб. "Материалы по геологии и полезным ископаемым Урала", вып. 10, 1962.

Ленных И.В. Кислые и средние интрузивные комплексы южного Урала и их металлогения. В сб. "Материалы по геологии и полезным ископаемым Урала", вып. 8, 1961.

Леонтьев А.Н. Формация позднепалеозойских редкометаллоносных гранитов и редкометальные пояса Прииртышья. Изд-во "Недра", 1969.

Львов Б.К. Петрология, минералогия и геохимия гранитоидов Кочкарского р-на (Южный Урал). В кн. "Вопросы магматизма и метаморфизма", т. П. Изд. ЛГУ, 1964.

Львов Б.К. Расчленение позднепалеозойских гранитоидов Урала и некоторые закономерности распределения связанного с ним оруденения. В сб. "Тезисы докладов второго Уральского петрографического совещания", т. IV. Свердловск, 1966.

Ляхович В.В. Акцессорные минералы и рациональная номенклатура гранитов. - Сов. геология, 1963, № 9.

Овчинников Л.Н., Троянова М.В. Закономерности распределения рудидия в изверженных и метаморфических горных породах Урала и их геологическое значение. В сб. "Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала". - Труды Первого уральского петрографического совещания, т. I. Свердловск, 1963.

Покровский Л.В., Логинов В.Н. О возрастных взаимоотношениях гранитоидов Шилово-Коневской группы массивов. В сб. "Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала". - Труды Первого уральского петрографического совещания. Свердловск, 1963.

Романов Б.М. Гранитная формация Урала и ее редкометальная металлогения. В сб. "Геология и пол. ископ. Урала", в. I. Госгеол-издат, 1947.

Сиротин К.М., Задумина М.И. Гранитоиды восточного склона Южного Урала. В сб. "Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала". - Труды Первого уральского петрографического совещания. Свердловск, 1963.

Соболев И.Д. Общий обзор интрузивного гранитного магматизма Урала. В сб. "Тезисы докладов Второго уральского петрографического совещания", т. IV. Свердловск, 1966.

Таланцев А.С. К вопросу о классификации гранитных пегматитов Урала. В кн. "Геология и пол. ископ. Урала". Материалы конференции молодых геологов и геофизиков. Свердловск, 1969.

Ферштатер Г.Б., Бородина Н.С., Прамнова М.В. Литий, рудидий и свинец в гранитоидах Урала. - Геохимия, 1963, № I.

Ферсман А.Е. Пегматиты, их научное и практическое значение, т. I. Л., 1932.

Шерстюк А.И. О формировании верхнепалеозойских гранитных массивов Урала. Труды Свердловского горного ин-та, 1963, вып. 42.

Штейнберг Д.С. Основные проблемы магматизма и метаморфизма Урала. В сб. "Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала", т. I. - Труды Первого уральского петрографич. совещания. Изд. УФАН СССР.

Т.Н.Большакова,
Д.Я.Айздердзис

НОВЫЕ ДАННЫЕ
ПО МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
РУБЕЛЛИТОНОСНЫХ ПЕГМАТИТОВ УРАЛА

Рубеллитоносные пегматиты Урала известны как объект старательской добычи — драгоценных камней — еще с конца прошлого века, но до сих пор слабо изучены. Литературные сведения о строении и вещественном составе этих пегматитов весьма отрывочны и немногочисленны (Ферман, 1925).

В настоящей статье приводятся результаты исследований по изучению внутреннего строения, минерального состава, особенностей химизма и редкометальной специфики пегматитов данного типа с целью оценки перспектив их рудоносности на редкие элементы и драгоценные камни.

Для характеристики химизма изучавшихся жильных пород и выявления закономерностей распределения в них редких элементов в работе использовано свыше 20 полных химических анализов пород и частных определений Ta, Nb, Li, Rb, Cs, Be, F, B и других элементов, выполненных в лабораториях ИМГРЭ. Определения Ta, Nb, Th выполнены химическим методом, Li, Rb, Cs — методом фотометрии пламени, Ba, Be и B — методом спектрального анализа.

Поле развития пегматитов, пространственно и генетически связанных с жильными гранитами, приурочено к западному экзоконтакту одного из массивов крупной гранитной интрузии верхнепалеозойского магматического комплекса Урала и локализовано в участке погружения кровли этого массива. Жильное поле контролируется антиклинальной складкой, поперечной к общему направлению структур региона.

Упомянутый массив сложен средне-крупнозернистыми биотитовыми (до лейкократовых) гранитами главной фазы ($\gamma_2\text{Р}_3$), с преобладанием в его центральной части массивных крупнозернистых, а в эндоконтактах — гнейсовидных среднезернистых разновидностей. С последними связаны многочисленные дайки мелко- и среднезернистых биотитовых (до двуслюдяных) гранитов, аплитов и безрудных пегматитов (см. статью Д.Я.Айздердзиса и др. в этом сборнике). Вмещающие породы представлены метаморфической толщей (предположительно верхнего протерозоя), сложенной амфибол- и биотит-роговообманковыми гнейсами, амфиболитами и мраморами, последовательно инъециро-

ванными малыми интрузиями гипербазитов и секущими их жильными породами верхнепалеозойских гранитов.

Описываемый дайково-жильный комплекс по составу и времени образования можно разделить на три генетические группы жил: 1) лейкократовые жильные граниты с турмалином, 2) пегматиты и 3) гидротермальные жилы и прожилки. Наибольшим распространением пользуются пегматиты и лейкократовые граниты с турмалином. Гидротермальные жилы в рудном поле развиты менее широко. Часто наблюдаются случаи пересечения и наложения их на пегматиты и жильные граниты.

Лейкократовые двуслюдяные (до мусковитовых) граниты с турмалином относятся к экзоконтактовой жильной фации главной фазы гранитов. В пределах пегматитового поля они пользуются широким распространением в форме даек и штоков, мощностью и протяженностью до сотен метров. Для этих пород характерна насыщенность их в различной степени шпировидными и жилловидными обособлениями гранит-пегматитов и пегматитов, связанных с гранитами постепенными переходами. Структура породы мелко- и среднезернистая; текстура магматическая; состав микроклин-олигоклазовый (табл. I).

Содержание турмалина (шерла) в породе достигает 1% и более. Он образует скопления мелких кристаллов, гнезда и прожилки, обычно в ассоциации с кварцем. Для лейкократовых гранитов характерны высокие содержания магнетита и апатита, а также наличие в заметных количествах таких минералов, как сподумен, минералы группы пирохлора, колумбит-танталит, драцит и др. (табл. 2).

Пегматиты по составу и геологическим условиям локализации могут быть подразделены на внутригранитные (фациальные) микроклин-олигоклазовые и экзоконтактовые жильные рубеллитовые микроклин-альбитовые с мусковитом, лепидолитом и сподуменом.

Внутригранитные пегматиты представлены маломощными слабо дифференцированными участковозональными жиллообразными и шпировидными обособлениями в жильных лейкократовых гранитах, где составляют 5-10% объема жильной массы. В апикальных частях некоторых жил насыщенность пегматитовым материалом увеличивается до 20-25%. Наиболее характерны для этих пегматитов гранитная и мелкопегматитовидная структуры (участками мелкая графика); состав - микроклин-олигоклазовый с турмалином (см. табл. I). Содержание шерла в них по сравнению с лейкократовыми гранитами увеличивается в 1,5 - 2 раза (см. табл. 2). Встречаются участки, обогащенные гранатом и мусковитом.

Т а б л и ц а I

Общий минеральный состав жильных образований (%)

Минералы	Лейко- крато- вые граниты	Внутри- гранит- ные пегма- титы	Жильные рубеллитоносные пегматиты		
			кварц-пла- гиоклазо- вая зона с прожилками альбита	кварц-аль- бит-микро- клиновья зона	средний состав
Кварц	25-30	25-30	30-35	10-15	15-20
Микроклин	25-30	25-30	-	30-35	20
Плагиоклаз	35-40	30	45-55	25-30	30-40
Мусковит	2	4	I	10	5-8
Лепидолит	-	-	до I	1,5-3	2
Биотит и флогопит	2	2	5	8	≈ 5-8
Турмалин	до I	I-3	2-3	2-5	≈ 3
Сподумен	-	-	I-3	0,5	≈ I
№ плагиоклаза (нормативный)	I3-I5	I8-2I	6-8	5-7	-

П р и м е ч а н и е : Средний состав пегматитов выведен с учетом распространенности минеральных комплексов.

Пегматитовые тела мощностью I-2 м и более имеют зональное строение. Довольно четко выделяются две зоны: I) внешняя - пегматитовидного гранита и 2) мелкоблочная - кварц-плагиоклазовая, с блоками темно-дымчатого кварца, скоплениями и гнездами шерла. Кварцевые обособления обычно имеют форму вытянутых крутонаклонных линз, часто секущих внешние зоны пегматитовых тел с выходом во вмещающие породы (фиг. I-I). Со стороны нижнего выклинивания таких линз, наблюдаются маломощные (10-30 см) зоны мелкошешуйчатого мусковита с гнездами горного хрусталя, раух-топаза и пирита.

По наличию редкометалльных и аксессуарных минералов пегматиты обнаруживают значительное сходство с лейкократовыми гранитами. В отличие от последних, в них вместо магнетита и апатита широко развит гранат, возрастает содержание ксенотима, рутила, рубеллита и других минералов, появляется берилл (см. табл. 2).

По минеральному составу и петрохимическим характеристикам эти пегматиты от вмещающих гранитов отличаются более основным плагиоклазом (I8-2I), пониженными значениями Si/Al , Na/Ca и Na/K , но резко повышенным - Al' (см. табл. I и 3). Как в гранитах, так

Содержание аксессуарных минералов (г/т) в жильных гранатах и пегматитах

Минералы	Лейкокра- товые гранаты	Внутри- гранитные пегматиты	Жильные рубеллитовосице пегматиты			
			Кварц-плагио- класовая зона с прожилками альбита	кварц-аль- бит-микро- класовая зона	кварц-аль- бит-лепид- оловый комплекс	Линзы и гнезда кварц-кальцит- мостморалитово- го состава с редуктами альбита
Литиофиллит	-	-	-	-	43,85	0,40
Споудумен	1,39	0,46	9150,25	781,62	62,75	43,30
Поллуцит	-	-	-	Ед.зн.	0,80	0,004
Т у р м а л и н ы						
Шерх	8815,60	13610,84	12025,38	4325,52	54,96	11,92
драваит	0,27	0,32	6547,42	12725,28	5372,48	19944,76
индиголит	-	-	99,12	5215,84	2516,84	860,40
рубеллит	0,04	9,2	232,16	4934,48	15083,44	21756,60
акроит	-	-	71,24	271,08	931,28	1364,72
полихроматический турмалин	-	-	Ед.зн.	73,20	10,46	50,04
Пироксид-микролит	0,63	0,24	95,36	16,84	315,56	324,78
Колумбит-танталит	0,81	зн.	зн.	4,70	1,94	49,38
Циркон	0,29	5,04	0,84	1,70	0,001	60,35
Цирконит	0,94	0,001	9,64	0,34	0,05	749,01
Ксенотим	0,43	10,27	12,99	35,00	0,001	14,69
Малакон	-	-	-	21,14	-	-
Монацит	83,06	81,63	41,70	62,67	1,90	0,001
Рабдофанит	-	11,93	15,42	23,27	2,63	1,25
Шпинелит	-	-	1,68	0,36	1,79	33,57
Ортит	-	зн.	0,18	16,30	4,36	0,05
Бастнезит	-	-	0,001	0,01	0,001	0,95
Эпидот	6,45	1,87	34,62	0,24	0,11	4,35
Гранат	10,19	1385,24	42,87	23,08	0,001	2,75
Апатит	1040,32	46,35	15,29	4,78	1,37	65,34
Топаз	-	-	13,74	3н.	3н.	-
Берилл	-	3н.	3н.	0,89	"	-
Гердерит	-	-	"	3н.	-	0,14
Магнетит	1031,54	294,00	3,25	86,94	0,15	1,12
Флюорит	-	-	-	0,74	0,001	2,75
Ильменит	56,65	28,79	9,76	81,72	1,26	43,84
Сфен	-	3н.	3н.	0,02	0,23	0,70
Рутыл	0,04	52,58	34,42	7,74	7,92	0,13
Касситерит	-	-	12,87	5,40	3н.	59,71
Сфалерит	-	-	-	3н.	0,001	0,1
Молибденит	0,07	0,10	-	-	0,001	0,5
Пирит	2,04	0,38	0,76	1,26	0,003	199,47
Халькопирит	-	-	-	-	0,05	30,48
Корунд	-	-	0,60	0,14	-	-
Опал	-	-	-	3н.	0,01	95,84
Хальцедон	-	-	-	"	3н.	10,03
Кальцит	-	-	-	"	32,78	815,81
Вернадит	-	-	-	"	3н.	17,98

и во внутригранитных пегматитах отмечаются повышенные, по отношению к кларковым, содержания тантала, цезия и бора (табл.4).

Т а б л и ц а 3

Химический состав (%) и петрохимические характеристики
жильных гранитов и пегматитов ^I

Компоненты и петрохи- мические характери- стики	Лейкократовые граниты	Внутри- гранитные пегматиты	Жильные рубидионосные пегматиты	
			кварц-плагио- класовая зона	кварц-альбит- микроклиновая зона
SiO ₂	72,40	71,37	71,0	39,9
TiO ₂	0,06	0,13	0,04	0,04
Al ₂ O ₃	15,20	16,39	13,60	16,84
Fe ₂ O ₃	0,20	0,62	1,24	0,78
FeO	1,15	0,68	0,66	0,42
MnO	0,03	0,02	0,06	0,08
MgO	0,67	0,70	3,38	5,85
CaO	1,02	1,52	0,58	0,37
Na ₂ O	3,90	3,00	5,30	2,90
K ₂ O	5,10	5,02	0,55	8,19
H ₂ O ⁻	0,26	—	1,30	1,60
H ₂ O ⁺	0,36	0,49	0,76	2,28
P ₂ O ₅	0,10	0,16	0,06	0,07
F	0,03	0,20	0,15	0,17
п.п.п.	Не обн.	—	0,91	0,77
-O=F ₂	0,03	—	0,06	0,08
Сумма	100,50	100,43	99,49	100,19
Si/Al	4,04	3,69	4,44	3,02
Na+K	4,42	3,2	1,51	1,58
Ca+Mg+Fe				
Na/Ca	7,0	3,56	15,45	15,61
Na/K	1,17	0,91	15,4	0,54
Al'	+18	+66	+63	+53

^I Аналитик Н.И.Ферштатер, лаборатория ЦГЭ ИМГРЭ.

Т а б л и ц а 4

Содержание редких элементов (%) в жильных гранитах и пегматитах

Компо- ненты	Граниты		Внутри- гранит- ные пе- гматиты	Жильные рубеллитовые пегматиты				
	бедные кальци- ем по Турекъ- яну Ве- деполю, 1961	лейко- крато- вые		кварц- плагио- клазо- вая зона	кварц- альбит- микро- клино- вая зона	кварц- альбит- лепидо- литовый комплекс	мусковит- кварц- альбито- вый комплекс	прожилки, гнезда, линзы кварца, кальцита, монтморил- лонита
Nb ₂ O ₅	0,0021	0,0023	0,0033	0,0058	0,0069	0,0058	0,0344	0,016
Ta ₂ O ₅	0,0004	0,0008	0,0006	0,0198	0,0029	0,0225	0,0148	0,0159
B	0,001	0,008	0,013	0,11	0,38	0,24	0,056	0,85
Li	0,004	0,020	0,015	0,072	0,080	1,45	0,043	0,038
Rb	0,011	0,021	0,036	0,032	0,078	0,321	0,010	0,005
Cs	0,0004	0,001	0,002	0,004	0,007	0,075	0,001	0,001
Be	0,0003	0,0003	0,0005	Не обн.	0,0003	0,003	0,0006	0,005
U	-	0,002	Не обн.	0,0002	Не обн.	0,00005	Не обн.	0,00005
Th	-	Не обн.	"	0,0007	"	0,0003	"	0,00001

Жильные рубеллитоносные микроклин-альбитовые пегматиты с мусковитом, лепидолитом и сподуменом образуют серию маломощных субпараллельных жил, приуроченных к субмеридиональной зоне повышенной трещиноватости, секущей вмещающие породы почти под прямым углом. Наиболее крупные жилы с повышенными содержаниями редкометаллических минералов и драгоценных камней залегают в основных и ультраосновных породах, представленных амфиболитами, перидотитами и серпентинитами. Простирание жил колеблется от северо-западного ($300-310^{\circ}$) до субмеридионального; падение на юго-запад — под углами $30-70^{\circ}$.

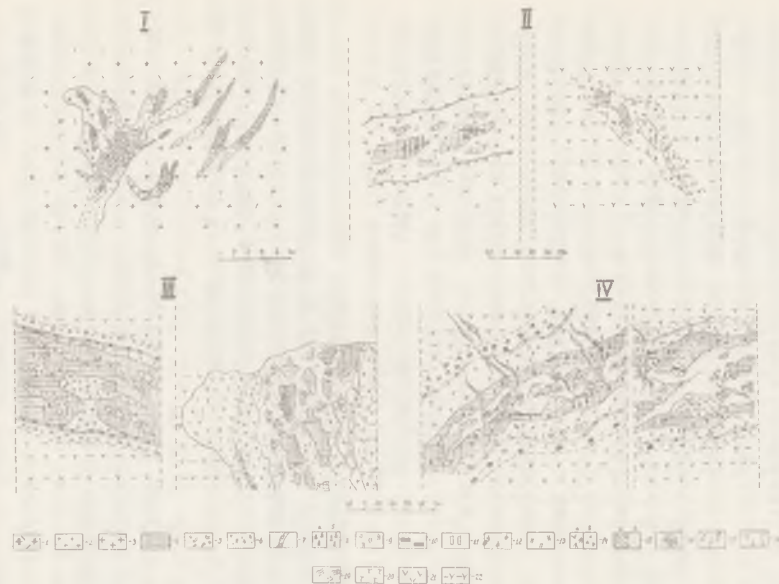
Жилы имеют зональное строение (фиг. I—III и IV). От залобандов к осевым частям жил различаются следующие зоны: 1) неравнозернистая кварц-плагиоклазовая с альбитовыми прожилками; 2) мелкоблочная кварц-альбит-микроклиновая с мусковитом и лепидолитом, 3) кварц-альбит-лепидолитовый комплекс, 4) мусковит-кварц-альбитовый комплекс, 5) гнезда и линзы кварц-кальцит-монтмориллонитового состава, образовавшиеся, по-видимому, вследствие пересечения и наложения поздних гидротермальных прожилков кварцевого и кварц-кальцитового состава с сульфидами (фиг. I—IV).

Экзоконтактные изменения характеризуемых пегматитов представлены маломощными (5–20 см) оторочками зонального строения. От залобандов жил в сторону вмещающих пород биотит-флогопитовая зона сменяется хлорит-талковой. Последняя выражена слабо.

Все перечисленные зоны наблюдаются только в наиболее мощных участках жил. На участках выклинивания развита преимущественно одна внешняя мелкозернистая или пегматоидная зона с редкими гнездами и прожилками альбита (см. фиг. I—II).

Основной объем жил сложен пегматоидной кварц-альбит-микроклиновой зоной (до 55–60%) и неравнозернистой зоной с альбитовыми прожилками (20–30%). Кварц-альбит-лепидолитовый комплекс составляет 5–10%, а кварц-альбит-мусковитовый — не более 2–3%. Содержание в данных пегматитах гнезд и линз кварц-кальцит-монтмориллонитового состава варьирует в широких пределах — от I до 10% от общего объема жил.

Все зоны пегматитовых жил характеризуются разнообразием редкометаллических и аксессуарных минералов. В них по протоочечным пробам установлено более 40 различных минеральных видов (см. табл. I и 2), в том числе впервые обнаружен поллуцит. В целом, рубеллитоносные пегматиты характеризуются унаследованной от лейкократо-



Фиг. 1. Морфология и внутреннее строение пегматитов
I - внутригранитных; II-IV - хильных

I - лейкократовые граниты с турмалином; 2 - мелкозернистая зона гранитной структуры; 3 - неравномерноринчатая кварц-плагиоклазовая зона; 4 - крупнокристаллическая и мелкоблочковая кварц-микроклиновая зона; 5 - кварц-альбит-лепидолитовый комплекс; 6 - кварц-альбит-мусковитовый комплекс; 7 - прожилки, лещины и гнезда кварц-кальцит-монтмориллонитового состава; 8 - турмалин а) шеро, драгит, индиголит; б) рубеллит, ахроит, полихромный турмалин; 9 - лепидолит; 10 - тантал-ниобаты; II - берилл; I2 - топаз; I3 - альбит; I4 - мусковит: а) - крупночешуйчатый, б) мелкочешуйчатый; I5 - кварц: а) тонкодымчатый, б) молочнобелый и опаловидный; I6 - друзы горного хрусталя; I7 - кальцит; I8 - флюгит; I9 - хлорит; 20 - тальк; 2I - амфиболиты; 22 - метаморфизованные ультрабазиты.

ных гранитов и внутригранитных пегматитов, но более разнообразной редкометальной и аксессуарной минерализацией. Содержание в них оподумена, лепидолита, цветных турмалинов значительно возрастает по сравнению с другими пегматитами (см. табл. I), причем указанными минералами значительно обогащены все зоны рубеллитоносных пегматитов. Кроме того, в повышенных количествах устанавливаются тантало-ниобаты, среди которых преобладают минералы группы пироклора-микролита. Наиболее высокие содержания оподумена (9150,25 г/т) отмечаются в кварц-плаггиоклазовой зоне, лепидолита и тантало-ниобатов (315,56 г/т) - в кварц-микроклин-альбитовой зоне с замещающим кварц-альбит-лепидолитовым комплексом. Турмалин (шерл, дравит, индиголит, рубеллит и ахроит) распространен во всех зонах и замещающих комплексах в количествах, достигающих десятков килограммов на тонну. Среди цветных турмалинов наибольший практический интерес представляет рубеллит, являющийся высококачественным пьезооптическим и драгоценным сырьем. Наиболее высокие его содержания (до 21756,6 г/т), а также ахрита (до 1364,72 г/т) устанавливаются в существенно альбитовых зонах, тогда как шерл (до 2035,38 г/т), дравит (до 6547,42 г/т) и индиголит (5215,84 г/т) более характерны для существенно микроклиновых зон.

Повышенные содержания (по сравнению с другими зонами) в гнездах и линзах кварц-кальцит-монтмориллонитового состава сульфидов касситерита, хальцедона, опала и кальцита (фиг. I-IV), подтверждают предположение о наложении на пегматиты гидротермальной фазы.

По минеральному составу и петрохимическим особенностям жильные рубеллитоносные пегматиты отличаются от внутригранитных более высокими содержаниями альбита и слюды. Отношение Na/K в среднем составляет около 8, т.е. заметно выше, чем во внутригранитных пегматитах; по сравнению с последними заметно ниже содержание кремнезема и кварца, а также отношение $\frac{\text{Na+K}}{\text{Ca+Mg+Fe}}$ (см. табл. 3). В этом, по-видимому, сказывается влияние состава вмещающих (ультраосновных) пород.

Содержания редких элементов в породообразующих минералах из пегматитов (табл. 5) низкие; только цветные турмалины, мусковит и лепидолит характеризуются повышенными содержаниями редких щелочных металлов.

Как следует из табл. 4, рубеллитоносные пегматиты характеризуются более высокими содержаниями редких элементов и бора, чем

Т а б л и ц а 5

Содержание редких элементов (%) в породообразующих
и некоторых редкометалльных минералах

Минералы	Li	Rb	Cs	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅
Кварц	0,0006	0,005	0,001	Не обн.	Не обн.
Микроклин	0,0008	0,069	0,005	—	—
Плагноклаз	0,004	0,003	0,001	—	—
Флогопит	0,025	0,002	0,001	0,001	0,001
Биотит	0,020	0,012	0,002	0,003	0,001
Хлорит	0,003	0,011	0,001	0,002	0,001
Шерл	0,109	Не обн.	Не обн.	0,001	0,001
Индиголит	0,030	0,002	"	—	—
Дравит	0,601	Не обн.	Не обн.	—	—
Рубеллит	0,670	0,042	0,006	—	—
Мусковит	0,303	0,307	0,019	0,045	0,0081
Лепидолит	1,73	0,575	0,119	—	—
Сподумен	3,22	0,011	0,003	—	—

жильные лейкократовые граниты и внутригранитные пегматиты, но в целом уровень концентрации в них редких элементов довольно низкий. Только в кварц-альбит-лепидолитовом и кальцит-монтморилло-нитовом комплексах, составляющих не более 7-10% от общего объема мп., содержание редких элементов возрастает (в %): Ta₂O₅-до 0,01-0,02; Nb₂O₅-до 0,02-0,03; Li-до 1,5; Rb-до 0,2-0,7; Cs-до 0,05-0,09. По сравнению с другими редкометалльными пегматитами восточного контакта пегматитоносной интрузии Урала эти пегматиты бедны бериллием, содержание которого здесь ниже 0,01%.

ВЫВОДЫ

1. Рубеллитоносные пегматиты пространственно и генетически связаны с жильными лейкократовыми гранитами второй фазы. Об этом свидетельствуют такие черты жильных гранитов, как насыщенность пегматитовым материалом, повышенные содержания турмалина и акцессорной редкометалльной минерализации, характерной и для рубеллитоносных пегматитов, сходство определенных петрохимических характеристик для жильных гранитов, внутригранитных и экзоконтактовых рубеллитоносных пегматитов, а также повышенные содержания

в жильных гранитах тантала и цезия (по сравнению с кларковыми для гранитов, бедных кальцием).

2. Минеральный состав и петрохимические особенности рубеллитовых пегматитов позволяют отнести их к микроклин-альбитовому (с мусковитом, лепидолитом и сподуменом), парагенетическому типу.

3. Помимо основной минерализации пьезооптического и ограночного турмалина, описываемые пегматиты характеризуются наличием повышенных концентраций лития и в меньшей степени — цезия, тантала и ниобия, как образующих собственные минералы — сподумен, полуксит, тантало-ниобаты, так и встречающихся в рассеянном состоянии в других минералах. Основными минералами-концентраторами рассеянного лития и цезия являются лепидолит, мусковит и некоторые цветные турмалины, а тантала и ниобия — мусковит.

4. Наиболее высокие содержания цветных турмалинов и редкометальной минерализации (за исключением сподумена) устанавливаются в лепидолит-альбитовом и кварц-мусковит-альбитовом комплексах рассматриваемых пегматитов.

5. Несмотря на довольно высокие содержания редких элементов в отдельных зонах и комплексах, составляющих не более 5–7% от общего объема жил, в целом, рубеллитовые пегматиты являются мало перспективными на редкие элементы и их можно рассматривать только как объект попутной добычи лепидолита при отработке основного компонента — пьезооптического и ограночного турмалина.

6. Относительно высокие концентрации лития, цезия и тантала в рубеллитовых пегматитах обликают их с пегматитами комплексного редкометального ряда (Кузьменко, Еськова, 1968). Однако наличие полостей с цветными турмалинами и горным хрусталем свидетельствует о принадлежности рубеллитовых пегматитов к промежуточному генетическому типу между комплексными редкометальными пегматитами и камерными.

ЛИТЕРАТУРА

Кузьменко М.В., Еськова Е.М. Тантал и ниобий. Изд-во "Наука", 1968.

Ферман А.Е. Драгоценные и цветные камни России, т. II, 1925.

А.П.Калита, Д.Я.Айздердзис,
Т.Н.Большакова

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ НА РЕДКИЕ ЩЕЛОЧИ ПНЕВМАТОЛИТОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЛИНИИ СКРЕЩЕНИЯ И ПЕГМАТИТОВ

На современном этапе большое внимание уделяется совершенствованию методов изучения и оценки редкометалльных месторождений. Нет сомнения в том, что достоверность оценки месторождений повысится, если она будет базироваться на закономерностях распределения слагающих месторождения элементов, для выявления которых необходимо изучение химического состава месторождений. Поэтому при геологоразведочных работах нередко выполняется значительный объем силикатных анализов пород и руд. К сожалению, этим материалом трудно пользоваться без специальной петрохимической обработки. Многолетние геохимические исследования убедительно показали, что закономерности распределения элементов в конечном счете определяются строением их внешних электронных оболочек (Виноградов, 1956). Это геохимическое правило положено в основу петрохимических методов обработки силикатных анализов, предложенных авторами в содружестве с Г.Б.Мелентьевым и Ю.И.Филипповой (Калита и др., 1970). С помощью предложенных петрохимических пересчетов довольно многочисленные химические компоненты обычного анализа можно сократить до 3-5 характеристик, получая тем самым более четкую информацию о составе изучаемых образований. Выявление петрохимических характеристик уже на стадии поисков и предварительной оценки позволяет отнести к различным петрохимическим группам изучаемые месторождения и тем самым дать им правильную оценку в отношении вероятных концентраций редких щелочей. При этом ведущим оценочным критерием следует считать отношение $Si:Al$, позволяющее расчленить месторождения на петрохимические группы. Вспомогательную роль при оценке месторождений могут играть другие петрохимические характеристики ($Na_{экв}/Ca_{экв}$; $Na/Ca; Na/K$ и др.)¹.

Проведенные исследования петрохимических особенностей редкометалльных пегматитов с применением новых методов петрохимических пересчетов позволили выявить наличие четкой связи между составом петрогенных и редких элементов. Однако этих данных недос-

¹ $Na_{экв} - (Na+K+Li)$; $Ca_{экв} - (Ca+Mg+Fe+Mn+Ti)$.

таточно для перспективной оценки месторождений на редкие элементы. Представлялось целесообразным перейти от качественных оценочных критериев к количественным. Особенно актуальной задачей в настоящее время является оценка различных типов редкометалльных месторождений на редкие щелочи и, прежде всего, на цезий. Как известно, повышенные концентрации редких щелочей характерны для различных типов пегматитов и некоторых пневматолитовых образований, залегающих в измененных ультраосновных породах. Поэтому изучение существующих зависимостей между петрохимическими особенностями и уровнями концентрации редких щелочей в перечисленных образованиях представляет весьма актуальную задачу.

С целью решения поставленной задачи было проведено изучение валового химического состава пегматитов различных месторождений и уральских пневматолитовых образований линии скрещения.

Изучавшиеся пневматолитовые образования расчленяются на три группы в зависимости от изменения отношения $Si:Al$.

I. Максимально-глиноземистая с отношением $Si:Al = 1,3$.

II. Высокоглиноземистая с отношением $Si:Al = 2,3$.

III. Среднеглиноземистая с отношением $Si:Al > 3$.

К первой петрохимической группе относятся кварц-мусковитовые комплексы и жилы грейзеновой формации (с отношением $Na экв.: Ca экв. \approx 2$); вторая группа представлена бериллоносными мусковит-флюорит-кварц-плагинклавовыми жилами с отношением $Na экв.: Ca экв. \approx 1$, а третья — слюдитовыми жилами флогопитового и плагинклав-флогопитового состава с отношением $Si:Al \approx 0,3$.

Ниже остановимся на анализе петрохимических характеристик и уровней концентрации редких щелочей в петрохимических группах и парагенетических типах жил (таблица). Изучавшиеся пневматолитовые образования в целом характеризуются низкими содержаниями редких щелочей. Минимальные содержания окисей цезия (0,006–0,01%), рубидия (0,068–0,129) и лития (0,05–0,2) характерны для максимально-глиноземистых ($Si:Al \approx 1,3$), бедных кальцием ($Na; Ca \approx 3$), но богатых калием ($Na; K \approx 0,4$) мусковитовых комплексов грейзеновой формации¹. Формирование этих комплексов происходило, по-видимому, в открытых физико-химических системах, благоприятных для рассеяния столь летучих компонентов, как соединения редких щелочей. Наиболее высокие концентрации редких щелочей характерны для

¹ Здесь и далее содержания редких щелочей даны в процентах.

Таблица

Петрохимические особенности и распределение редких элементов в пегматитовых жилах и пегматитах

Компо- нент	Пегматитовые жилы			Пегматиты								
	Мусковитовые комплексные и жильные графито- вые жилы	Бериллово-мусковит-хлорит-кварц-платиноидные жилы	Средние или флюидопитового остатка	Комплексный P-Ta-Li	Литиевый ряд	Комплексный ряд		Берилловый ряд		Амфиболовый ряд		
				Лепидолит-альбитовый	Сподуме-микроромб-альбитовый о бериллов, танталит-вандулитом, иногда о каоцитеритом	Микроклин-альбитовый о споду-меом, мусковитом, бериллом, танталит-кolumбитом	Сподуме-микроромб-альбитовый, нередко о мусковитом, лепидолитом, танталитом, поллуцитом, микроклином, бериллом и др.	Микроклин-альбитовый с мусковитом, бериллом, танталит-кolumбитом	Существенно альбитовый с мусковитом, бериллом, танталит, вандулитом, колумбитом	Амазонит-микроромб-альбитовый о бериллом, о танталитом, ферроокситом и др.	Альбит-ам-зонит-микроромб-альбитовый о танталитом, колумбитом и др.	Альбит-микроромб-альбитовый
Al ¹	346	110	- 2	121	24-71	47-50	40-70	20-27	25	20	60	0
Na ¹	5-10	10-12	30		2-3	3	4-8	8-9	8-9	9	7	4
Ca ¹	2	I	0,30	9-12	9-12	9-12	5-9	5-6	5-6	5-8	5-8	2-3
Na/Ca	3	I	2-2,5	6,3	17-42	15-26	3-9	9-14	13	9-10	12-61	7-8
Na/K	0,4	1,7	0,40	1,4	22-42	3-5	1,5-6	2	7	0,8-1	4-13	1,15
Ca ₂ O ¹	0,006-0,01	0,028-0,129	0,05-0,12	0,04-0,2	0,005-0,19	0,1-0,45	1,9-2,5	0,01-0,06	-	0,004-0,007	0,005	0,007
Li ₂ O	0,068-0,129	0,210-0,295	0,150-0,270	0,06-0,23	0,014-0,408	0,3-0,7	1,3-1,5	0,01-0,2	-	0,02-0,07	0,01	0,02
Li ₂ O	0,05-0,12	0,180-0,293	0,120-0,180	1,0	0,20-2,20	0,1-1,0	1,7-1,8	0,001-0,15	-	0,005	0,0006	0,004
Si/Al	(∞ I, 3)	(2-3)	> 3	2,5-3,5	3,5-4	3,5-4	3,5-4	4-5	4-5	5-6	5-6	6-7
Петрохимические группы пород	Максимально-глиноземные	Высокотан-таловые	Среднетан-таловые	Максимально-глиноземные	Высокотанталовые			Среднетанталовые		Малотанталовые		Минимально-глиноземные
	В кристаллических решетках охид			В аморфной мере концентрируется в охиде, чаще всего в аморфной	Изоморфная примесь в охиде и в других минералах	В кристаллических решетках охид, иногда в аморфной	Преимущественно в аморфной, а также в микроклине, охиде и др.	Изоморфная примесь в охиде, берилле и других минералах		В малом количестве концентрируется в охиде, берилле и других минералах		

* Содержания редких элементов даны в %.

пневматолитовых жил: среднеглиноземистых ($0,048-0,068 \text{ Ca}_2\text{O}$; $0,150-0,270 \text{ Rb}_2\text{O}$; $0,120-0,180 \text{ Li}_2\text{O}$) и высокоглиноземистых ($0,03-0,042 \text{ Ca}_2\text{O}$; $0,210-0,295 \text{ Rb}_2\text{O}$; $0,180-0,293 \text{ Li}_2\text{O}$). Они тесно ассоциируют с пегматитами и представляют собой, по существу, наиболее низкотемпературные отщепления дифференцированных пегматитовых расплавов-растворов (в широком смысле этого термина). Отношение $\text{Si}:\text{Al}$ в высокоглиноземистых и среднеглиноземистых пневматолитовых жилах (2-3) сопоставимо с этим отношением для максимально-глиноземистых пегматитов (2,5-3,5).

Формирование высоко- и среднеглиноземистых пневматолитовых жил по сравнению с максимальноглиноземистыми происходило в более закрытых системах, что обеспечивало повышение концентрации в них редких щелочей.

Пегматиты различных петрохимических групп и парагенетических типов, как и пневматолитовые жилы, характеризуются различными петрохимическими характеристиками и соответствующими уровнями концентрации редких щелочей. В зависимости от изменений отношений $\text{Si}:\text{Al}$ редкометалльные пегматиты расчленяются на 5 петрохимических групп (см.таблицу).

I. Максимально-глиноземистые с отношением $\text{Si}:\text{Al} = 2,5-3,5$ и преимущественно развитой Ca-Li-Ta минерализацией.

II. Высокоглиноземистые с отношением $\text{Si}:\text{Al} = 3,5-4$ и комплексной редкометалльной минерализацией ($\text{Li, Ca, Ta, Nb, Be, Sn}$).

III. Среднеглиноземистые с отношением $\text{Si}:\text{Al} = 4-5$ и преимущественно развитой Ta-Nb-Be минерализацией.

IV. Малоглиноземистые с отношением $\text{Si}:\text{Al} = 5-6$ и преимущественным развитием Nb-Y-Be минерализацией.

V. Минимальноглиноземистые, но максимально кремнеземистые, с отношением $\text{Si}:\text{Al} = 6-7$ и преимущественно развитой TR-Y-Th-Zr-Nb минерализацией.

Первую группу составляют максимально-глиноземистые пегматиты ($\text{Si}:\text{Al} \sim 2,5-3,5$), которые, как уже отмечалось выше, по степени глиноземистости близки к пневматолитовым образованиям II и III группы. Обнаруживается некоторое сходство рассматриваемых образований также по Na/K отношению. Однако максимально-глиноземистые пегматиты существенно отличаются от пневматолитовых жил значительно более высокими значениями отношений $\text{Na}_{\text{акв}}/\text{Ca}_{\text{акв}}$ и Na/Ca . Возможно, это объясняется тем, что пневматолитовые жилы залегают в ультраосновных породах. Вследствие развития явлений

скрещения они обогащаются Ca , Mg , Fe , Ti и др., что приводит к существенному снижению в пневматолитах петрохимических характеристик, представленных $\text{Na}_{\text{эвб}}/\text{Ca}_{\text{эвб}}$ и Na/Ca .

Максимально-глиноземистые пегматиты характеризуются более высокими содержаниями Ca_2O (0,04–0,2) и Li_2O (1,0) по сравнению с обогащенными этими элементами пневматолитами второй и третьей групп. По всей вероятности, высокоглиноземистые пегматиты формировались в несколько более замкнутых термодинамических и физико-химических системах по сравнению с пневматолитовыми жилами, что снижает степень миграции цезия и лития во вмещающие породы.

По содержанию рубидия рассматриваемые максимально-глиноземистые пегматиты и пневматолиты довольно близки (0,06–0,23 Rb_2O). Возможно, это указывает на несколько меньшую подвижность рубидия по сравнению с цезием в процессах скрещения, сопровождавших формирование пневматолитовых жил.

К второй петрохимической группе относятся высокоглиноземистые пегматиты с отношением $\text{Si}:\text{Al} = 3,5\text{--}4$. Эта группа пегматитов представлена несколькими парагенетическими типами, которые существенно различаются содержаниями редких щелочей. Наиболее высокие содержания Li_2O (0,2–2,20) характерны для сподумен-микроклин-альбитовых или микроклин-сподумен-альбитовых пегматитов. Содержания Rb_2O в этих пегматитах находятся в пределах 0,014–0,405, а Cs_2O –0,005–0,19. В отличие от других парагенетических типов, в этих пегматитах отношение $\text{Na}:\text{K}$ достигает 22–42, т.е. они очень богаты натрием, вследствие чего А.Е.Ферсманом (1940) отнесены к натро-литиевому типу, а М.В.Кузьменко (1968) – к бериллий-тантал-литиевому, иногда с оловом, геохимическому ряду.

По составу главных породообразующих минералов среди литиевых пегматитов выделяется микроклин-альбитовый со сподуменом, мусковитом, бериллом, танталит-колумбитом (реже поллуцитом) и другими минералами парагенетический тип. Эти пегматиты значительно обогащены калием за счет довольно высокого содержания мусковита. Поэтому отношение $\text{Na}:\text{K}$ здесь снижается до 3–5 (см. таблицу), содержание Li_2O до 0,1–1,0% при некотором увеличении содержания Ca_2O , до 0,1–0,45 и Rb_2O до 0,3–0,7. Определенный интерес в данном парагенетическом типе пегматитов представляют более высокие содержания цезия и рубидия по сравнению с типичными натро-литиевыми пегматитами. Как показал анализ фактического материала, оба элемента концентрируются преимущественно в следах, обеспечивая

более высокое валовое содержание цезия и рубидия в целом на пегматитовое тело. Следует отметить, что микроклин-альбитовые пегматиты со сподуменом, вследствие значительного распространения обогащенных цезием и рубидием слюд и находок поллуцита, представляют в настоящее время повышенный практический интерес, несмотря на несколько более низкие содержания лития. Поисково-оценочными петрохимическими характеристиками рассматриваемого парагенетического типа пегматитов являются отношения $Si:Al \approx 3,5-4$, $Na:K \sim 3-5$, $Na:Ca \sim 15-26$.

Среди группы высокоглиноземистых пегматитов выделяется сподумен-микроклин-альбитовый с мусковитом, лепидолитом, танталитом, поллуцитом, микролитом, бериллом и другими минералами парагенетический тип. Для этих пегматитов характерны максимальные концентрации Sr_2O (1,9-2,5), Rb_2O (1,3-1,5) и достаточно высокие содержания Li_2O (1,7-1,8). Данный парагенетический тип, в отличие от двух предыдущих, характеризуется несколько пониженными значениями петрохимических характеристик $Na_{экв}/Ca_{экв}$ (5-9) и Na/Ca (3-9). Высокие концентрации цезия в рассматриваемых пегматитах связаны с поллуцитом. Цезий и рубидий концентрируются также в микроклин. Высокими содержаниями редких щелочей характеризуются слюды (лепидолит и мусковит).

Третья группа пегматитов по своим петрохимическим особенностям является среднеглиноземистой (отношение $Si:Al \approx 4-5$). Содержания редких щелочей в этих пегматитах обнаруживают значительные колебания. Так, например, содержание Sr_2O находится в пределах 0,01-0,06; Rb_2O - 0,01-0,2 и Li_2O - 0,001-0,15. Это обусловлено неравномерным распределением слюд в пегматитах, являющихся главными концентраторами редких щелочей. Максимальные концентрации редких щелочей в среднеглиноземистых пегматитах сопоставимы с концентрациями этих элементов в средне- и высокоглиноземистых пневматолитовых жилах. Однако значения таких петрохимических характеристик, как $Na_{экв}/Ca_{экв}$, Na/Ca , Na/K , значительно более высокие, чем в пневматолитовых образованиях линии скрещения. По всей вероятности, это обусловлено тем, что пегматиты и пневматолитовые жилы залегают в различных по составу вмещающих породах - первые преимущественно в амфиболовых сланцах, а вторые - в ультраосновных метаморфических породах, представленных серпентинитами или тальковыми и хлорит-тальковыми сланцами.

Проведенные сопоставления геологических и петрохимических

данных позволяют считать, что рассмотренные среднеглиноземистые пегматиты, а также среднеглиноземистые и высокоглиноземистые пневматолитовые жилы представляют собой генетически родственные образования. Применяя петрохимические характеристики в качестве их поисково-оценочных критериев, следует учитывать влияние состава вмещающих пород на особенности состава залегающих в них жильных образований.

Четвертая группа пегматитов по своей петрохимической специфике является малоглиноземистой ($Si:Al \approx 4-5$). В отношении редких щелочей эти пегматиты малоперспективны. Содержания Ca_2O находятся в пределах 0,004-0,007%, Rb_2O - 0,01-0,07%, Li_2O - 0,005%. Такие же, примерно, уровни концентраций редких щелочей характерны для минимальноглиноземистых пегматитов ($Si:Al \approx 6-7$).

На основании рассмотренных материалов можно сделать некоторые выводы:

1. При поисках и разведке пневматолитов и пегматитов удобно использовать в качестве поисково-оценочных критериев рассмотренные петрохимические характеристики, которые вычисляются по обычным силикатным анализам пород, выполняемым в любой производственной лаборатории.

2. Применяя петрохимические характеристики при оценке редкометалльных месторождений, следует учитывать влияние состава вмещающих пород на особенности состава залегающих в них жильных образований.

3. Сопоставление петрохимических характеристик различных типов пневматолитов и пегматитов с уровнями концентрации в них редких щелочей позволяет расчленить их по степени перспективности на редкие щелочи:

А. Наиболее перспективными в отношении всех редких щелочей (Li , Rb , Cs) являются высокоглиноземистые сподумен-микроклин-альбитовые пегматиты комплексного ряда с мусковитом, лепидолитом, танталитом, поллуцитом, микролитом, бериллом и другими минералами. Главные петрохимические характеристики этих пегматитов следующие: $Si:Al \approx 3,5-4$, $Na_{эпв} / Ca_{эпв} \approx 5-9$, $Na/Ca \approx 3-9$, $Na/K = 1,5-6$.

Б. Микроклин-альбитовые пегматиты комплексного ряда со сподуменом, мусковитом, бериллом, танталит-колумбитом и другими минералами по степени перспективности на все редкие щелочи находятся на втором месте. В них по сравнению с предыдущим парагенетическим типом несколько повышаются значения отношений $Na_{эпв} / Ca_{эпв}$ и Na/Ca .

В. В лепидолит-альбитовых пегматитах концентрации редких щелочей также достаточно высокие, однако масштабы их проявления небольшие, что существенно снижает их практическую значимость как источника редких щелочей. Наиболее характерными петрохимическими характеристиками этих пегматитов являются низкие значения отношений $\text{Na/Ca} \approx 6,3$ и $\text{Na/K} \approx 1-4$.

Г. Наиболее перспективными на литий являются сподумен-мик-роклин-альбитовые пегматиты с бериллом и танталит-колумбитом, в которых содержание окиси лития колеблется около 2%. Ведущей петрохимической характеристикой этих пегматитов являются высокие значения отношения Na/K ($\sim 20-40$).

Д. Среднеглиноземистые пегматиты ($\text{Si:Al} \sim 4-5$) представляют некоторый практический интерес на редкие щелочи в виду значительного распространения в них слюды и в меньшей мере берилла.

5. Как источник редких щелочей приобретают значение высоко- и среднеглиноземистые пневматолитовые жилы линии скрепления, в которых содержания Cs_2O составляют около 0,030-0,068, Rb_2O - около 0,150-0,290, а Li_2O - около 0,120-0,290. Кроме глиноземистости, в качестве полевково-оценочных критериев этих образований успешно могут быть использованы низкие значения следующих петрохимических характеристик: $\text{Ne}_{\text{экв}}/\text{Ca}_{\text{экв}}$ (0,3-1), Na/Ca (1-2,5), Na/K (0,4-1,7).

6. Малоглиноземистые и минимальноглиноземистые пегматиты в отношении цезия и лития, судя по имеющимся данным, малоперспективны. Перспективы рубидиеносности этих пород заслуживают дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА

Виноградов А.П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. - Геохимия, 1956, № 1.

Калита А.П., Айздардзис Д.Я., Мелентьев Г.Б., Филиппова Ю.И., Большакова Т.Н. Сравнительный петрохимический анализ редкометалльных гранитных пегматитов. Научные собрания, Материалы, вып. 5. Изд. ИМПРЭ, 1971.

Кузьменко М.В., Еськова Е.М. Тантал и ниобий. Изд-во "Наука", 1968.

Кузьменко М.В., Калита А.П., Мелентьев Г.Б., Недумов И.Б. Филиппова Ю.И. Геохимическая специализация и вопросы классификации редкометалльных гранитных пегматитов. В сб. "Пегматитовые редкометалльные месторождения". Вып. I. Изд. ИМГРЭ, 1972.

Ферсман А.Е. Пегматиты. Т. I, М-Л. Изд-во АН СССР, 1940.

ГЕОХИМИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В СЛАБО ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ
ПОЛЛУЦИТОНОСНЫХ ПЕГМАТИТАХ
СИБИРИ

Данные о характере редкометального оруденения и закономерностях его распределения в поллуцитоносных пегматитах неоднократно и детально излагались как в отечественной (Власов, 1961; Гинзбург, 1960; Мелентьев, 1961; Соседко, 1961; Солодов, 1962; Ферсман, 1940), так и в зарубежной литературе (Камерон, Джанс, Мак-Нейр, Пейдж, 1951; Quensel, 1938; Wright, 1963).

Известные поллуцитоносные пегматиты обычно представлены единичными телами крупных размеров с пологими или умеренными углами падения. Эти тела отчетливо зональны и крупные скопления поллукита в них приурочены к определенным центральным зонам. В зональных пегматитовых телах выявлено отчетливое увеличение содержаний редких элементов по мере перехода от внешних к внутренним и центральным зонам (Солодов, 1962).

В настоящей статье рассматриваются закономерности распределения редких элементов в слабо дифференцированных пегматитовых телах микроклин-сподумен-альбитового состава, в которых поллукит не занимает определенного пространственного положения. Общая минералогическая характеристика этих пегматитов была дана нами в ранее опубликованной статье, где они были выделены как новый парагенетический тантал-цезиевый тип (Филиппова, 1970).

Пегматитовые тела описываемого месторождения вытянуты узкой полосой в субмеридиональном направлении вдоль крупного разлома, являющегося основной рудоконтролирующей структурой района. Редкометалльные пегматитовые жилы выполняют кососекающие и межпластовые трещины во вмещающих кварц-биотитовых, биотит-амфиболовых и амфиболовых сланцах среднего и верхнего протерозоя, оперяющих этот разлом. Они часто сгруппированы в серии, в пределах которых трудно выделить отдельные, выдержанные по простирацию тела. В пределах месторождения жилные серии расположены кулисообразно относительно друг друга и в основной своей массе сконцентрированы на четырех участках: Юго-восточном, Южном, Центральном и Северном. Наибольшее количество пегматитовых тел выявлено на Южном

участке.

Падение жил западное, юго-западное или северо-восточное. Углы падения 55–80°. У отдельных жил и жильных серий отмечаются изменения элементов залегания.

Пегматитовые тела всех четырех участков месторождения сложены в основном пятью структурно-минералогическими комплексами:

1. Средне- и крупнокристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновыи¹ (сподумена 10–25%, микроклина 10–35%, кварца 25–35%, альбита 5–15%, мусковита 2–6%); на второстепенные минералы – турмалин, гранат, апатит, монтебразит, берилл, касситерит – в общем приходится до 2% от объема комплекса.

2. Тонкокристаллический сподумен-кварц-альбитовый (сподумена 10–25%, микроклина 5–10%, кварца до 30%, альбита до 40%, мусковита до 5%).

3. Мелкозернистый кварц-альбитовый (альбита 50–65%, кварца 20–30%, микроклина и сподумена до 10% каждого, мусковита 2–6%), второстепенных минералов – турмалина, апатита, граната, касситерита, берилла – в общем 1–2%).

4. Среднезернистый мусковит-кварцевый (кварца 45–50%, мусковита 30–35%, альбита 5–10%, микроклина до 5%), турмалина, апатита, касситерита, монтебразита – в общем до 3%).

5. Неравнозернистый кварц-альбит-мусковитовый (мусковита 30–40%, альбита 30–40%, кварца до 25%), второстепенных минералов всех вместе – турмалина, апатита, граната, андалузита, фосфатов – до 5%).

Первые три комплекса развиты в жилах широко и составляют основной объем большинства пегматитовых тел. Мусковитовые комплексы в крупных жилах имеют второстепенное значение и часто, вместе с мелкозернистым кварц-альбитовым комплексом, выполняют объем мелких жил и прожилков, встречающихся в большом количестве во вмещающих породах вблизи пегматитовых тел.

Преобладающее количество жил на месторождении незонально и характеризуется незакономерным чередованием слагающих их структурно-минералогических комплексов. Лишь вдоль контактов жил с вмещающими их сланцами постоянно отмечаются невыдержанные по

¹ Количественные соотношения между слагающими этот комплекс основными минералами в различных жилах варьируют довольно в широких пределах, но для ясности описания мы сохраним за ним постоянное название.

мощности мелкозернистые кварц-альбитовые или кварц-мусковитовые оторочки с апатитом, гранатом, турмалином, реже - с андалузитом, нигеритом, хризобериллом, лазулитом.

Пегматитовые тела часто имеют полосчатое строение за счет неоднократного повторения по их мощности удлинённых обособлений различных структурно-минералогических комплексов, имеющих переменную мощность. Эта полосчатая текстура еще более подчеркивается в существенно альбитовых комплексах ориентированным, цепочечным расположением мелких кристалликов или зерен сподумена, турмалина, граната вдоль протяженности полос, обычно параллельно контактам жил или под некоторым углом к ним. По простиранию жил эти обособления комплексов невыдержаны или чередуются в другой последовательности. В других случаях обособления структурно-минералогических комплексов имеют в жилах различную неправильную и овальную форму. В жилах не всегда можно точно определить распространение каждого минерального комплекса, ввиду его частичного смешения с другими комплексами. Между отдельными структурно-минералогическими комплексами существуют как четкие границы, так и постепенные переходы. В случае четких границ среднекристаллического альбит-кварц-сподумен-микроклинового комплекса с тонкокристаллическим сподумен-кварц-альбитовым, в первом наблюдается ориентированное расположение кристаллов сподумена под небольшим углом к линии контакта между комплексами. Ориентированное положение сподумена в средне- и крупнокристаллическом комплексе отмечается также при его расположении вблизи контактов жил.

Мелкозернистый кварц-альбитовый комплекс часто встречается в эндоконтактных участках жил и в этих случаях имеет ясные границы с соседними тонкокристаллическим сподумен-кварц-альбитовым и средне- и крупнокристаллическим альбит-кварц-сподумен-микроклиновыми комплексами. Кроме того, он постоянно отмечается в центральных частях жил, где в виде гнезд и полос различных размеров и форм развивается по обоим сподуменоносным комплексам и содержит в себе реликты сподумена и микроклина. Границы выделений кварц-альбитового комплекса здесь сильно извилистые и расплывчатые. В отдельных случаях они прямолинейны и в богатых танталом участках жил подчеркнуты цепочечными выделениями мелких кристалликов танталита. Мелкозернистым кварц-альбитовым агрегатом сложены также маломощные апофизы жил и самостоятельные мелкие жилы мощностью 0,2-1 м.

Различные количественные сочетания структурно-минералогических комплексов обусловили образование трех парагенетических типов пегматитовых тел на месторождении:

1. Микроклин-сподумен-альбитовые тела являются наиболее распространенными на всех четырех участках месторождения и сложены в основном первыми тремя из описанных структурно-минералогических комплексов, при преобладании первых двух комплексов.

2. Существенно альбитовые тела широко развиты на восточном и юго-восточном фланге месторождения и сложены мелкозернистым кварц-альбитовым комплексом с подчиненным распространением обоих сподуменсодержащих комплексов.

3. Мусковит-кварцевые тела незначительны по размерам и редко встречаются.

Поллуцит обнаружен на всех участках месторождения, но только в первом парагенетическом типе пегматитов.

Далее в статье будут рассмотрены закономерности распределения редких элементов только в этом наиболее распространенном на месторождении, микроклин-сподумен-альбитовом типе пегматитов.

Химический состав этих пегматитов на всех четырех участках месторождения близок (табл. I), наблюдается только увеличение содержания натрия, фосфора и в незначительной степени алюминия в поллуцитоносных жилах и участках жил, тогда как количество кремния в них несколько убывает.

В пределах месторождения нет четкой закономерности в распределении богатых и бедных редкими элементами пегматитовых тел. В настоящее время большее количество жил с комплексным редкометальным оруденением известно на восточном фланге месторождения, где широко развиты вмещающие породы амфиболового состава.

На Северном участке известны две крупные жильные серии пегматитов, в которых содержание Ta_2O_5 колеблется в пределах 0,003–0,005%, а содержание цезия не выше 0,006–0,007%. Однако, согласно устному сообщению Г.Г. Несмелова и И.А. Полетаева, в последнее время на этом участке обнаружены отдельные выходы поллуцитоносных пегматитов, которые по своему минеральному составу и содержаниям редких элементов сходны с известными ранее жилами, содержащими поллуцит, на Юго-восточном и Южном участках.

На Центральном участке известно несколько поллуцитоносных жил, имеющих северо-восточное простирание 40–50°. Эти тела имеют линзовидную или неправильную форму и незначительны по размерам,

Т а б л и ц а I

Химический состав групповых проб наиболее характерных жил четырех участков месторождения

Компоненты	Юго-восточ- ный	Южный						Центральный		Северный
	жила 47 с поллужитом	жильная серия 24			жила 9	жила I Ia	жила 2 I	западные жилы		жильная серия 20
		средняя часть с поллужи- том	вжная часть с с-з поллужита	северная часть без пол- лужита				жила I	жила 2	
SiO ₂	70,62	71,42	72,70	73,49	71,70	73,27	74,30	73,52	72,00	72,70
TiO ₂	0,04	Следы	0,03	0,02	0,02	0,03	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.
Al ₂ O ₃	17,69	17,75	16,35	16,46	17,19	17,45	16,92	17,09	17,18	15,98
Fe ₂ O ₃	0,60	0,19	0,27	0,93	0,51	0,33	0,27	Не обн.	Не обн.	Не обн.
FeO	0,20	Не обн.	0,30	Не обн.	Следы	Следы	0,13	0,43	0,31	0,46
MnO	0,03	0,07	0,06	0,06	0,04	0,07	0,03	0,02	0,03	0,09
MgO	0,2	0,44	0,10	0,21	1,84	0,44	0,44	Не обн.	Не обн.	Не обн.
CaO	0,45	0,86	1,23	0,68	0,46	0,79	0,63	0,83	0,74	0,72
Na ₂ O	4,84	4,98	3,75	3,34	3,53	2,94	3,41	3,78	4,55	4,23
K ₂ O+(Rb ₂ O+Cs ₂ O)	2,38	2,31	3,00	2,86	3,57	3,09	2,60	2,71	3,00	2,83
Li ₂ O	1,05	0,99	0,86	0,98	1,01	1,47	1,18	1,34	0,88	1,06
P ₂ O ₅	0,90	0,99	0,26	0,14	0,13	0,12	0,35	0,37	0,29	0,45
H ₂ O ⁺	0,04	0,42	0,80	0,44	0,20	0,11	0,08	0,22	0,34	0,70
H ₂ O ⁻	Не обн.	0,15	Не обн.	0,08	0,11	0,19	0,15	0,10	0,04	0,18
F	0,65	0,30	0,20	0,72	0,25	0,28	0,10	0,50	0,60	0,48
Сумма	100,68	100,83	99,91	100,41	100,56	100,58	100,59	100,91	99,96	99,88
Аналитик	В.М.Швец		О.Ф.Сазонова				В.Г.Богомолова			

намного уступая по простиранию и мощности большинству жил северо-западного простирания. Они характеризуются крупнокристаллическим строением и содержат в своем составе до 5-7% мелколистоватого мусковита.

Однако, несмотря на рассредоточение жил с поллуцитом по всему рудному полю, можно отметить тенденцию к большому накоплению тантала, рублидия, цезия в пегматитах Юго-восточного и Южного участков, где подавляющее количество жил характеризуется повышенными содержаниями этих элементов.

Далее кратко остановимся на различиях геохимической специализации различных жильных серий или отдельных жил описываемого месторождения.

Для двух крупных жильных серий Северного участка характерны низкие содержания редких элементов (табл.2). В этих пегматитах отмечаются самые высокие (для всего месторождения) отношения K/Rb , K/Cs , Rb/Cs и самые низкие отношения Ta_2O_5/Nb_2O_5 .

Крупные западные жилы Центрального и Южного участков характеризуются максимальными для месторождения содержаниями лития. Количество тантала в них, по сравнению с жильными сериями Северного участка возрастает в 2-3,5 раза, а тантало-ниобиевое отношение приближается к единице. Приблизительно вдвое увеличиваются в них содержания рублидия и цезия. Отношения K/Na , Rb/Cs и общая сумма щелочей в этих пегматитах сохраняются в тех же пределах, что и в жильных сериях Северного участка, а K/Rb и K/Cs отношения уменьшаются в 2-2,5 раза.

В поллуцитоносных жилах месторождения фиксируется резкий скачок в накоплении цезия — его содержания возрастают в 25-70 раз при увеличении количества рублидия в 1,7-3,3 раза (см.табл.2). Содержание тантала увеличивается в 3-5 раз, а тантало-ниобиевое отношение достигает максимума — 2,3-5,7.

Поллуцитоносные тела месторождения характеризуются самыми низкими абсолютными содержаниями калия, тогда как сумма ($Na+K$) в них сохраняется в тех же пределах, что и в микроклин-сподумен-альбитовых пегматитах без поллуцита благодаря увеличению количества натрия. Общая сумма щелочей достигает максимальных значений в поллуцитоносных телах только за счет возрастания в них количества рублидия и цезия при некотором снижении количества лития. Отношение $\frac{Rb+Cs}{Li}$ возрастает в них в 4-20 раз по сравнению с не-

Таблица 2

Средние содержания щелочных и редких элементов в %, их индикаторные отношения в наиболее представительных пегматитовых жилах и жильных сериях микроклин-сподумен-альбитового типа

Участки	№ жил и жильных серий	Число объ- единен- ных разре- зов	Характерис- тика пегма- тита	Содержания элементов								Их индикаторные отношения									
				Na	K	Li	Rb	Cs	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Zr	Sn	Na+K	Σ щел.	K/Na	K/Rb	K/Cs	Rb/Cs	Ta ₂ O ₅ Nb ₂ O ₅	Rb+Cs Li	Na+K Li+Rb+Cs
Север- ный	20	3	Без полуци- та	3,26	2,20	0,38	0,051	0,0046	0,004	0,007	0,049	0,027	5,46	5,89	0,67	43,13	478,2	11,08	0,5	0,146	12,77
	8	2	—	3,40	2,31	0,41	0,062	0,003	0,005	0,008	0,055	0,03	5,71	6,185	0,7	37,26	770	20,66	0,62	0,16	12,21
	б/н	2	С полуцитом	3,20	1,84	0,61	0,215	0,76	0,021	0,015	0,051	0,045	5,04	6,625	0,57	8,55	2,40	0,28	1,40	1,6	3,17
Цент- раль- ный	1	4	Без полуци- та	2,70	2,05	0,75	0,116	0,013	0,011	0,011	0,046	0,09	4,75	5,68	0,76	17,52	157,7	9,0	1,0	0,17	5,35
	2	4	—	3,35	2,13	0,57	0,133	0,011	0,014	0,014	0,053	0,08	5,48	6,19	0,64	16,01	193,63	12,09	1,0	0,25	7,67
	7	2	С полуцитом	3,32	1,76	0,676	0,331	0,13	0,035	0,02	0,044	0,06	5,08	6,217	0,53	5,31	13,53	2,54	1,75	0,68	4,38
	б/н	1	—	3,65	1,75	0,346	0,15	0,525	0,03	0,013	0,03	0,052	5,40	6,42	0,48	11,66	3,3	0,28	2,3	1,95	5,29
Юж- ный	21	2	Без полуци- та	3,03	2,15	0,59	0,086	0,012	0,006	0,006	0,048	0,057	5,18	5,86	0,71	25,0	179,17	7,16	1,0	0,166	7,53
	9	2	—	2,85	2,55	0,60	0,17	0,038	0,010	0,006	0,04	0,045	5,40	6,25	0,89	15,0	67,10	4,47	1,66	0,346	6,68
	24	9	С полуцитом	3,32	2,068	0,53	0,164	0,336	0,026	0,011	0,044	0,08	5,38	6,418	0,62	12,60	6,15	0,48	2,36	0,94	5,22
Юго- восточ- ный	47	5	—	3,66	1,62	0,50	0,196	1,24	0,056	0,0135	0,048	0,06	5,28	7,22	0,6	8,1	1,306	0,19	4,17	2,87	1,71
	57	1	—	3,80	1,76	0,48	0,311	0,65	0,039	0,012	0,034	0,04	5,00	7,46	0,6	2,70	0,1	3,45	2,0	3,86	

Определение щелочей выполнено методом фотометрии пламени, анализатор — Л.И.Сенченко, лаборант — В.А.Коровина. Определение тантала и ниобия — вы-
полнено химическим методом, аналитики: А.А.Манухова, М.С.Стрепихеева. Литий, бериллий определен ядерно-физическим методом; аналитик — В.И.Пережигин,
олово определено количественно-спектральным методом, аналитик

поллудитоносными телами.

Жилы с поллудитом характеризуются также самыми низкими для месторождения отношениями K/Na , K/Rb , Rb/Cs , иными словами в них происходит накопление натрия, рубидия и цезия относительно калия. Отношение $\frac{Na+K}{Li+Rb+Cs}$ уменьшается в этих пегматитах в 1,8-4,6 раза (см. табл. 2).

Таким образом, по геохимической специализации среди микроклин-сподумен-альбитовых пегматитов на месторождении можно выделить пегматиты литиевого ряда без поллудита (Кузьменко, Еськова, 1968; Кузьменко, 1971) с бедным и рядовым бериллий-танталовым оруденением и пегматиты комплексного ряда с поллудитом, с богатым литий-тантал-цезиевым оруденением.

Характер распределения редких и щелочных элементов непосредственно в отдельных пегматитовых телах, также имеет свои специфические черты. Так как в пегматитовых телах описываемого месторождения плохо выражено зональное строение, то особенности распределения элементов по отдельным структурно-минералогическим комплексам часто затуманены смешением этих комплексов друг с другом. Поэтому изменения в содержаниях элементов от комплекса к комплексу изучались по специально выбранным разрезам в тех представительных жилах, где основные структурно-минералогические комплексы сравнительно четко отделены друг от друга.

Из полученных результатов такого опробования жил по комплексам (табл. 3) следует, что в жилах разных участков с различной геохимической специализацией намечаются одинаковые закономерности в распределении щелочных и редких элементов между структурно-минералогическими комплексами.

Во всех пегматитовых телах обнаруживаются сходные черты в геохимической специализации средне- и крупнокристаллического альбит-кварц-сподумен-микроклинового комплекса и тонкокристаллического сподумен-кварц-альбитового. Для этих комплексов в пределах различных жил характерны значительные и часто близкие концентрации лития вне зависимости от изменения соотношений в них между натрием и калием. В них также сходны суммы натрия и калия и общие суммы щелочей, и это сходство нарушается только в поллудитоносных телах высокими концентрациями цезия. В обоих сподуменных комплексах отмечаются соразмерные концентрации рубидия и цезия с преимущественным накоплением, однако, этих элементов в среднекристаллическом комплексе, наиболее обогащенном калием.

Распределение щелочных и редких элементов (в %) в структурно-минералогических комплексах типовых жилах месторождения

Участки	№ жил и жильных серий	Характеристика структурно-минералогического комплекса	Содержания элементов							Индикаторные отношения				
			Na	K	Li	Rb	Cs	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	K/Na	Σ щел.	K/Rb	K/Cs	Ta ₂ O ₅ Nb ₂ O ₅
Се- вер- ный	20 (средняя часть)	Тонкокристаллический кварц-сподумен-альбитовый	2,87	1,10	0,61	0,045	0,006	0,0048	0,012	3,97	4,83	24,4	183,3	0,4
		Среднекристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	1,4	2,37	0,90	0,06	0,01	0,0024	0,008	3,77	4,75	39,5	237,0	0,3
		Мелкозернистый кварц-альбитовый	7,00	0,52	0,03	0,012	0,003	0,0063	0,018	7,52	7,565	43,3	173,3	0,35
	20 (северный фланг)	Тонкокристаллический сподумен-кварц-альбитовый	4,15	0,67	0,165	0,025	0,005	0,0044	0,012	4,82	5,015	26,8	134,0	0,36
		Среднекристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	2,38	2,34	0,680	0,04	0,006	0,0023	0,007	4,72	5,446	58,5	390,0	0,33
		Мелкозернистый кварц-альбитовый	6,01	0,30	0,003	н/о	<0,001	0,0053	0,007	6,31	6,31	100	300	0,76
	8 (средняя часть)	Эпидоконтактная кварц-альбитовая оторочка	6,08	1,16	0,006	0,035	0,005	0,004	0,008	7,24	7,28	33,1	232,0	0,5
		Тонкокристаллический сподумен-кварц-альбитовый	3,28	1,72	0,691	0,057	0,010	0,006	0,008	5,0	5,757	30,17	172	0,75
		Среднекристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	2,71	1,78	0,856	0,069	0,012	0,002	0,003	4,49	5,427	25,79	148,3	0,66
		Мелкозернистый кварц-альбитовый	6,18	0,76	0,048	0,021	0,003	0,0084	0,010	6,94	7,012	36,19	253,3	0,84
Юж- ный	21 (средняя часть)	Тонкокристаллический сподумен-кварц-альбитовый	3,83	1,20	0,646	0,054	0,022	0,0097	0,011	5,03	5,75	22,2	54,45	0,88
		Среднекристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	2,65	2,53	0,59	0,059	0,028	0,004	0,004	5,18	5,857	60	90,3	1,0
		Мелкозернистый кварц-альбитовый	6,77	0,34	0,006	0,012	0,005	0,014	0,008	7,11	7,13	28,3	68,0	1,7

Окончание табл.3

Юж- ный	11 (восточная часть)	Тонкокристаллический сподумен-кварц-альбитовый	3,41	2,39	0,423	0,126	0,029	0,0045	0,007	5,80	6,378	18,9	82,4	0,64
		Среднекристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	2,60	2,5	0,74	0,12	0,04	0,003	0,003	5,10	6,0	20,83	62,5	1
		Мелкозернистый кварц-альбитовый	7,21	0,22	0,045	0,008	0,004	0,023	0,012	7,43	7,48	27,5	55,0	1,9
	9 (северная часть)	Тонкокристаллический сподумен-кварц-альбитовый	3,09	1,56	0,74	0,092	0,021	0,010	0,012	4,65	5,50	16,96	74,3	0,83
		Среднекристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	2,23	3,25	0,721	0,190	0,058	0,006	0,009	5,48	6,449	17,1	56,03	0,66
		Мелкозернистый кварц-альбитовый	5,04	1,50	0,084	0,058	0,012	0,012	0,12	6,54	6,69	25,8	125	1,0
	Восточная 24 (средняя часть с пол- лунитом)	Тонкокристаллический сподумен-кварц-альбитовый	3,53	1,78	0,668	0,157	0,531	0,010	0,015	5,31	6,66	11,33	3,35	0,66
		Среднекристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	3,09	1,60	0,715	0,297	2,03	0,038	0,016	4,69	7,73	5,38	0,78	2,37
		Мелкозернистый кварц-альбитовый	6,74	0,21	0,123	0,013	0,057	0,067	0,018	6,95	7,143	16,15	3,7	3,72
	47 (средняя часть с пол- лунитом)	Тонкокристаллический сподумен-кварц-альбитовый	3,99	0,56	0,61	0,091	0,614	0,069	0,0135	4,55	5,865	6,15	0,91	5,11
		Среднекристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	2,04	1,67	0,885	0,29	2,65	0,076	0,010	3,71	7,53	5,76	0,62	7,6
		Мелкозернистый кварц-альбитовый	4,76	2,76	0,08	0,29	0,728	0,0969	0,016	7,52	8,61	9,51	3,79	6,05
		Верхняя кварц-альбитовая жила	6,12	1,05	0,05	0,086	0,062	0,101	0,008	7,17	7,368	12,2	16,93	12,62
Юго-восточный	47 (северная часть с пол- лунитом)	Эпидоконтактная кварц-альбитовая оторочка	6,21	1,07	0,127	0,117	0,142	0,066	0,014	6,28	6,66	9,14	7,53	4,71
		Тонкокристаллический сподумен-кварц-альбитовый комплекс	3,64	1,87	0,665	0,271	0,854	0,060	0,014	5,51	7,3	6,90	2,21	4,29
		Среднекристаллический альбит-кварц-сподумен-микроклиновый	2,38	2,41	0,732	0,327	3,93	0,05	0,007	4,79	9,78	7,37	0,61	7,14
		Мелкозернистый кварц-альбитовый	5,66	1,05	0,237	0,116	0,786	0,079	0,011	6,71	7,85	9,04	1,33	7,18

Определение щелочей выполнено методом фотометрии пламени, аналитики: В.В.Замотина, Л.Г.Шама, Г.И.Коровина; определение пятиокиси тантала и ниобия выполнено химическим методом, аналитики: А.А.Манухова, М.С.Стрепихова.

Из двух сподуменосных комплексов чаще более обогащен танталом и ниобием тонкокристаллический сподумен-кварц-альбитовый комплекс, тогда как тантал-ниобиевое отношение изменяется в них незакономерно. В поллудитосных телах это отношение обычно выше в среднекристаллическом комплексе.

Мелкозернистый кварц-альбитовый комплекс, по сравнению с двумя выше рассмотренными, резко обогащен натрием и обеднен калием, литием, рубидием и цезием. Спорадически встречающиеся в нем повышенные концентрации редких щелочей связаны с нахождением реликтовых минералов этих элементов. В кварц-альбитовом комплексе из различных жил постоянно отмечаются самые высокие K/Rb отношения, т.е. комплекс обеднен рубидием относительно калия. Из всех основных структурно-минералогических комплексов, слагающих пегматитовые тела, этот комплекс наиболее обогащен танталом и ниобием. В нем же установлено и самое высокое тантало-ниобиевое отношение.

С колебаниями средних содержаний редких элементов в различных жилах тесно связаны вариации их содержаний и в отдельных минералах из этих жил. Увеличение содержаний редких щелочей отмечаются во всех наиболее распространенных минералах при переходе от пегматитов литиевого ряда к комплексным пегматитам (табл. 4).

Содержания рубидия и цезия в микроклинах из поллудитосных пегматитов возрастают в 2-6 раз. В мусковитах содержания рубидия увеличиваются в 3-5,5 раза, цезия - в 5-10 раз, в бериллах содержание рубидия - в 4-10 раз, цезия в 10-15 раз. Более резко и неравномерно возрастают содержания этих элементов в сподумене, в 10-50 раз. Такие резко аномальные содержания их в сподумене, возможно связаны с мелкими механическими примесями поллудита.

Исходя из содержаний редких щелочей в микроклинах и мусковитах различных жил, можно заключить, что содержания рубидия в микроклинах и мусковитах выше 1% и содержания цезия в этих минералах выше 0,17% могут служить поисковым признаком поллудитосности пегматитов на описываемом месторождении. Описанные особенности внутреннего строения и закономерности распределения редких элементов в пегматитах, как в пределах всего месторождения (между различными пегматитовыми телами), так и внутри отдельных пегматитовых жил (между слагающими их структурно-минералогическими комплексами), а также в минералах, позволяют сделать некоторые выводы.

Т а б л и ц а 4

Содержания редких элементов в минералах из различных жил микроклин-сподумен-альбитового типа

Участки	Характеристика пегматита	Минерал	Li		Rb		Cs		Rb/Cs
			от	до	от	до	от	до	
Северный	Без поллуцита	Альбит	0,009	0,010	0,002	0,005	Не обн.	0,001	5
Центральный	"	"	0,011	0,048	0,005	0,015	0,002	0,010	2,5-1,5
"	С поллуцитом	"	0,004		0,008		0,002		4
Южный	Без поллуцита	"	0,005	0,032	0,006	0,031	0,002	0,010	3-3,1
"	С поллуцитом	"	0,008	0,018	0,004	0,015	0,015	0,020	0,27-0,75
Юго-восточный	"	"	0,022	0,025	0,006	0,012	0,021	0,025	0,29-0,48
Северный	Без поллуцита	Микроклин	0,007	0,008	0,243	0,350	0,014	0,033	17,3-10,6
"	С поллуцитом	"	0,025	-	1,39	-	0,322	-	4,3
Центральный	Без поллуцита	"	0,004	0,034	0,5	0,82	0,033	0,091	15,1-9,0
"	С поллуцитом	"	0,054	0,065	1,10	1,44	0,29	0,313	3,8-4,6
Южный	Без поллуцита	"	0,004	0,028	0,256	0,69	0,035	0,16	7,31-4,3
"	С поллуцитом	"	0,019	0,022	1,02	1,62	0,214	0,27	4,76-6,0
Юго-восточный	"	"	0,012	0,042	1,08	1,94	0,17	0,29	6,3-6,6
Северный	Без поллуцита	Сподумен	3,0	3,16	Не обн.	0,003	Не обн.	0,002	1,5
Центральный	"	"	3,0	3,36	0,001	0,006	Не обн.	0,013	0,46
"	С поллуцитом	"	3,2	-	0,028	-	0,015	-	1,86
Южный	Без поллуцита	"	2,89	3,24	0,002	0,005	0,001	0,011	2-0,45
"	С поллуцитом	"	3,10	-	0,04	-	0,05	-	0,8
Юго-восточный	"	"	2,5	3,22	0,024	0,084	0,07	0,35	0,3-0,24
Северный	Без поллуцита	Мусковит	0,016	0,025	0,236	0,368	0,022	0,026	1,7-14,15
"	С поллуцитом	"	0,077	-	1,07	-	0,215	-	4,9
Центральный	Без поллуцита	"	0,021	0,05	0,50	0,80	0,02	0,11	25-7,27
"	С поллуцитом	"	0,034	0,073	0,80	2,15	0,024	0,15	33,3-14,3
Южный	Без поллуцита	"	0,034	0,044	0,425	0,665	0,018	0,163	23,6-4,0
"	С поллуцитом	"	0,056	-	1,20	-	0,25	-	4,8
Юго-восточный	"	"	0,027	0,15	1,08	1,85	0,18	0,25	6-7,4
Северный	Без поллуцита	Турмалин	0,110	0,129	0,001	0,002	Не обн.	Не обн.	-
Центральный	"	"	0,28	0,38	Не обн.	0,001	Не обн.	Не обн.	-
"	С поллуцитом	"	0,58	-	0,008	-	Не обн.	-	-
Южный	Без поллуцита	"	0,033	0,213	0,002	0,01	Не обн.	Не обн.	-
"	С поллуцитом	"	0,25	-	0,022	-	0,038	-	0,57
Юго-восточный	"	"	0,29	0,51	0,015	0,035	0,027	0,10	0,5-0,35
Центральный	Без поллуцита	Берилл	0,20	0,36	0,015	0,028	0,171	0,19	0,08-0,14
"	С поллуцитом	"	0,29	-	0,04	-	1,36	-	0,03
Южный	Без поллуцита	"	0,11	0,31	0,028	0,036	0,18	0,16	0,15-0,13
"	С поллуцитом	"	0,15	-	0,15	-	2,68	-	0,05

Аналитики: В.В.Замотина, Л.Г.Щема, Г.И.Коровина.

1. Микроклин-сподумен-альбитовые пегматитовые тела всех четырех участков месторождения сформировались из специфического пегматитового расплава-раствора изначально обогащенного всеми редкими элементами, присутствующими в пегматитах (Власов, 1955). Геохимической особенностью этого расплава-раствора являлась высокая первоначальная концентрация в нем лития, а также обогащенность натрием относительно калия. В результате, все образовавшиеся из него пегматитовые тела в значительной степени сложены относительно низкотемпературными структурно-минералогическими комплексами, богатыми сподуменом и альбитом. Высокотемпературные олигоклаз-микроклиновые и существенно микроклиновые типы жил в составе жильных серий отсутствуют.

Неравномерное обогащение различных жил танталом, рублием и цезием, и некоторая разница в минеральном составе этих жил, очевидно, обусловлены дифференциацией этого существенно натро-литиевого расплава-раствора в процессе внедрения во вмещающие породы из разных пегматитовых очагов, в разной степени обогащенных редкими элементами. Причем, более богатые танталом и цезием жилы формировались в амфиболовых породах (амфиболовых сланцах и ортоамфиболитах), которые, в силу своих физико-механических свойств способствуют лучшему сохранению летучих и редких элементов в пегматитах.

2. Интенсивное проявление в районе месторождения дорудной и внутрирудной тектоники привело к возникновению жил сложной морфологии, отсутствию зонального расположения слагающих их структурно-минералогических комплексов. Однако вышеприведенные закономерности изменения их минерального состава и геохимической специфики, а также генетические взаимоотношения между минеральными комплексами, позволяют судить о последовательности их формирования в пегматитовых телах.

Отмеченное выше геохимическое сходство между тонкокристаллическим сподумен-кварц-альбитовым и среднекристаллическим альбит-кварц-сподумен-микроклиновым комплексами свидетельствует о близком времени их формирования с некоторым запаздыванием для среднекристаллического комплекса, более богатого рублием и цезием, тогда как тонкокристаллический комплекс содержит более высокие концентрации ниобия. Мелкозернистый кварц-альбитовый комплекс, имеющий коррозионные границы с двумя сподуменовыми комплексами и содержащий в себе реликты их минералов, является более поздним по времени образования. Очевидно, его выделение связано

с остаточными порциями того же пегматитового расплава-раствора, так как в каждой отдельной жиле содержания тантала и ниобия в нем богаче, но соразмерны с содержаниями этих элементов в двух других основных структурно-минералогических комплексах. В отношении цезиевого оруденения кварц-альбитовый комплекс играет разубоживающую роль.

3. Описанные слабо дифференцированные микроклин-сподумен-альбитовые пегматиты являются носителями разного типа руд: а) богатых и рядовых литиевых с бедным и рядовым бериллий-танталовым оруденением, б) комплексных литий-тантал-цезиевых.

Пегматитовые тела с богатым тантал-цезиевым оруденением характеризуются повышенными содержаниями альбита, монтебразита при незначительном развитии слюд. В них постоянно отмечаются игольчатые кристаллы синего и зеленого турмалинов. Поисковыми признаками на поллуцит могут служить содержания рубидия в микроклинах и мусковитах выше 1% и содержания цезия в этих минералах выше 0,17%.

Л и т е р а т у р а

Власов К.А. Генезис редкометальных гранитных пегматитов. М. Изд-во АН СССР, 1955.

Власов К.А. Принципы классификации гранитных пегматитов и их текстурно-парагенетические типы. — Изв. АН СССР, серия геол., 1961, № 1.

Гинзбург А.И. Геохимические особенности пегматитового процесса. В сб. "Минералогия и генезис пегматитов". Междунар. геол. конгресс XXI серия. — Докл. сов. геологов. Изд-во АН СССР, 1960.

Дымков Ю.М. Морфология выделений поллуцита и их генезис. — Труды Минер. музея АН СССР, 1953, вып. 5.

Камерон Е., Джанс Р., Мак-Нейр, Пейдж В. Внутреннее строение гранитных пегматитов. Изд-во ИЛ, 1951.

Кузьменко М.В., Еськова Е.М. Тантал и ниобий. Изд-во "Наука". М., 1968.

Кузьменко М.В., Калита А.П., Мелентьев Г.Б., Недумов И.Б., Филиппова Ю.И., Геохимическая специализация и вопросы классификации редкометальных гранитных пегматитов. — В сб. "Пегматитовые редкометальные месторождения", вып. I. Изд. ИМГРЭ, 1972.

Мелентьев Г.Б. Первая находка поллудита в гранитных пегматитах Саяна. — Докл. АН СССР, 1961, том 141, №4.

Соседко А.Ф. Материалы по минералогии и геохимии гранитных пегматитов. Госгеолыздат, 1961.

Солодов Н.А. Внутреннее строение и геохимия редкометалльных гранитных пегматитов Изд-во АН СССР, 1962.

Ферсман А.Ф. Пегматиты, т. I. Изд-во АН СССР, 1940.

Филиппова Л.И. Новый парагенетический тип тантал-цезиевых пегматитов. — Докл. АН СССР, 1970, вып. 197, №5.

Ouensel P., Minerals of the Varuträsk pegmatite XIII. Pollucite, its vein material und alteration products. — Geol. fören. i Stockholm förhandl 1938, 60, N 415.

Wright C.M. Geology and origin of the pollucite - bearing Montgary Pegmatite, Manitoba. The Geological society of America Bulletin, 1963.

Д.А.Минеев,
М.Е.Салье

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИИ УЛЬТРАМЕТАМОРФОГЕННЫХ СЛЮДОНОСНЫХ ПЕГМАТИТОВ СЕВЕРНОЙ КАРЕЛИИ

До последнего времени в литературе практически отсутствовали достоверные сведения о содержании редких элементов в докембрийских слюдоносных гранитных пегматитах. Между тем, имеющиеся отрывочные данные, базирующиеся на анализе небольшого числа частных проб (Ляхович, 1963, 1967), позволяли поставить под сомнение утверждение А.Е.Ферсмана (1960) о том, что для данного типа пегматитов, как и для других, характерно повышенное содержание редких и радиоактивных элементов. Это утверждение основывалось по-преимуществу на визуальном минералогическом анализе пегматитов и на находках крупных кристаллов минералов редких элементов. Серьезным обстоятельством, затруднявшим более строгое исследование, являлось отсутствие достоверного валового опробования слюдоносных гранитных пегматитов. Авторам представилась возможность при решении этого вопроса в отношении слюдоносных пегматитов Северной Карелии воспользоваться представительными средними пробами по некоторым пегматитовым телам, отобранными М.Е.Салье для изучения их валового химического состава.

При изучении валового химического состава по каждой опробуемой жиле отбирались частные пробы в количестве от 3 до 11. Отбор производился тремя методами: методом вычерпывания, бороздовым методом в жильном теле (по максимально возможной равномерной сетке) и точечным методом опробования штабелей. В целом по отдельным жилам количество отобранного материала колебалось от 160 до 2300 кг. Таким образом опробовано 14 жил и обработано 63 частных и 47 секционных проб (по зонам), которые и были химически анализированы.

Валовый химический состав каждой из 14 пегматитовых жил был вычислен как резнезвешенные по мощности жил в участках отбора частных проб. Средние пробы десяти из них, составленные таким образом, были дополнительно проанализированы на содержание щелочных элементов — Na, K, Li, Rb, Cs, а также на $\Sigma \text{TR}_2\text{O}_3$, ZrO_2 , Nb_2O_5 и Ta_2O_5 .

Краткая характеристика внутреннего строения и химизма изученных пегматитовых жил

По минеральному составу и особенностям внутреннего строения пегматитовые жилы Северной Карелии подразделяются на три основных текстурно-парагенетических типа (фиг. I): I — плагиоклазовый и Ia — мусковит-плагиоклазовый, приуроченный главным образом к чупиной (верхней по разрезу) свите высокоглиноземистых гнейсов беломорской серии архея; II — мусковит-микроклин-плагиоклазовый, развитый в чупиной свите и в лоухской свите гранато-биотитовых и биотитовых гнейсов с прослоями амфиболитов; III — плагиоклаз-микрোকлинный тип жил, залегающих преимущественно в породах хеталамбинской свиты (биотитовые и амфибол-биотитовые гнейсы и амфиболиты).

Изученные типы пегматитовых жил обладают некоторыми общими чертами внутреннего строения, основными из которых являются наличие в них зональности и развитие в той или иной мере одних и тех же структур (табл. I). Каждый тип пегматитов представляет собой отдельное звено единой эволюционной цепи развития и в связи с этим между ними имеются все постепенные переходы.

Следует особо остановиться на характеристике жил 8а Карельского и жил 3 участка Будаиха. По своему минеральному составу (что подтверждается и химическими исследованиями) эти жилы относятся к мусковит-микроклин-плагиоклазовому типу жил. Однако обе эти жилы отличаются от окружающих их пегматитов по характеру взаимоотношений с вмещающими породами и по минеральному составу. Для них характерно широкое развитие в краевых зонах порфиробластической структуры, постепенные переходы к сильно микроклинизированным гнейсам, наличие пластичных "подворотов" гнейсов в контакте с пегматитовыми телами. В жиле 8а отмечаются значительные количества розового микроклина, отсутствующего в других пегматитах этого участка. Следует заметить, что присутствие розового микроклина в жилах, приуроченных к чупиной высокоглиноземистой свите гнейсов, наблюдается обычно в жилах, приуроченных к секущим зонам гранитизации. Для жил 3 участка Будаиха очень характерно наличие сильно деформированного эльчатого мусковита, не встречаемого в других пегматитах. Кроме того, здесь широко развит розетковидный мелкочешуйчатый желто-зеленый мусковит, которым нередко "залечены" сильно деформированные кристаллы турмалина.

I Плагноклазовый



II Мусковит - плагноклазовый



III Мусковит - микроклин - плагноклазовый



IV Плагно - микроклиновый



Фиг. I. Текстурно-парагенетические типы пегматитовых жил Северной карелии. Соотношение основных текстурных единиц.

I - краевая плагноклазовая зона аплитовой, ортотектитовой и крупно-стификационноподобной структур; 2 - боковая плагноклазовая зона графической и неапографической структур; 3 - промежуточная плагноклаз-микроклиновая зона; 4 - центральная зона мономинерального плагноклаза; 5 - отдельные блоки плагноклаза; 6 - промежуточная и центральная микроклиновые зоны графической структуры и мономинерального микроклин-пертита; 7 - кварцевое "ядро"; 8 - участки и зоны развития апографических структур; 9 - кварц-мусковитовый метасоматит; 10 - кристаллы мусковита; 11 - жилы кварца.

Т а б л и ц а 1

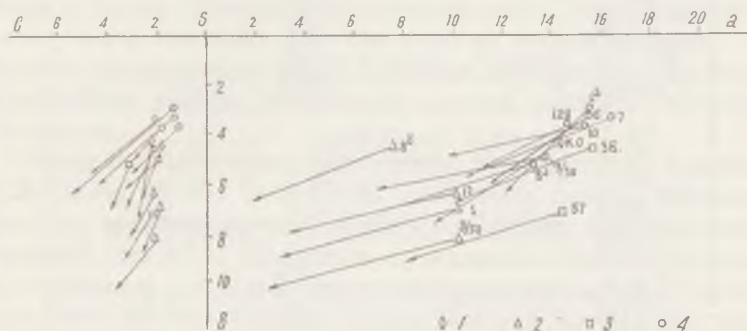
Главные типы перматитовых жил Северной Каселии

Примечание: Содержания редких элементов во II типе дано для особой разнообразности этих пегматитов.

Главные текстурно-парагенетические типы пегматитовых жил Северной Карелии отличаются и по химическому составу (табл.2):

а) минимальные значения щелочности "а" (по А.Н.Заварицкому) при максимальных величинах числовой характеристики "б" и соответственно глиноземистости (a^I) характерны для наиболее богатых мусковит-плаггиоклазовых жил (фиг.2). Числовые характеристики a^I и "б" достигают минимальных значений в плаггиоклаз-микроклиновых жилах, наиболее богатых микроклином и характеризующихся соответственно более высокой щелочностью;

б) возрастание щелочности связано с увеличением содержания K_2O , что подтверждается выполнением вектора в левой части диаграммы и одновременным уменьшением дополнительной числовой характеристики "n" от 72-65 (табл.2, мусковит-плаггиоклазовые жилы) до 51-44 (плаггиоклаз-микроклиновые жилы). По величине отношения Na_2O/K_2O (в весовых процентах) мусковит-плаггиоклазовые и плаггиоклаз-микроклиновые жилы резко разделяются на 2 группы (фиг.3). Для первых это отношение колеблется от 1,24 до 1,70, составляя в среднем 1,55, для вторых оно равно 0,54-0,73, а в среднем - 0,62. Промежуточное положение занимают мусковит-микроклин-плаггиоклазовые жилы. Характерно, что содержание Na_2O в обоих типах жил колеблется от 3 до 4% и общее увеличение щелочности происходит за счет увеличения количества K_2O .



Фиг.2. Диаграмма А.Н.Заварицкого для средних химических составов главных типов пегматитовых жил Северной Карелии

1 - существенно плаггиоклазовые жилы; 2 - мусковит-плаггиоклазовые; 3 - мусковит-микроклин-плаггиоклазовые; 4 - плаггиоклаз-микроклиновые. Цифры на фигуре - номера жил.

Таблица 2

Средний химический и минеральный состав¹ главных типов пегматитовых жил Чупинского района Северной Карелии

Типы пегматитов	Iа Мусковит-плагноклазовый				II Микро- клин-пла- гноклазо- вый (Карельский), жила 3-39	III Плагноклаз-микроклиновый				IV (особый) мусковит-микроклин- плагноклазовый		Междоулинные		
	Перти-ва- рака (Карельский), жила 8-86- 3/48	Малино- ва варака, жила I	Перти-ва- рака (Карельский), жила 3-50	Малино- ва варака, жила 17		Лето-Лам- бино жила 129	Лето-Лам- бино жила 6	Лето-Лам- бино жила 1а	Лето-Лам- бино жила 7	Перти-ва- рака (Карельский), жила 8а	Буденка, жила 3	Карменное озеро, жила I	Малиновка варака, жила 57	0-я Боль- шой Оке- ан, жи- ла 12
SiO ₂	80,35	75,20	73,49	74,25	71,63	72,42	73,12	70,07	70,07	70,71	70,19	72,44	68,52	70,57
TiO ₂	0,01	0,02	0,02	0,10	0,02	Сх.	—	—	0,01	0,04	0,02	—	0,11	0,04
Al ₂ O ₃	11,70	15,22	16,35	14,99	16,27	14,37	15,10	14,86	16,91	17,91	17,25	16,36	17,82	16,38
Fe ₂ O ₃	0,54	0,80	0,71	0,56	0,50	0,87	0,93	0,46	0,35	0,95	0,41	0,50	0,69	0,64
FeO	0,32	0,84	0,41	0,40	0,52	0,62	0,29	0,41	0,51	0,38	0,57	0,30	0,68	0,67
MnO	—	Сх.	0,01	—	—	Сх.	—	—	0,01	—	0,01	—	Сх.	0,02
MgO	0,66	0,48	0,56	0,67	0,40	0,48	0,58	0,59	0,45	0,60	0,64	0,89	0,83	0,33
CaO	1,97	1,67	1,84	1,81	1,69	0,95	1,19	1,15	1,66	2,64	1,77	1,88	1,83	1,46
Na ₂ O	2,63	3,58	3,45	3,21	3,09	3,54	3,43	3,38	3,29	4,19	4,81	5,74	3,48	3,62
K ₂ O	1,55	2,08	2,18	2,58	5,04	5,18	5,82	5,98	6,29	2,94	3,36	1,62	4,88	6,05
H ₂ O ⁺	0,06	0,09	0,24	0,19	0,09	0,04	0,18	0,04	0,05	0,20	0,04	0,20	0,15	0,06
л.п.п.	0,62	0,99	1,92	1,48	0,71	0,41	0,53	0,54	0,51	0,74	0,66	0,89	0,86	0,43
Сумма	100,41	100,42	100,48	100,18	99,96	99,89	100,42	100,48	100,21	100,59	100,36	100,82	99,80	100,22
Аналитики	В.Е. Заво- лова, З.К. Суль- фикарова	В.Д. Бут- рова, В.Е. Заво- лова	В.Д. Бутрова	В.Д. Бутрова, З.К. Сульф- карова	В.Д. Бутрова, З.К. Сульф- карова	З.К. Суль- фикарова	В.Е. За- велова	З.К. Суль- фикарова	В.Д. Бут- рова	З.К. Суль- фикарова	В.Д. Бут- рова, В.Е. Заво- лова	З.К. Суль- фикарова	В.Е. Ермо- лаева, З.К. Суль- фикарова	З.К. Суль- фикарова
Альбит	24,3	32,3	31,5	29,7	28,2	32,0	30,8	30,2	30,5	37,8	42,5	49,8	31,5	32,7
Анортит	10,0	8,5	9,3	9,2	8,5	4,8	5,8	5,5	8,3	13,2	8,8	9,7	9,3	7,3
Микроклин	1,5	—	—	4,8	21,2	25,7	30,6	31,5	31,8	9,7	15,2	2,8	16,5	31,5
Кварц	52,0	40,4	38,2	39,4	28,5	28,7	25,8	26,1	20,9	26,7	21,7	26,0	23,9	21,1
Мусковит	8,4	15,3	15,6	13,5	10,5	4,7	4,0	3,0	5,4	8,7	7,7	6,8	13,5	4,2
Биотит	3,1	2,5	3,1	3,2	2,6	3,1	2,0	3,2	2,6	2,9	3,6	4,2	4,6	2,5
Дистен	—	0,2	1,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Меллитит	0,7	0,8	0,7	0,7	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7
Основность плагноклаза	29	21	23	24	28	13	16	16	21	26	17	16	23	18
Число част- ных проб и их общий вес в кг. (в ско- бках)	9(400)	7(2310)	11(500)	6(1180)	4(1050)	4(1670)	5(990)	7(1960)	3(500)	4(160)	5(2050)	6(270)	3(180)	4(230)

¹ Средний химический состав рассчитан на основании химических анализов чистых проб. Минеральный состав рассчитан по нормативно-молекулярному методу П.Н.Галла.

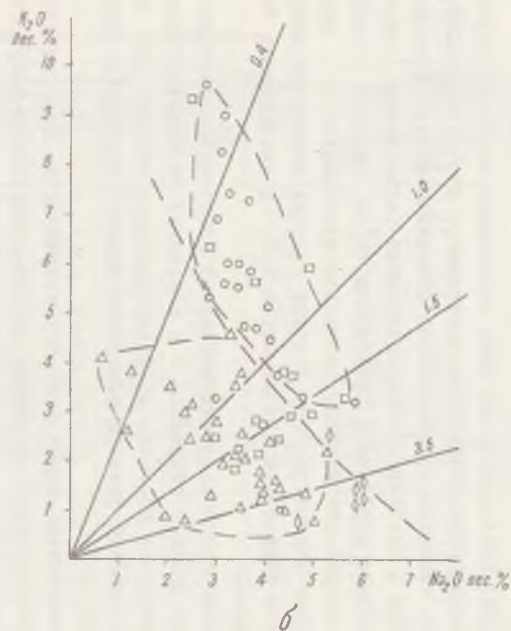
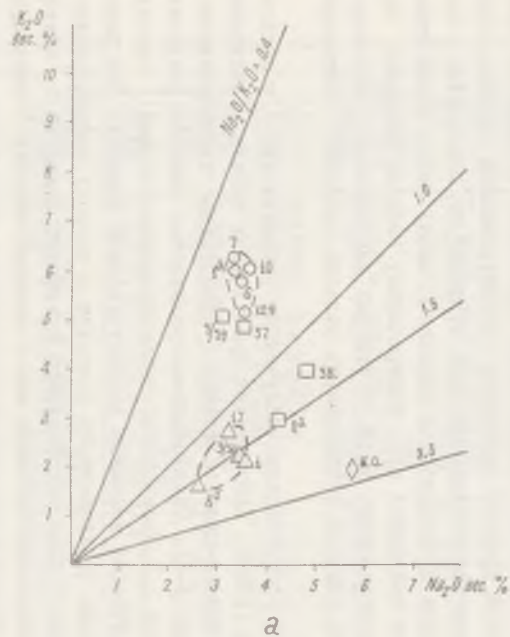
Таким образом, мусковит-плагноклазовые, микроклин-плагноклазовые и плагноклаз-микроклиновые пегматитовые жилы петрохимически образуют единый ряд, отражающий увеличение содержания в них K_2O .

Существенно плагноклазовые жилы составляют особую группу, для которой характерно повышенное содержание Na_2O ($Na_2O/K_2O=3,5$). Петрохимически занимают промежуточное положение между мусковит-плагноклазовыми и плагноклаз-микроклиновыми пегматитами: первые значительно больше пересыщены глиноземом (a^I) и содержат меньше щелочей (a), а вторые значительно обогащены щелочами (a) и имеют меньшее значение параметра " b ". В обоих случаях изменение щелочности связано с возрастанием количества K_2O и уменьшением Na_2O (см. табл. 2, фиг. 3).

Наблюдаемые закономерности изменения химического состава пегматитовых жил находят отражение и в изменении их количественного минералогического состава, особенно наглядно видного при нанесении их на тройную фазовую диаграмму альбит-(олигоклаз)-ортоклаз-кварц (фиг. 4-I).

Мусковит-плагноклазовые жилы характеризуются пересыщенностью кварцем относительно эвтектики альбит-(олигоклаз)-кварц, тогда как плагноклаз-микроклиновые жилы недосыщены кварцем по сравнению с составом тройной эвтектики рассматриваемой системы. Мусковит-микроклин-плагноклазовые жилы занимают по содержанию микроклина и кварца промежуточное положение между этими двумя типами жил. Особое положение и по минеральному составу занимает существенно плагноклазовые жилы, в которых наблюдается некоторая недосыщенность кварцем относительно состава двойной эвтектики альбит-кварц.

Интересно сопоставление полученных результатов с данными А.Н. Лабунцова (1939). Наблюдается практически полное совпадение данных для мусковит-плагноклазовых и существенно плагноклазовых пегматитов (фиг. 4-II). Плагноклаз-микроклиновые жилы, по результатам, полученным А.Н. Лабунцовым, также обеднены кварцем относительно котектических составов рассматриваемой системы. Это выражается в сильном отклонении их составов в сторону кварц-ортоклазовой эвтектики и поля устойчивости калиевого полевого шпата. Существенно микроклиновые жилы еще в большей степени обогащены микроклином. Только микроклин-плагноклазовые жилы имеют состав, соответствующий котектическим соотношениям альбита-ортоклаза-кварца.



Фиг. 3. Отношение $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ в главных типах
пегматитовых жил
а - средние составы, б - частные пробы, (обозначения см. фиг. 2).



Фиг. 4. Средний состав пегматитов Северной Карелии, нанесенный на диаграмму равновесия $Ab-Kfs-Qu$ (Tuttle, Bowen, 1952).

I — по данным М.Е.Салье, II — по данным А.Н.Лабунцова (1939).
I — 4 — см. обозначения к фиг. 2; 5 — существенно микроклиновые жилы.

Расхождение данных для плагиоклаз-микроклиновых жил объясняется, вероятно, тем, что количественно-минералогические подсчеты проводились А.Н.Лабуновым только на поверхности жил и в связи с этим полученные результаты не учитывают изменения их минерального состава по вертикали. В то же время широко известен факт обогащения верхних горизонтов пегматитовых жил Северной Карелии микроклином.

Сопоставление данных А.Н.Лабунова с нашими материалами выявляет, помимо полного сходства составов двух типов жил, основную тенденцию, выражающуюся во все большем отклонении состава жил от котектических соотношений плагиоклаза, микроклина и кварца по мере увеличения содержания микроклина.

Следует отметить, что в общем составы изученных типов жил, по нашим данным и по данным А.Н.Лабунова, не отвечают (строго) эвтектическим и котектическим соотношениям полевых шпатов и кварца тройной системы. Характерно также, что при наличии котектических соотношений альбита-ортоклаза-кварца в отдельных жилах, составы их располагаются вне области минимальных температур плавления, отклоняясь от нее в сторону обогащения калиевым полевым шпатом.

Содержание щелочных и редких элементов

В десяти средних пробах, представляющих 10 крупных пегматитовых тел разного состава, было определено содержание семи редких элементов и двух важнейших щелочных металлов — Na и K. Распределение Na и K чрезвычайно различно. В то время как содержание Na меняется мало и в среднем почти не отличается от кларка для гранитоидов (табл.3), содержание калия испытывает четырехкратное колебание, в среднем снижаясь примерно на 20% против кларкового. Содержание Na существенно преобладает над содержанием K в плагиоклазовых и в жилах 8а Карельского и 3 Будахи (пробы I, 9, 10); содержание K особенно мало в плагиоклазовых и мусковит-плагиоклазовых жилах и необычайно возрастает в плагиоклаз-микроклиновых (6-8).

Редкие щелочи — Li, Rb, Cs — ведут себя весьма не одинаково. Содержание Li в средних составах жил варьирует мало—0,001—0,002%.

Т а б л и ц а 3

Результаты анализа проб по пегматитовым жилам Северной Карелии (%)

Тип жила	Район и номер жилы	Na	K	Li	Rb	Cs	ΣTR	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅
I	Карманное озеро, жилы Ia, Ib, Iv	4,25	1,34	0,002	0,006	0,002	0,005	0,008	Сл.	Не обн.
Ia	Малиновая верака, жила I	2,6I	1,73	0,002	0,006	0,002	0,0I	0,004	Не обн.	"
	" жила I7	2,38	2,14	0,002	0,008	0,002	0,0I6	0,003	"	"
	Карельский, жила 3/50	2,55	1,8I	0,00I	0,0I4	0,02	0,0I3	0,007	0,00I	Сл.
	" жила 8	1,95	1,29	0,00I	0,005	0,002	0,0I	0,005	Не обн.	Не обн.
II	Хето-Ламбяно, жила I29	2,62	4,30	0,00I	0,0I4	0,003	0,005	0,008	0,00I	Сл.
	" жила 6	2,54	4,83	0,00I	0,009	0,002	0,0I	0,006	Не обн.	Не обн.
	" жила Ia	2,46	4,96	0,002	0,027	0,002	0,005	0,006	Сл.	"
II (особый)	Карельский, жила 8a	3,10	2,44	0,002	0,006	0,002	0,0I3	0,005	"	"
	Буданха, жила 3	3,56	3,29	0,002	0,0I3	0,002	0,0I	0,006	"	Сл.
	Среднее из десяти анализов	2,80	2,8I	0,00I6	0,0II	0,002	0,0I	0,006	Сл. (0,00I)	Не обн. (0,003)
	Кларк для кислых пород (по Виноградову, 1952)	2,77	3,34	0,004	0,002	0,0005	0,03	0,02	0,002	0,0003
	Коэффициент изменения содержания по сравнению с кларком	1,0	0,8	0,4	0,5	4,0	0,3	0,3	0,5	-

Примечание: определение содержания щелочных элементов выполнено методом фотометрии пламени Е.А.Фабриковой; редких земель и циркония - весовым методом, В.Б.Архангельской; ниобия и тантала - колориметрическим методом, З.А.Родионовой.

По данным Г.П.Сафроновой, 1967, содержание Li в пробах меняется в широких пределах: $0,0003-0,0019\%$ и зависит от соотношения минералов-концентраторов (мусковит содержит до 72% , плагиоклаз. — до 45% всего Li) и минералов, практически не содержащих Li (кварц) или содержащих в незначительном количестве (микроклин). Пегматитовые жилы в среднем обеднены Li более чем вдвое против кларка для гранитов. Содержание Ca в среднем в пегматитовых жилах вчетверо больше кларка.

Содержание Rb в целом находится в прямой зависимости от содержания K (фиг.5). Отношения K/Rb в средних составах пегматитовых жил укладываются в пределы разброса, установленные для пород Земли и метеоритов, и колеблются около средней величины, полученной Аренсом (Ahrens et al., 1952). Наши данные хорошо согласуются с результатами Г.П.Сафроновой¹. По данным И.Д.Рябчикова и Б.А.Соловьевой (1961), во вмещающих породах — гнейсах и амфиболитах — отношение K/Rb также укладывается в приведенные на фиг.5 пределы разброса. Сравнение с кларковыми значениями для кислых пород показывает, что в процессе образования слитноносных пегматитов не происходит накопления Rb относительно K и содержание Rb вдвое понижено против кларкового.

Весовым химическим анализом (аналитик Б.Н.Архангельская, ИМГРЭ) установлено довольно постоянное низкое среднее содержание Zr и TR в опробованных пегматитовых телах ($0,006 \pm 0,002\%$ ZrO_2 и $0,01 \pm 0,005\%$ TR). Эти средние содержания примерно в три раза ниже кларка для гранитоидов ($0,02\%$ Zr и $0,03\%$ $TR + Y$) (Виноградов, 1962). Особенно низким содержанием ZrO_2 (до $0,003\%$) отличаются мусковит-плагиоклазовые жилы. Содержание TR_2O_3 в плагиоклаз-микроклиновых и плагиоклазовых жилах в общем несколько ниже, чем в других типах жил (до $0,005\%$ Zr).

Среднее содержание Nb_2O_5 лишь в двух пегматитовых телах достигает $0,001\%$ (Карельский, жила 3/50; Хето-Ламбино, жила 129), и только здесь обнаружены незначительные следы Ta_2O_5 ($\sim 0,000m\%$). Следы Nb_2O_5 и Ta_2O_5 обнаружены в средней пробе пегматитовой жилы 3 Будаиха. В остальных пробах содержание Nb_2O_5 и Ta_2O_5 ниже предела чувствительности колориметрического метода ($< 0,001\%$). Ta_2O_5 вообще больше нигде не обнаружен, а присутствие Nb_2O_5 (незначительные следы) чувствуется в пробах пегматитов оз.Карманного (жи-

¹ По данным Г.П.Сафроновой содержание Rb в валовых пробах пегматитовых жил равно $0,013\%$.

ла I), Хето-Ламбино (жила Ia) и Карельского (жила 8a). Таким образом, содержание Nb (видимо, и Ta) в изученных пегматитовых жилах Северной Карелии также значительно ниже кларка, установленного для кислых пород (0,002%).

Соотношение лантаноидов

В 9 из 10 проб удалось с помощью рентгено-спектрального анализа исследовать соотношение лантаноидов. В целом оно довольно постоянно и мало отличается от кларкового. В среднем можно говорить о примерно 20%-ном фракционировании $P3Z^{Ic}$ с относительным накоплением против кларка промежуточных лантаноидов (Sm, Gd, Dy, Er) за счет наиболее легких La и Ce и наиболее тяжелого - Yb. Отсутствие в ряде случаев соответствия между поведением соседних четных и нечетных P3Z скорее связано с некоторой экспериментальной ошибкой, обусловленной гораздо более низким содержанием нечетных P3Z (табл.4).

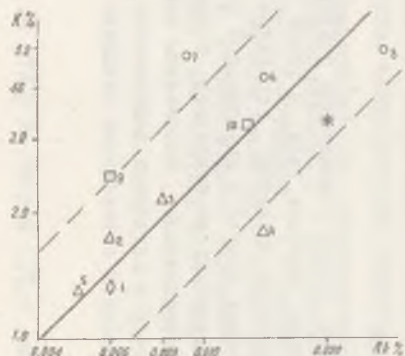
Существенное относительное накопление промежуточных лантаноидов (Sm, Gd, Dy) в монацитах и ортитах уже давно считается специфической геохимической особенностью пегматитов Сев.Карелии (Вайнштейн и др., 1956). Спределенное соответствие между составом лантаноидов в пегматитах и в их важнейших акцессорных минералах здесь очевидно и, по-видимому, закономерно. На диаграмме (фиг.6) видно небольшое суммарное $\sim 10\%$ - ное накопление тяжелых P3Z в пегматитах Сев.Карелии по сравнению с кларком земной коры. Диапазон колебания вокруг среднего состава P3Z в разнотипных пегматитах совпадает, что указывает на независимость этих колебаний от типа пегматита. Лишь в пегматитовой жиле Будаиха (проба 10) отмечается весьма существенное накопление тяжелых (иттриевых) P3Z. К сожалению, нам не известен состав лантаноидов во вмещающих метаморфических породах; если он совпадает с кларковым, небольшое накопление иттриевых P3Z при существенной ($\sim 70\%$) потере ΣTR может указывать на преимущественный вынос наиболее легких P3Z, особенно при формировании жилы Будаиха.

^I P3Z - редкоземельные элементы.

Т а б л и ц а 4

Состав редких земель в пегматитах Северной Карелии

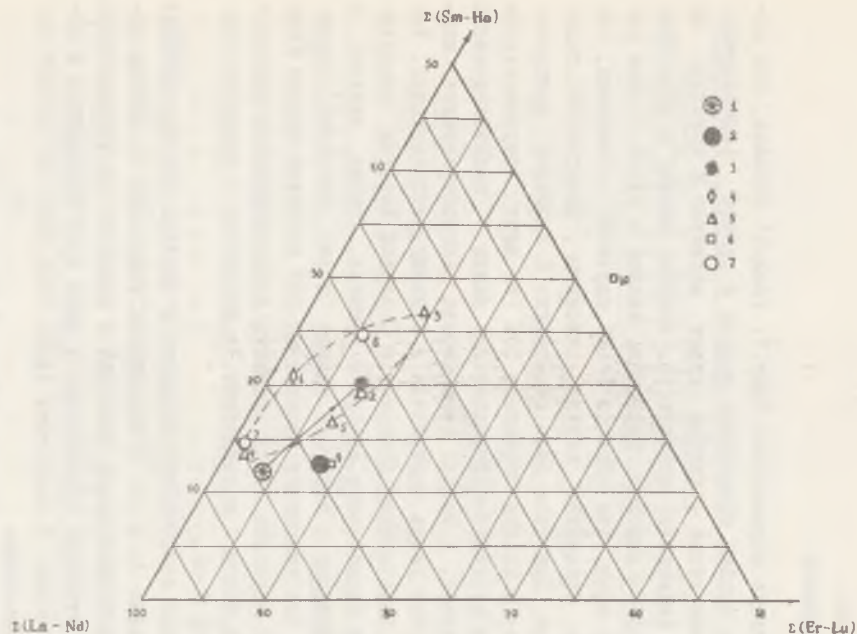
Тип жил	Район и номер жилы	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu
I	Карманное озеро, жилы Ia, Ib, Ic	18,4	31,6	5,3	21,1	7,9	-	10,5	-	2,6	-	2,6	-	-	-
Ia	Малиновая варака, жила № I	16,7	31,0	9,5	16,7	7,1	-	2,4	-	7,1	2,4	4,7	-	2,4	-
	" жила № I7	12,7	34,2	3,8	15,2	7,6	-	10,1	-	5,1	2,5	3,8	1,3	2,5	1,3
	Карельский, жила 3/50	19,0	38,9	6,3	19,9	7,2	0,9	2,7	-	2,7	0,5	1,8	-	-	-
	" жила 8	17,3	33,3	8,0	18,7	5,3	-	2,7	-	5,3	2,7	4,0	0,6	2,0	-
II	Хето-Ламбиво, жила I29	12,9	35,6	4,9	16,9	8,9	0,5	7,9	0,5	5,0	0,9	3,9	-	2,0	-
	" жила 6	19,6	39,2	6,3	18,7	6,3	-	3,6	-	2,7	0,9	1,8	-	0,9	-
II (особый)	Карельский, жила 8a	16,4	38,1	5,2	18,7	5,8	1,5	3,7	-	2,9	0,7	2,9	-	3,7	0,7
	Будамха, жила 3	7,1	23,2	5,4	10,7	7,1	-	8,9	-	8,9	5,4	7,1	3,6	8,9	3,6
	Среднее из девяти анализов	15,5	33,7	6,1	17,3	6,9	0,3	5,8	0,1	4,7	1,8	3,6	0,6	2,6	0,6
	Кларк для гранитоидов СССР (по Ляховичу, 1967)	16,7	40,5	5,7	16,7	3,3	0,4	4,1	0,7	3,3	1,0	2,7	0,5	3,8	0,6
	Коэффициент изменения содержания по сравнению с кларком	0,9	0,8	1,1	1,0	2,1	0,8	1,4	0,2	1,4	1,8	1,3	1,2	0,7	1,0



Фиг. 5. Соотношение К и Rb
в средних составах жиг

1 - прямая отношений $K/Rb=240$;
2 - пределы разброса, полученные
Л.Х.Аренсом и др. для пород Земли и
метеоритов (Ahrens et al., 1952). 3 -
номера соответствуют номерам проб в
табл. 3.

Обозначения на фиг. 5 см. фиг.2.
Звездочка - кларк для кислых пород
(по Виноградову, 1962).



Фиг.6. Соотношение лантаноидов в пегматитах
Северной Карелии

1 - кларк земной коры (Навкин et al., 1966); 2 - среднее для
гранитоидов СССР (Ляхович, 1967); 3 - среднее для пегматитов Се-
верной Карелии; 4 - плагиоклазовые, 5 - мусковит-плагиоклазовые,
6 - микроклин-плагиоклазовые (особые), 7 - плагиоклаз-микрокли-
новые жигн. Номера на диаграмме соответствуют номерам проб в та-
блице 4.

Распространенность акцессорных минералов

Анализ состава акцессориев (фиг.7, табл.5) показал, что абсолютно во всех пробах обнаружены апатит и гранат (спессартин-альмандин), почти везде — циркон, пирит, магнетит и монацит; от 50 до 90% проб содержали, кроме того, эпидот, кианит и пирротин; от 25 до 40% проб — лимонит, турмалин, анатаз и рутил. Крайне редко встречается офен, еще реже (в 5-10% случаев) — коенотим, ортит, Та-ниобаты, ставролит, корунд, окислы Mn, халькопирит, галеит и молибденит. При этом лишь содержание 6 наиболее распространенных минералов иногда превышает 10% (от веса искусственного шлиха) — чаще в мусковит-плагиоклазовых жилах полевошпатового рудника Карельского, и только повсеместно распространенные апатит и гранат почти везде содержатся в больших концентрациях. Таким образом, в олигодонских пегматитах Северной Карелии преобладают кальциевые акцессорные минералы (апатит, гранат, эпидот), а также циркон, монацит и минералы железа (пирит, магнетит, пирротин). Понятно, что основными носителями РЗЭ являются первые 5 минералов, причем цериевые РЗЭ в основном концентрируются апатитом (содержит 0,1-1,0% ΣTR) и монацитом, а иттриевые — гранатом и цирконом (0,4-1,6% ΣTR).

Повсеместное присутствие монацита и циркона при чрезвычайно низких содержаниях Zr и TR в пегматитах указывает на крайне высокую степень дифференциации вещества в процессе их формирования.

Интересно отметить присутствие в ряде проб гиперстена и моноклиновых пироксенов. В настоящее время этот факт не находит себе должного объяснения.

Обсуждение и выводы

И. А.Е.Ферман, давая определение понятия пегматит назвал гранитным пегматитом "хилное тело, в своей основе связанное с магматическим гранитным остатком", характеризующееся "сходством минеральных составных частей с материнской породой, значительной величиной кристаллических индивидуумов, большей или меньшей одновременностью кристаллизации, повышенным содержанием некоторых определенных летучих и подвижных компонентов, а также накоплением рассеянных элементов остаточного расплава" (Ферман, Пегматиты, стр.32)¹.

¹ В Избр.трудах, т.УІ, Изд-во АН СССР, М., 1960.

ТИП ЖИЛ	ЖЖ жилы	ЖЖ пробы	Халькопирит	Пирит	Пирротин	Галенит	Молибденит	Магнетит	Лимонит	Оксислы Мп	Гиперстен	М-пироксен	Ром. амфибол	Рог. обманка	Слюда	Гранат	Турмалин	Апатит	Ортит	Моноцит	Ксенотим	Тантал- Nb	Сфен	Лейкоксен	Циркон	Колунд	Рутил	Анагез	Кианит	Эпидот	Ставролит
Ia	МВ	6		○	●			•				•		○	○	○	○	○		•					○				○	•	•
	Ж17	7		○	○			•						•	○	○	•	○	○					○						○	•
		26		○				•			○	○			•	○	•	○	○	○				○							
	Кар	28		○	•			•	○		○	○			•	○	•	○	○	○				○					•	•	
	Ж8 ^б	32		○	○									○	○	○	○	○	○	○	○	○		○							
		33		○				•							○	○	○	○	○	○	○	○	○		○						
		19		○				•					•	○	○	○	•	○	○	○	○			•	○	○	○	○	○	○	
	Кар.	21		○	•			•			○	○		•	○	○	•	○	○	•	•			○		○			•		
	Ж17/50	22		○	○	•	•	•	•					•	○	○		○	○	○	○			○					•	•	
	23		○	○			•						○	○	○	○	○	○	○	○			○				○	○	•		
III	ХЛ	9		○										○	○	○	•	○						○							○
	Ж1а	11		○				•		○				○	○	○		○	○	○	•			○		○					
	ХЛ	13		•				○	○		•			○	○	○		○	○				○				○	•	•	○	
	Ж5	15		○				•	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○			○		○				•	○	
II ОСОБЫЙ	Буд.	16		○				•	○					○	○	○	○	○			•						○			○	○
	Ж3	18		○	•	○		•	○					•	○	○	○	○	•	•			○	○	○		•		•	○	
	Кар.	25		○				•	○					○	○	○	○	○		•				○			•		•	○	
	Ж8 ^а	30		○				•	•					○	○	•	○							○					•	○	
I	к.о.	35						•		○	○			○	○	○	•	○		○				•						○	
	Ж1 ^а	38		○				•	○	○				○	○	○	○	○	○	○				○			○				

• / ○ 2 ⊙ 3

Фиг.7. Минеральный состав искусственных шлихов по пегматитовым жилам Северной Карелии.

Тип жил: I – плагиоклазовый, Ia – мусковит-плагиоклазовый, II – мусковит-микроклин-плагиоклазовый, III – плагиоклаз-микроклинный. Содержание минералов (в процентах): I – редкие знаки; 2 – редкие знаки – 1,0%; 3 – залитая часть круга здесь составляет 6,25%. На рисунке приводятся, соответственно, интервалы содержаний каждого минерала: I – 6,25%; 6,25 – 12,5%; 12,5 – 25% и т.д.

Т а б л и ц а 5

Распространенность акцессорных минералов в мусковитовых пегматитах Северной Карелии

Минералы	Платино- клавовый		Мусковит-платиноклавовый										Платиноклав-микро- клавовый				Особый тип кля (мусковит- микроклав-платиноклавовый)				Встречаемость в пробах (в %)
	Карманное озеро	Малиновая вертика, кля 17	Карельский, кля 8				Карельский, кля 3/50				Хото-Ламбино				Карельский, кля 8а		Будайка, кля 5				
											кля 6		кля 1а								
Апатит	+	+	++	++	++	++	+	+	++	++	+	+	+	+	++	++	+	++	100		
Гранат	+	+	++	++	+	+	+	+	++	++	++	+	+	++	++	+	+	++	100		
Эпидот			+								+	+	+	+	++	+	+	+	65		
Сфен												+	+					+	15		
Циркон	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	95		
Моноцит	+	+	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	90		
Косновит							+							+				+	10		
Ортит																		+	10		
Та-ниобиты																	+	+	10		
Корунд											+								5		
Рутыл											+			+		+	+	+	25		
Апатит		+	+						+	+	+	+		+	+			+	35		
Турмалин	+		+				+		+	+					+		+	+	40		
Ставролит			+	+														+	10		
Кварц	+						+		+	+	+	+	+			+	+	+	55		
Магнетит	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	90		
Оксиды																		+	5		
Пирит	+	+	+	+	+	++	++	++	+	+	++	+	+	+	+	+	+	++	95		
Халькопирит														+					5		
Пирротин			++	+		+	+		++	+	+	+		+				+	50		
Галенит																		+	5		
Молибденит											+							+	5		
Лимонит	+					+						+	+		+	+	+	+	40		

При содержании в мусковитовом шликсе больше 10% - ++

до 10% - +

Пегматиты Сев. Карелии рассматривались А.Е.Ферманом, а затем и А.Н.Лабунцовым (1939), П.А.Борисовым (1954) и др. как типичные гранитные пегматиты, относящиеся по классификации А.Е.Фермана ко II (пегматиты с редкими элементами) и III (боро-фтористые или шерлово-чусковитовые пегматиты) типам. Между тем, многие геологические, петрологические и геохимические исследования указывают на то, что основные генетические и геохимические особенности слюдяносных архейских пегматитов не соответствуют большей части упомянутых в определении признаков.

2. Ряд ученых (Н.Г.Судовиков, Х.Рамберг, Т.Барт, Р.Г.Джанс, К.А.Шуркин и др.) отрицает непосредственную генетическую связь многих типов пегматитов с гранитными интрузиями и считает, что они могут образоваться в результате дифференциального плавления или атактоноса метаморфических пород. Такие пегматиты, как правило, связаны с высокометаморфизованными комплексами глубоких сечений щитов (Гренландия, Канада, Феноскандия). Как показывает совокупность имеющихся данных и, в особенности, исследования Д.А. Великославинского и Ю.М.Соколова (Соколов, 1965; Великославинский и др., 1968), для ультраметаморфогенных пегматитов характерна, прежде всего изофациальность с процессами метаморфизма, которая в Северной Карелии выражена, вероятно, в том, что свиты, в различной степени подвергшиеся процессам ультраметаморфизма (степень ультраметаморфизма увеличивается от пород чупинской свиты к породам керетской свиты), включают пегматиты различного состава. Недостаточная изученность в настоящее время процессов регионального метаморфизма пород беломорской серии архея не позволяет более определенно говорить о влиянии термодинамических условий метаморфизма вмещающих пород на состав пегматитов, однако закономерное изменение состава гранатов, установленное для этих пегматитов (Шуркин и др., 1962), подтверждает подобное предположение.

3. Пегматитовые жилы Северной Карелии, рассматривающиеся обычно как гранитные пегматиты, имеют состав, значительно отличающийся от эвтектических составов "гранитной" тройной системы $Ab-Kfspr-Qu$, которым должен соответствовать образующийся остаточный расплав гранитной магмы по А.Е.Ферману. Достаточно достоверно установлено отсутствие пространственной и генетической связи изученных пегматитов с определенными гранитными интрузиями. В то же время хорошо известна сформулированная впервые Г.Н.Бунтиным

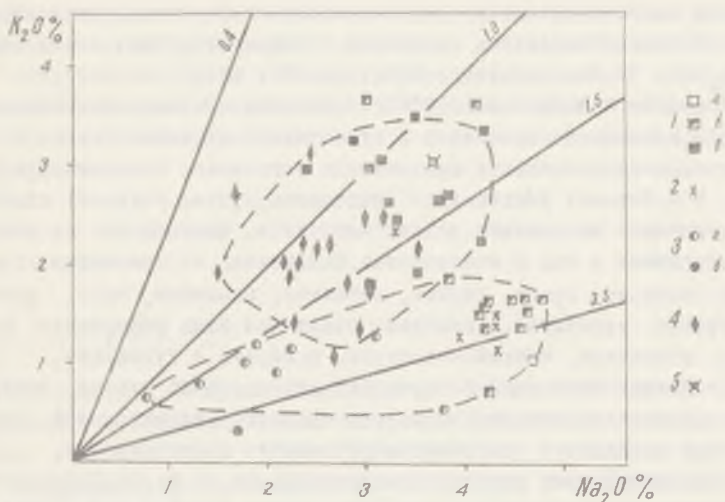
(Бунтин, 1940) зависимость состава (в частности, слюдоносности) пегматитовых жил Сев.Карелии от состава вмещающих пород. Пространственная связь слюдоносных жил с глиноземистыми гнейсами неоднократно подчеркивалась многими геологами. Этот факт в настоящее время имеет значение одного из важнейших поисковых критериев на слюдяные пегматиты. Следует заметить, что исследователи рассматривают зависимость именно слюдоносности тел от состава вмещающих пород и не затрагивают вопроса о валовом составе пегматитовых жил, то есть прежде всего о содержании в них плагиоклаза, микроклина и кварца.

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что изученные пегматитовые жилы не являются продуктом непосредственной кристаллизации селективного расплава, рождающегося в пределах данной толщи пород, а представляют собой сложные образования, в формировании которых большую роль играли процессы метасоматоза. Это подтверждается тем, что отношение $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ в гнейсах чупинской и хетоламбинской свит (фиг.8) и в расплаве, который мог возникнуть при анатексисе данных гнейсов (Winkler, von Platen, 1961), не соответствует наблюдаемому в пегматитовых жилах (табл.6).

Т а б л и ц а 6
Соотношение $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ в главных типах жил
и вмещающих породах

Тип жил	Отношение $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (вес.%)		
	в жилах	во вмещающих жилах породах	в расплаве, который может возникнуть при анатексисе пород с данным отношением $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$
Мусковит-плагиоклазовый	1,5	1,1	0,6
Плагиоклаз-микроклиновый	0,6	2,1-2,3	1,2

Резкое обогащение плагиоклаз-микроклиновых жил калием по сравнению с селективным расплавом, который мог бы здесь возникнуть, подтверждает высказанное ранее положение (Горюхов, Симонова, 1957; Шуркин, Салье, 1960; Шуркин и др., 1962) о метасоматической природе значительной части микроклина, развитого в этих пегматитах.



Фиг. 8. Диаграмма $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ для различных гнейсов беломорской серии архея

1 - биотитовые гнейсы: а) керетской, б) хетоламбинской, в) чупинской свиты; 2 - биотит-амфиболовые гнейсы хетоламбинской свиты; 3 - амфиболиты: а) хетоламбинской, б) чупинской свиты; 4 - глиноземистые (гранат-биотитовые, кванит-гранат-биотитовые, силлиманит-гранат-биотитовые и др.) гнейсы чупинской свиты; 5 - сильно мигматизированные (с развитием метасоматического микроклина по плагиоклазу) разновидности перечисленных гнейсов.

При составлении диаграммы использованы, помимо данных М.Е.Салье (Шуркин и др., 1962), данные Д.Т.Мишарева, А.С.Амеландова, Л.И.Захарченко, В.С.Смирновой (Мишарев и др., 1960)

Установленное пониженное по сравнению с кларком среднее содержание калия в мусковит-плагиоклазовых жилах и повышенное - в плагиоклаз-микроклиновых жилах при абсолютном кларковом содержании Na, еще раз подтверждает заключение (Шуркин и др., 1962) об инертности Na_2O и определяющей роли K_2O в процессе формирования слюдonoсных гранитных пегматитов Северной Карелии.

4. Принято считать, что Zr, TR, U и Th наибольшим распространением пользуются в более ранних олигоклазовых и олигоклаз-микроклиновых пегматитах и лишь эпизодически наблюдаются в микроклиновых и микроклин-альбитовых (Солодов, 1961). По данным Н.А.

Солодова, альбитизированные редкометалльные пегматиты промышленных типов обычно обогащены по сравнению с кларком другими металлами—Li, Be, Nb, Ta, Sn, а иногда и Rb, Cs, Tl, TR.

В работе В.В.Ляховича (1963) приводятся данные, свидетельствующие о меньшем по сравнению с гранитами содержании Li, Rb и Sr в олигоклаз-микроклиновых олигоносных пегматитах Западной Тувы и Урала. В.В.Ляхович убедительно продемонстрировал бедность подобных пегматитов минералами редких элементов, большинство из которых содержится в них в количествах, пониженных по сравнению с гранитами (монацит, ортит, циркон, магнетит, ильменит, офеит, флюорит, гранат, турмалин). Несколько увеличено лишь содержание монацита, коенотима, тантало-ниобатов, флюорита и турмалина.

По данным настоящей работы пониженное против кларка содержание редких и рассеянных элементов является отличительной особенностью пегматитов ультраметаморфогенного происхождения.

Содержание всех редких элементов (Li, Rb, TR, Zr, Nb, Ta) в древних архейских олигоносных пегматитах весьма низко и в 2-3 раза ниже кларков для кислых пород по А.П.Виноградову (1962).

Важной особенностью геохимии этих пегматитов является отсутствие каких-либо различий как в составе, так и в содержании РЗЭ и других редких элементов в жилах разного типа, о чем свидетельствуют также данные полуколичественного спектрального анализа и характер акцессорной минерализации. Это последнее является еще одним подтверждением того, что возникающий селективный расплав на ранних стадиях имел примерно один и тот же состав и пропитывал толщу в целом.

Установлено общее для всех жил незначительное относительное накопление промежуточных лантаноидов (Sm, Gd, Dy, Er) за счет La, Ce и Yb. Лишь Будайха несколько отличается от других тел пегматитов по соотношению РЗЭ, что находит свое объяснение в более позднем, по сравнению с другими пегматитами, образовании этой жилы и в сильном развитии здесь наложенных, вторичных процессов.

Таким образом, накопление щелочных и редких элементов в ультраметаморфогенных пегматитах связано лишь с наложением более поздних процессов и, возможно, связано выносу всех редких элементов с калием из глубоко метаморфизованных зон.

Обнаружение в таких пегматитах крупных кристаллов минералов редких элементов (монацит, ортит, циртолит, коенотим) свидетельствует лишь о высокой степени дифференциации вещества пегматитов, но

не дает основания для определения их как редкометалльных или редкоземельных, как это принято во многих работах. Здесь повсеместно встречаются циркон и монацит, хотя содержание Zr и TR_{Ce} много меньше кларка. Геохимическое определение должно базироваться на количественных геохимических, а не качественных минералогических данных.

ЛИТЕРАТУРА

Борисов П.А. Пегматиты докембрия Карелии и Кольского полуострова и их слюдоносность. Материалы Лаб.геол.докембрия, вып.2, 1954.

Бунтин Г.Н. О генезисе мусковитоносных пегматитов Северной Карелии. Зап.Лен.Гос.Ун-та, 1940, сер.геол.-почв.наук, вып.9.

Вайнштейн Э.Е., Тугаринов А.И., Туранская Н.В. О закономерностях в распределении редких земель в некоторых минералах.-Геохимия, 1956, № 2.

Великославинский Д.А., Соколов Ю.М., Глебовицкий В.А. Зональность прогрессивного регионального метаморфизма и металлогеническая специализация метаморфических зон. Межд.геол.конгр.ХХШ сессия. Докл.сов.геол., проблема 4, 1968.

Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия, 1962, № 7.

Горлов Н.В., Симонова Г.Ф. К вопросу о генезисе слюдоносных пегматитов северо-западного Беломорья. Зап.Всес.Мин.об., 1957, ч.86, вып.6.

Лабунцов А.Н. Пегматиты Северной Карелии и их минералы. Пегматиты СССР, т.П. Изд.АН СССР, 1939.

Ляхович В.В. О распределении Li, Rb и Sr в щельных породах, связанных с гранитоидами. Геохимия, 1963, № 7.

Ляхович В.В. Акцессорные минералы в гранитоидах СССР. "Наука", М., 1967.

Мишарев Д.Т., Амеляндов А.С., Захарченко Л.И., Смирнова В.С. Стратиграфия, тектоника и пегматитоносность Северо-Западного Беломорья. Тр.ВСГЕИ, 1960, нов.серия, т.31.

Рябчиков И.Д., Соловьева Б.А. К геохимии рубидия и лития в слюдonoсных пегматитах Северной Карелии. Геохимия, 1961, № 4.

Соколов Ю.М. Региональный метаморфизм и пегматитоносность мраморной серии водораздела рек Чуя-Большая Чуя (Северо-Байкальское нагорье). В сб. "Региональный метаморфизм докембрийский формаций СССР", Изд. "Наука", М., 1965.

Солодов Н.А. Главные промышленные типы редкометалльных пегматитов. Тр. Ин-та минер., геохим., кристаллохим. редк.эл. АН СССР, 1961, вып. 5.

Судовиков Н.Г. Материалы по петрологии Западного Беломорья (гранитизация пород Беломорья). Тр. Лен. Геол. упр., 1939, вып. 19.

Судовиков Н.Г. Мигматиты, их генезис и методика изучения (по материалам исследований в Карелии). Тр. Лаб. геол. докембрия, 1955, вып. 5.

Ферсман А.Е. Пегматиты, т. I. В избр. тр., т. VI. Изд-во АН СССР, 1960.

Шуркин К.А., Горлов Н.В., Салье М.Е., Дук В.Л., Никитин Ю.В. Беломорский комплекс Северной Карелии и юго-запада Кольского полуострова (геология и пегматитоносность). Тр. Лаб. геол. докембрия, 1962, вып. 14.

Шуркин К.А., Салье М.Е. Особенности химизма пегматитов Северной Карелии. - ДАН СССР, 1960, т. 131, № 4.

Ahrens L.H., Pinson W.H., Kearns M.M. Association of rubidium and potassium and their abundance in common igneous rocks and meteorites. Geochim. et cosmochim. acta, 1952, v. 2, N 4.

Haskin L.A., Frey F.A., Schmitt R.A., Smith R.H. Meteoritic, solar and terrestrial rare-earth distributions. Pergamon press. 1966.

Ramberg H. Pegmatites in west Greenland. Bull. of the geol. Soc. of Amer., 1956, v. 67, N 2.

Tuttle O.F., N.L. Bowen The system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 (synthetic granites). Carnegie inst. of Washington. 1952. Year Book, N 51.

Winkler H.G.F., H. von Platen. Experimentelle Gesteinsmetamorphose - V. Experimentelle anatektische Schmelzen und ihre petrogenetische Bedeutung. Geochim. et cosmochim. acta, 1961, v. 24, N 3/4.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
Д.Я. Айздердзис, А.П. Калита, Т.Н. Большакова. Геолого-петрохими- ческие особенности верхнепалеозойских пегма- титоносных гранитов Урала и вопросы взаимоот- ношений различных типов пегматитов с гранитами	4
Т.Н. Большакова, Д.Я. Айздерд- зис. Новые данные по минералогии и геохимии рубеллитоносных пегматитов Урала	24
А.П. Калита, Д.Я. Айздердзис, Т.Н. Большакова. Петрохимические особенности как критерий оценки на редкие ще- лочи пневматолитовых образований линии скреще- ния пегматитов	35
Ю.И. Филиппова. Геохимия редких эле- ментов в слабодифференцированных поллукитонос- ных пегматитах Сибири	
Д.А. Минеев, М.Е. Салье. Некоторые особенности геохимии ультраметаморфогенных слюдоносных пегматитов Северной Карелии	59

ПЕГМАТИТОВЫЕ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Выпуск 4

Утверждено к печати
Институтом минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов

Редакторы: Э.Э.Верник, О.А.Новиков

Подписано к печати 21 декабря 1971 г.
Т-20158. Заказ 77 Тираж 300.
5,2 л. Цена 36 коп.

Ротапринт ИМГРЭ

ИМЕЮТСЯ В ПРОДАЖЕ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ ИМГРЭ:

ПЕГМАТИТОВЫЕ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ.

Выпуск 1. Задачи исследований, принципы классификации и закономерности размещения. 4,1 л. 28 коп.

М.В.Кузьменко. Проблема пегматитов и ее задачи на современном этапе.

М.В.Кузьменко, А.П.Калита, Г.Б.Мелентьев, И.Б.Недумов, Ю.И.Филиппова. Геохимическая специализация и вопросы классификации редкометалльных гранитных пегматитов.

К.Л.Волочкович. Типы геоантиклизальных поднятий и связь с ними редкометалльных пегматитов.

Выпуск 2. Роль геологических факторов в формировании редкометалльных пегматитов и их геохимической специализации. 5,4 л. 37 коп.

И.Б.Недумов, Н.А.Акелин, И.П.Земская. Влияние региональных и локальных геологических факторов на формирование пегматитов и их редкометалльную специализацию (на примере одного из полей Средней Азии).

И.Б.Недумов, И.П.Земская. Пространственная зональность и вопросы генезиса низкотемпературных литиеносных пегматитовых полей.

Р.И.Павлов. Геолого-структурные особенности и условия размещения пегматитов Кетменчинского поля.

Выпуск 3. Новые данные по пегматитам Юга СССР. 5,9 л. 38 к.

Г.Б.Мелентьев, Е.А.Алексеева, Н.В.Бочкарева. О новых парагенетических типах петалитсодержащих пегматитов.

И.П.Земская, Н.А.Акелин, Н.С.Слепнева. Особенности распределения редких элементов в мусковитах сподуменосных пегматитов Юга СССР.

Г.Б.Мелентьев, Д.Я.Айздердзис, Г.Н.Попова. Минералогическая специализация и пространственная зональность одного из полей цезийсодержащих пегматитов Юга СССР.

Г.Б.Мелентьев, Д.Я.Айздердзис, В.В.Чебаненко. Редкометалльно-керамические пегматиты бериллиевого ряда и перспективы их комплексной эксплуатации.

13557



36 коп.