

К ТЕОРИИ ГЕНЕЗИСА ПЕГМАТИТОВ

Доц. В. Д. Никитин

Мощное развитие отечественной промышленности вызывает все возрастающую потребность во многих полезных ископаемых, основным источником которых являются пегматитовые месторождения.

Такие, например, полезные ископаемые как мусковит, полевые шпаты, руды ряда ценных металлов — лития, бериллия, частично ниобия, тантала, элементов группы редких земель и др., в основной своей массе извлекаются из пегматитовых месторождений. Промышленное значение пегматитовых тел непрерывно возрастает.

Пегматиты, кроме того, часто являются вместилищами многих редких минералов, а в некоторых случаях служат природными музеями прекрасных кристаллов, чем привлекают особое внимание минералогов. Своеобразие генезиса пегматитов давно интересовало также петрологов и геохимиков.

В явлениях пегматитообразования исследователи встречают едва ли не самый сложный процесс минералообразования, с которым можно сравнивать, пожалуй, только процесс скарнообразования.

При изучении пегматитов интересы петрологов и минералогов теснейшим образом переплетаются. В пегматитах явления, свидетельствующие об общих особенностях разнообразных процессов образования минералов и преобразования пород, слагающих жилы, проявлены с такой исключительной наглядностью и в таких, зачастую, громадных масштабах, которые в иных типах месторождений вообще неизвестны или обнаруживаются в гораздо менее ясной форме.

Естественно, что изучению пегматитовых месторождений, в том числе и слюдоносных пегматитов, уже многие десятилетия посвящается очень большое число самых разнообразных работ. Нет нужды напоминать здесь об истории развития знаний об этом чрезвычайно интересном типе месторождений после прекрасного обзора, приведенного в общеизвестной монографии по пегматитам А. Е. Ферсмана [49]. За последние 15 лет, прошедших после издания этой монографии, интерес к пегматитам еще более обострился.

К настоящему времени с большой полнотой изучены отдельные минералы подавляющего большинства пегматитовых полей, выявлены основные особенности условий залегания и характерные геологические черты пегматитовых месторождений.

Несмотря на это, даже самые основные вопросы процессов образования месторождений остаются еще далеко не разрешенными. Среди

большого круга геологов, исследующих месторождения пегматитов, существуют противоречивые мнения не только об общей теоретической трактовке генезиса пегматитов, но и о последовательности хода процессов формирования месторождений и образования в них тех или иных промышленно ценных минералов. Дискуссии подвергаются даже представления о самих путях возникновения этих минералов в жилах — являются ли они продуктом кристаллизации в свободных средах (в пегматитовом расплаве или растворе) или возникают в твердых породах пегматитовых жил метасоматическим путем.

Дискуссия о генезисе пегматитов давно уже перестала быть спором о чисто теоретических воззрениях на природу этих очень своеобразных месторождений, так как то или иное представление о генезисе пегматитов по-разному ориентирует проведение геологоразведочных и эксплуатационных работ на этих месторождениях.

Перед исследователями давно уже стоят важнейшие практические задачи: 1) расшифровка основных закономерностей распределения в жилах минеральных ассоциаций, являющихся объектами эксплуатации; 2) выяснение характера распространения оруденения на глубину жил и вероятности образования самих пегматитов на глубине в виде свиты сообщающихся между собою тел и возможности наличия в связи с этим слепых жил; 3) определение характера влияния вмещающих и подстилающих толщ на тип манерализации пегматитов.

Правильное решение всех этих вопросов необходимо для рационального проведения геологопоисковых, разведочных и эксплуатационных работ и возможно только в том случае, если верно будут поняты основные особенности процессов формирования месторождений.

Рассмотрим на примере слюдяных месторождений основные противоречия существующих взглядов на генезис пегматитов и то, каким образом эти взгляды ориентируют промышленные организации при решении перечисленных выше важнейших практических вопросов.

Все точки зрения исследователей на генезис пегматитов можно свести в три основные группы с различными второстепенными вариациями внутри каждой из них.

Гипотеза об образовании пегматитов из специфического магматического расплава

Согласно этой гипотезе, пегматиты являются продуктом длительной фракционной кристаллизации специфического так называемого «пегматитового» расплава, обогащенного, по сравнению с обычной гранитной магмой, значительным количеством растворенных летучих компонентов. Присутствие минерализаторов сообщает пегматитовому расплаву ряд специфических свойств, в частности, сильно снижает вязкость и тем облегчает диффузию компонентов. В результате создаются условия, благоприятные для роста крупных кристаллов разнообразных минералов.

Расплав этот внедрялся в трещины и полости вмещающих пород, где постепенно охлаждался и кристаллизовался в основном по типу замкнутой системы, без существенного привноса новых порций веществ. В процессе последовательного затвердевания расплава от контактов в глубь жилы происходил лишь некоторый обмен компонентами с вмещающими породами, а также между уже закристаллизовавшейся частью пегматита и остающейся еще жидкостью.

Эта точка зрения, высказанная в первой половине XIX столетия рядом французских [51, 54], а затем немецких, норвежских и американских исследователей, в наиболее общей форме была сформулирована

Бреггером в 1890 г. [52]. Эти взгляды вскоре стали чрезвычайно популярными среди геологов. Они увлекли в свое время и А. Е. Ферсмана. Затратив громадный труд на разработку вопросов генезиса пегматитов, А. Е. Ферсман довел эти представления до стройной законченной гипотезы, по праву названной его именем. В обзоре успехов изучения пегматитов гранитной магмы А. Е. Ферсман по этому поводу писал: «Если в первых изданиях анализ пегматитового процесса¹ приходилось строить в основном на исследованиях иностранных ученых (преимущественно шведских, норвежских, немецких, швейцарских и американских), то в настоящее время обосновать те же положения оказалось возможным на основе тех многочисленных исследовательских работ, которые были проведены за последние десять лет у нас в Советском Союзе» [48, стр. 7].

Огромная работа А. Е. Ферсмана и группы его сотрудников и ученых, направленная на сбор материалов, характеризующих минеральный состав пегматитов почти всех районов СССР, сыграла в свое время большую положительную роль, привлекая к этим месторождениям всеобщее внимание и тем способствуя их скорейшему промышленному освоению.

Гипотеза А. Е. Ферсмана нашла подтверждение в физико-химических построениях Фогта [65] и Ниггли [61], основанных, как известно, на допущении неограниченной растворимости летучих компонентов (в частности воды) в силикатном расплаве.

Гипотеза А. Е. Ферсмана о генезисе пегматитов господствовала среди советских геологов в течение почти трех десятилетий. Она популярна еще и в настоящее время.

Какие же особенности строения пегматитовых жил послужили причиной возникновения этой гипотезы о генезисе?

В начале изучения строения пегматитов, естественно, было обращено внимание на наиболее общие грубые черты сложения жил — их зональное строение. В очень многих пегматитах от контактов в глубь жил наблюдается правильная смена нескольких зон, состоящих из пород, обладающих разными структурами, а часто и различным парагенезисом минералов. Наличие зональной текстуры жил и привело геологов еще в прошлом столетии [51, 54 и др.] к мысли о том, что зоны этих пород образовались путем последовательной кристаллизации из жидкой массы. Так как состав гранитных пегматитов в общем оказался близким к составу гранита, то, естественно, возникло предположение о том, что эта жидкая масса была силикатным расплавом. Присутствие в пегматитах минералов, содержащих в своем составе типичные минерализаторы, как будто свидетельствовало о том, что этот расплав содержал повышенное (по сравнению с обычными магматическими породами) количество различных минерализаторов, как известно, способствующих кристаллизации. Становилась как будто понятной и причина возникновения столь типичных для пегматитов кристаллов громадных размеров.

О возникновении идеи и о наличии специфического «пегматитового расплава» хорошо писал А. Н. Заварицкий:

«Так как пегматиты, как показывают непосредственные наблюдения, являются поздними образованиями, связанными с кристаллизацией магматических пород, то, естественно, возникло представление, что при кристаллизации магмы летучие компоненты накапливаются в остатке. *Так логически, но не из прямых наблюдений* (подчеркнуто нами, В. Н.), подходим к представлению о пегматитовой магме, как об особо

¹ Речь идет об анализе пегматитового процесса, изложенного А. Е. Ферсманом в монографиях «Пегматиты гранитных магм». Изд. АН СССР, 1930, 1932.

обогащенном летучими остатке. Другой довод — обогащение пегматитов редкими минералами и редкими элементами, в образовании которых, как показывает другой ряд соображений, важное значение имеют летучие. Наконец, встречающиеся иногда в пегматитах занорыши (крипты, миаролы) рассматриваются даже как прямое указание на роль газов, выделявшихся при кристаллизации пегматитов» [14].

Раз возникнув, эта идея о генезисе пегматитов своей простотой и видимой логичностью увлекла исследователей, стала своего рода «*idea fix*», которой подчинялось все внимание работников, изучавших пегматиты в последующие годы.

Кстати, это сознавал и сам А. Е. Ферсман. Рассматривая успехи изучения пегматитов в СССР, он писал: «Ценность этих многочисленных работ заключается в том, что все они были проведены целеустремленно; *в них применялись для исследования процесса те же схемы, которые даны были в монографиях 1932 года* (подчеркнуто нами, В. Н.) и потому дали сравнимый между собой генетический и геохимический материал» [48, стр. 8].

А. Е. Ферсман и все исследователи, разделявшие его идеи, считали, что образование пегматитов является очень сложным процессом, протекающим в постепенно изменяющихся физико-химических условиях в зависимости от постепенного охлаждения расплава, и что в соответствии с изменением условий кристаллизации меняются парагенезисы образующихся минералов. Предполагалось, что при постепенном охлаждении первоначального «водоогненного пегматитового расплава» [49] и кристаллизации из него полевых шпатов и кварца, не включающих летучих компонентов, концентрация этих компонентов в остающейся еще жидкости все время возрастала и при понижении температуры расплав переходил во флюидный, а затем и в водный раствор. В соответствии с изменяющимися физико-химическими условиями кристаллизации минералов весь процесс формирования пегматитов А. Е. Ферсман разделил на несколько типичных периодов, назвав их «геофазами».

Согласно идее о последовательной кристаллизации из расплава, период образования минералов определялся местом их расположения в пегматитовом теле — размещением в тех или иных зонах жилы. Считалось, что минералы, слагающие приальбандные зоны, кристаллизовались первыми, а минералы, расположенные в центральных частях жил, последними.

Особенно подчеркнем, что под влиянием все той же над всем давящей идеи о кристаллизации минералов в свободной подвижной среде расплава исследователи принимали, в согласии со старинным принципом Розенбуша, степень идиоморфизма кристаллов за критерий последовательности возникновения минералов. Вполне идиоморфные кристаллы образовались раньше, чем кристаллы ксеноморфные по отношению к ним. Минералы, расположенные в одной и той же зоне и теснейшим образом переплетенные между собой, находящиеся как бы в сложном взаимном прорастании и этим напоминающие рисунок металлических сплавов эвтектической кристаллизации, рассматривались как минералы, возникшие из расплава одновременно. Так родилась мысль об эвтектической природе кристаллизации письменных гранитов. В 1915 г. А. Е. Ферсман произвел блестящий анализ закономерностей кристаллографической взаимной ориентировки срастающихся индивидов кварца и полевых шпатов в письменных гранитах и ввел понятие о взаимной индукции индивидов в период их совместного роста [47].

Общая схема процесса кристаллизации пегматитов, последовательность которого устанавливалась по только что перечисленным признакам, иллюстрируется табл. 1—2, где приведены схемы из работ А. Е. Ферсмана и других исследователей, разделявших его точку зрения.

Наряду с обрисованным путем кристаллизации основной массы минералов из расплава, А. Е. Ферсман допускал также и метасомати-

Таблица 1

Последовательность кристаллизации минералов из «пегматитового расплава» в жилах Карелии (по А. Е. Ферсману [50])

Геофазы	Магма- тич.	Эпимагматич.		Пневматолитическая				Гидротермалы		Гипер- ген.	Приме- чания
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L	
Температура	1000	800		600		500		400	250	100°	
Кварц				Серый	Белый	(Розовый)		Дымчатый			
Плагиоклаз и альбит											
Микроклин											
Пироксен и амфибол											
Сфен (титанит)											Влияние во- здушной среды
Биотит											
Уранинит				X (Гуммит)						X (Охра)	
Галенит											
Апатит											
Пирит и др. сульфиды									(?)		
Ортит (У-ортит)											Выветриван.
Цирконит								Андербергит		X	
Ксенотим											
Монацит											
Угlistый урановый ми- нерал											Гухолит
Гранат											
Магнетит											
Турмалин											
Мусковит											Опкозин
Жильбертит											
Каолинит											
Кальцит											
Ломонтит											
Малахит											
Гипс											
Скаполит											
Серицит											
Цоизит											

ческие явления при образовании некоторых минералов, особенно в конечных периодах формирования пегматитов, в так называемую «гидротермальную стадию». Предполагалось, что эти явления вызываются влиянием самих остатков жидкости — горячих растворов на уже твердую закристаллизовавшуюся массу жил (возникновение клевеландита, жильбертита, скаполита, сульфидов и пр.). Однако этим процессам приписывалась лишь второстепенная несущественная роль.

Выводы этой группы исследователей о том, что процесс формирования пегматитов является очень сложным, протекающим при изменяю-

щихся со временем физико-химических условиях, оказались справедливыми и находят все большее подтверждение. Однако главная идея этой гипотезы об образовании пегматитов путем фракционной кристаллизации расплава в замкнутой камере, идея о самой последовательности хода процессов становления их и о природе явлений минералообразования в жилах уже давно вызывала серьезные возражения.

Особенно наглядно видна несостоятельность рассматриваемой гипотезы на примере толкования ею процессов образования в пегматитах ценных руд редких металлов и слюд.

Таблица 2

Последовательность кристаллизации пегматитов
по Н. А. Лабунцову [23]

Температура	800	700	600	550	500	450	400	250	100°	
Фазы	A	B	C	D	E	F	G	H	K	L
Кварц										
Олигоклаз										
Микроклин										
Биотит		-								
Мусковит				---				Жильбертит		
Апатит		-								
Гранат		-								
Монацит		-								
Циртолит		-								
Карбуран			-							
Ксенотим				-						
Ортит		-								
Пирротин				-						
Пирит			-	-						
Халькопирит					-					
Молибденит				-						

В соответствии со своими общими взглядами на генезис пегматитов исследователи полагали, что и главная масса крупных промышленно-ценных кристаллов мусковита и редких рудных минералов образована в жилах также путем кристаллизации из расплава.

Недавно эти представления хорошо резюмировал известный знаток месторождений мусковита П. Н. Марков: «Образование крупных кристаллов мусковита в пегматитах... происходило в общем процессе последовательного застывания пегматитового расплава как остаточной части магматического (гранитного) очага соответствующего состава в условиях определенного температурного интервала. При общем одновременном внедрении массы пегматита и последовательном его застывании с постепенным понижением температуры (до 800, 700, 600° и т. д.) в остаточном расплаве увеличивается количество подвижных компо-

нентов (Н, ОН, F и др.). Эти компоненты при определенной температуре (650—450°), давлении и достаточном времени застывания обуславливают рост больших кристаллов, характерных для так называемых пегматоидных структур. Именно этот процесс застывания остаточного расплава и ведет к кристаллизации крупных минералов мусковита в парагенезисе с кварцем (темным, дымчатым) и калиевым полевым шпатом. Подобные взгляды высказаны в работах Сторрета, Обручева, Ниггли, Фогта, Ферсмана, Линдгрена, Гольдшмидта и других» [25].

Разберем последовательно основные выводы, вытекающие из гипотезы А. Е. Ферсмана об условиях, благоприятных для накопления промышленно ценных минералов в пегматитовых жилах.

1. Вопрос о природе факторов, определяющих закономерности размещения промышленно ценных минералов в различных породах, слагающих пегматитовые жилы. Мусковитовые пегматиты А. Е. Ферсман относил к «третьему типу (шерлово-мусковитных) гранитных пегматитов чистой линии» [49, стр. 169] и главное накопление мусковита из остаточного расплава полагал в «периоде геофазы D — кристаллизации пегматита, обладающего пегматоидной структурой.»

В соответствии с представлением о кристаллизации А. Е. Ферсман предполагал, что образование мусковита происходило в спокойных и выдержанных условиях, как и вообще всех ранних стадий кристаллизации пегматитового расплава. Допуская мысль о возможном нарушении этой плавной и спокойной кристаллизации, А. Е. Ферсман неоднократно подчеркивал, что такие нарушения являются исключением: «Однако ход процесса застывания идет в общем спокойно и за исключением геофаз F и G не дает резких скачков и повторных наложений, столь типичных, например, для рудных жил. В этом сказывается, конечно, влияние тех больших глубин, в которых идет относительно равномерное застывание остаточных гранитных масс» [49, стр. 430] и «прежде всего бросается в глаза, что наибольшая величина кристаллов свойственна геофазам D—E и отчасти F и G, т. е. всему флюидному полю, в котором кристаллизация идет очень спокойно, не происходит перемешивания или отщепления газовой фазы, когда стенки уже значительно нагреты и не вызывают особых токов к поверхностям охлаждения» [49, стр. 81].

Если мусковит, по мнению А. Е. Ферсмана, кристаллизовался из подвижного расплава, то на характере образования и расположения кристаллов слюды в пегматитовом теле (так же как и других промышленно ценных минералов) ни в какой мере, конечно, не могут сказаться тектонические условия формирования жил. По этой же причине вообще весь процесс формирования пегматитовых тел, по А. Е. Ферсману, не ставился в какую-либо зависимость от тектонических факторов. Не случайно в своей известной монографии [49] А. Е. Ферсман, подробно излагая представления о генезисе пегматитов, почти ничего не говорит о влиянии тектонических факторов на процесс формирования пегматитов. Он рассматривал эти факторы только как причины, обусловившие возникновение полостей, занятых затем пегматитовым расплавом и в исключительных случаях вызвавших повторные внедрения новых порций пегматитового расплава в уже раскристаллизованные твердые массы пегматитовых тел.

Наряду с этим основным способом образования крупнокристаллического мусковита из расплава А. Е. Ферсман допускал также метасоматический, но приписывал ему подчиненное значение (возникновение главным образом таких разновидностей, как зеленчатые мелколистчатые мусковиты и мелкочешуйчатые жильбертиты).

Итак, по гипотезе А. Е. Ферсмана:

а) крупные кристаллы промышленно ценного мусковита, а также и других промышленно ценных минералов находятся и концентрируются в пегматитовых жилах на участках, имеющих пегматоидные структуры;

б) на ход формирования пегматитов и кристаллизацию промышленно ценных минералов из расплава не влияют тектонические факторы. Концентрация промышленно ценных минералов в тех или иных участках пегматитовых жил происходит без всякого влияния тектонических факторов.

Эти выводы об условиях концентрации промышленно ценных минералов в пегматитовых жилах, как неоднократно указывалось, начиная с 1948 г. [27—32], являются глубоко ошибочными. Они направляют внимание практических работников по ложному пути.

Во всей зачастую огромной массе пегматита поиски мусковита А. Е. Ферсман рекомендует направлять лишь на участки жил, имеющие пегматоидное сложение. Между тем известно большое число пегматитов, в которых крупные кристаллы мусковита расположены и концентрируются совсем не на участках жил, обладающих пегматоидным сложением. Эти участки оказываются пустыми, а слюда находится в породах, имеющих так называемую переходную и даже письменную структуру. Прекрасным примером этого может служить жила № 15 рудника Согдиондон, жила № 15 рудника Кочекта и др.

Все жилы с таким типом размещения мусковита оказались бы потерянными для промышленности, если бы поисковики следовали указаниям А. Е. Ферсмана.

Еще более отрицательно на ведении поисковых работ сказывается положение этой гипотезы о независимости процессов формирования пегматитов от влияния тектонических факторов. Эти представления А. Е. Ферсмана на долгие годы отвлекли внимание большинства исследователей слюдоносных пегматитов от необходимости изучения и учета, для выявления поисковых признаков, тектонических условий формирования пегматитов — тектонической жизни самих жил в течение длительного процесса их образования, а также и толщи пород, их заключающих. Покажем это на следующем примере.

Во всех слюдоносных районах из громадного числа имеющих на их площади пегматитовых жил практический интерес представляют лишь некоторые. Само собой понятно, насколько важно установить закономерность распределения (на площади данного участка) действительно слюдоносных жил среди бесплодных.

С позиций теории А. Е. Ферсмана наличие слюдоносных жил среди бесплодных объясняется в основном тем, что в одних случаях пегматитовый расплав был богаче летучими компонентами и в этих жилах из него кристаллизовался мусковит, а в других — беден ими (бесплодные жилы). Эта специализация, по мысли А. Е. Ферсмана, создавалась в период отделения пегматитового расплава, образовавшего жилы, от гранитных интрузий. Но такие интрузии в главных слюдоносных районах залегают, как известно, на недоступных наблюдениям глубинах, поэтому вообще невозможно проследить пути какой-либо специализации расплава, образовавшего те или иные пегматитовые жилы, расположенные в одном пегматитовом поле. Следовательно, предвидеть характер распределения слюдоносных жил среди близко к ним расположенных бесплодных пегматитов вообще невозможно, если руководствоваться при этом теорией А. Е. Ферсмана. Вместо обоснованного пред-

видения и соответствующего направления поисков слюдоносных жил, исследователям представляется возможность лишь пассивно констатировать особенности пегматитов уже после того как жилы найдены и выявлен их минеральный состав. Только после этого исследователи могут высказать свои предположения о «специализации» того расплава, который образовал данную жилу.

Действительно ли невозможно выявить реально ощутимые причины, обусловившие закономерность распределения слюдоносных жил среди бесслюдных? Как показано ниже, одним из важных факторов, влияющих на процесс слюдообразования в жилах, является как раз тот, от изучения которого отвлекала внимание теория А. Е. Ферсмана — фактор влияния тектонических напряжений, имевших место в период формирования пегматитовых жил.

2. Вопрос о глубине распространения в жилах оруденения. При кристаллизации в замкнутой камере остаточная, еще жидкая часть «пегматитового расплава», сильно обогащенная минерализаторами (с которыми и связана главная масса промышленно ценных минералов — мусковита, радиоактивных минералов и минералов, содержащих редкие металлы), как наиболее легкая, по мысли А. Е. Ферсмана, естественно, должна была накапливаться в верхних частях жил. С предельной ясностью эту очень важную с практической точки зрения мысль А. Е. Ферсман проводит красной нитью через все свои работы о пегматитах. Так, например, еще в 1909 г. он писал: «С теоретической точки зрения для нас важно, что наиболее летучие соединения сосредотачиваются в наиболее верхних частях жил и что только область, непосредственно прилегающая к контактам, богата процессами пневматолитического характера... С практической точки зрения не менее важно установление такой зависимости; в виду того, что разработка ведется главным образом для добычи... редких минералов, очевидно, что она *должна ограничиваться лишь верхними частями жил, и необходимо разрабатывать их вдоль по простиранию, а не углубляясь внутрь*» (подчеркнуто нами, В. Н.) [46].

В последнем издании монографии «Пегматиты» находим ту же мысль: «Для слюдяных пегматитов характерно одно явление, отмеченное в слюдяных копиях Индии и описанное по наблюдениям копей Канского района в Сибири (А. Ферсман, 1917). Поскольку их образование связано с границами геофаз С и Д, в них еще заметно некоторое обогащение кровли летучими компонентами... Поэтому обычно *наибольшие скопления мусковита приурочены к кровле жил, а в нижних частях иногда наблюдается обогащение биотитом геофаз С*» (подчеркнуто нами, В. Н.) [49, стр. 172].

Таким образом, концентрация разнообразных промышленно ценных минералов, по А. Е. Ферсману, происходит в пегматитах только в верхней части жил.

Этот важнейший в практическом отношении вывод об условиях концентрации в пегматитах промышленно ценных минералов органически вытекает из самой сути гипотезы А. Е. Ферсмана и, как указывалось ранее [30, 31], также глубоко ошибочен и отрицательно сказывается на ведении поисковых работ. Отработав часть жилы с промышленным ослюдением, выработав одно слюдоносное гнездо, жилу, основываясь на этой гипотезе, можно было бросить, не приложив усилий для глубинной разведки. С таким пессимистическим взглядом на оценку слюдоносности жилы (а в равной мере и рудоносности пегматитов) согласиться нельзя. Известен ряд примеров, когда жилы сохраняют слюдонасыщение, вплоть до почти полного выклинивания, когда

находятся слепые гнезда в жилах, сохраняющих на глубине свою форму, а сверху и снизу их пегматит не имеет промышленного ослюденения, когда одно гнездо ниже по падению сменяется другим гнездом.

Следовательно, наличие пегматитов, в которых оруденение приурочено только к верхней части жилы, является лишь частным случаем, а не закономерностью, отражающей общие особенности генезиса жилы.

Влияние той же идеи А. Е. Ферсмана сказывается и на чрезвычайной робости попыток розысков слепых рудоносных гнезд в жилах, с поверхности не являющихся рудоносными, но обладающих признаками, указывающими на благоприятные условия для возможной встречи рудоносных гнезд на глубине — теми признаками, о которых уже не раз сообщалось ранее [28—31].

3. Вопрос о закономерностях влияния вмещающих пород на тип минерализации пегматитов. Одним из важнейших вопросов, от решения которого зависела рациональная постановка работ по поискам мусковитовых пегматитов, был вопрос об особенностях влияния химического состава вмещающих жилы пород на тип минерализации пегматитов.

Согласно своей основной идее о генезисе пегматитов, А. Е. Ферсман писал: «Вообще процесс взаимодействия пегматита и боковых стенок носит сначала лишь термальный характер и только позднее в геофазах В и С начинаются энергичные пневматолитические взаимоотношения. Растворенные в расплаве газы по мере охлаждения породы накапливаются в остаточной жидкости до тех пор, пока давление газов не достигнет такой величины, что они смогут выделиться в боковую породу» [49, стр. 205].

Иначе говоря, по мысли А. Е. Ферсмана, главное взаимодействие между вмещающими породами и пегматитовой жилой протекало лишь в средние периоды кристаллизации жилы, уже после того как расплав, заняв определенную полость, успевал частично раскристаллизироваться. Следовательно, главное влияние на тип минерализации жил оказывают химические особенности пород, непосредственно вмещающих жилы. Породы, подстилающие пегматиты; через которые поднимался первоначальный расплав, существенно не влияют на минерализацию жил.

Какие же особенности химизма вмещающих пород будут влиять на характер ослюдеобразования в жилах?

Если мусковит, как полагает А. Е. Ферсман, действительно образуется путем кристаллизации расплава в пегматоидную стадию, то для образования минерала, содержащего калий (мусковит), необходимо, чтобы этот расплав был богат калием. «Наличие в боковых стенках пород лейкократового типа, не отличающихся по своему составу от состава гранитного остатка, — пишет А. Е. Ферсман, — не вызывает потери К; наоборот, кислые боковые породы облегчают миграцию Na, очищая расплав от этого элемента, несомненно вредного для образования калиевой слюды — мусковита... Таким образом, и K_2O и Al_2O_3 оказываются в избытке... и облегчают образование мусковита» [49, стр. 70].

Вновь ту же мысль, естественно вытекающую из всей сущности гипотезы, А. Е. Ферсман повторяет, разбирая процесс возникновения пегматитов в случае внедрения их в сланцевые породы кислого состава: «Как правило, в этих условиях пегматит теряет прежде всего свой натрий, обогащается калием, чем облегчается образование чистого микроклина и мусковита (образование мусковитовых пегматитов)» [49, стр. 208].

Такие же соображения о влиянии химических особенностей пород на слюдообразование в жилах высказывались и всеми другими исследователями пегматитов, разделяющими взгляды А. Е. Ферсмана.

Например, А. Н. Лабунцов писал: «Таким образом, влияние боковых пород химически сравнительно мало отражалось на пегматитах при внедрении их в гнейсы и, повидимому, лишь при богатстве гнейсов калием и алюминием эти элементы ассимилировались пегматитом и усиливали образование мусковита» [23].

Таким образом, определяющими благоприятными условиями для накопления мусковита в жилах считалось, согласно теории А. Е. Ферсмана, богатство жил и вмещающих пород калием и алюминием. Еще раз заметим, что все эти соображения А. Е. Ферсмана и его последователей не являются случайными. Они органически вытекают из самой сути гипотезы А. Е. Ферсмана.

Во всех слюдоносных районах СССР богатыми калием породами являются разнообразные микроклиновые гнейсы и гранито-гнейсы. Следовательно, рассмотренные выводы из гипотезы А. Е. Ферсмана ориентировали проведение работ по поискам мусковитоносных пегматитов на площади, сложенные преимущественно микроклиновыми гнейсами.

Уже не раз имелась возможность обращать внимание на то, что это представление А. Е. Ферсмана, очень важное в практическом отношении, глубоко ошибочно, и оно направляло поисковые работы по неверному пути [28, 30]. Все лучшие месторождения мусковита в Северной Карелии и Мамском районе расположены на участках, сложенных породами, бедными калием, — в разнообразных плагиоклазовых гнейсах.

Лучшие мусковитовые месторождения представлены пегматитами, в которых из полевых шпатов резко преобладает плагиоклаз, или в всяком случае микроклин не доминирует.

Руководствуясь общей идеей А. Е. Ферсмана, в 1939 г. Г. Н. Бунтин [4] высказал свои представления о том, что мусковитовые пегматиты возникли благодаря обогащению пегматитового расплава глиноземом, переходящим в расплав из высокоглиноземистых кианитовых гнейсов. Утверждая в качестве важнейшего поискового признака приуроченность слюдяных месторождений к кианитовым гнейсам, Г. Н. Бунтин писал: «...всякий пегматитовый расплав, попадая в глиноземистые гнейсы, становится мусковитоносным в силу взаимодействия с вмещающими гнейсами. Пегматитовый расплав обогащается алюминием, что приводит к выпадению из расплава вместо микроклина мусковита» [4, стр. 33].

Однако, как указывалось выше, слюдоносные жилы известны и в габбро-норитах и в плагиоклазовых гнейсах — породах, вовсе не содержащих кианита.

Несоответствие упомянутых фактов с гипотезой А. Е. Ферсмана сделало неразрешимым вопрос о закономерностях влияния вмещающих пород на слюдообразование в пегматитах для исследователей, разделяющих взгляды А. Е. Ферсмана. Например, геологи-практики — знатоки месторождений мусковита — в 1948—1949 гг. утверждали, что этих закономерностей вообще нет и что промышленно ценные жилы могут быть в любых породах (Д. Т. Мишарев, В. С. Смирнова и др.), несмотря на то, что уже с 1937 г. существует гипотеза Д. С. Коржинского о генезисе слюдоносных пегматитов Мамского района, совершенно иначе представляющая процессы их образования и закономерности влияния химических особенностей вмещающих пород на слюдообразо-

вание в жилах [17]. Позднее было доказано, что предположения Д. С. Коржинского справедливы и для слюдоносных районов Карелии и Кольского полуострова [28]. При этом обнаружилось, что главное влияние оказывают не породы, непосредственно вмещающие жилы, как представлял себе А. Е. Ферсман, а толща пород, подстилающих пегматитовые тела. В настоящее время знание этих закономерностей широко используется при решении практических задач поисковых работ даже и теми исследователями, которые совсем недавно отрицали их.

Разобранный пример решения практически важного вопроса о влиянии вмещающих пород на слюдообразование в жилах наглядно иллюстрирует отрицательное влияние идей А. Е. Ферсмана о самой сути генезиса пегматитов на взгляды исследователей, которые не учитывали справедливых соображений Д. С. Коржинского только потому, что они не согласовывались с гипотезой А. Е. Ферсмана.

В итоге краткого обзора содержания гипотезы об образовании пегматитов путем фракционной кристаллизации специфического так называемого «пегматитового расплава» можно заключить следующее.

1. Практически важные вопросы — о закономерностях размещения промышленно ценных минералов в пегматитах, о приуроченности их к тем или иным структурно различным породам, слагающим жилы, о влиянии химических особенностей вмещающих пегматиты пород на тип минерализации жил, о глубине распространения оруденения в пегматитах — в этой гипотезе решены глубоко ошибочно.

2. Сыграв в свое время большую положительную роль своей стройностью, возбуждив острый интерес исследователей к пегматитовым месторождениям в ту пору, когда их только начинали эксплуатировать, в настоящее время, при необходимости более детальной расшифровки строения и процессов формирования месторождений, это учение, господствуя над мыслями исследователей, направляет промышленные организации по ошибочному пути и тем тормозит работу.

3. При построении этой гипотезы учитывались, главным образом, наиболее общие и грубые черты строения пегматитовых тел. Расшифровка деталей взаимоотношения минералов, составляющих жилы, установление последовательности их возникновения, а тем самым и разработка представлений о всем процессе формирования пегматитовых месторождений под влиянием основной идеи о последовательной кристаллизации расплава, опирались на ошибочное использование старинного принципа Розенбуша о том, что степень идиоморфизма минералов свидетельствует о времени их образования.

4. Увлечение идеей кристаллизации пегматитов из расплава по принципу замкнутой системы привело исследователей к тому, что процесс формирования пегматитов — геологических тел, образующихся на больших глубинах, расположенных в относительной близости к магматическому очагу и в областях подвижных участков земной коры, — стал рассматриваться в отрыве от влияния тектонических факторов и постмагматических растворов, выделяющихся из магматических очагов, без учета реальных условий геологической среды формирования пегматитовых тел, т. е. в противоречии с самим естеством природы.

С течением времени у геологов накапливались наблюдения, в некоторой мере противоречащие рассмотренной гипотезе. Поэтому наряду с только что рассмотренной, так сказать, ортодоксальной гипотезой о генезисе пегматитов существуют разнообразные вариации взглядов, вносящие в нее небольшие поправки и изменения. Среди них можно выделить две группы наиболее популярных представлений.

А. Представления, согласующиеся с общей основной идеей А. Е. Ферсмана, но допускающие большие масштабы метасоматических явлений при минералообразовании, в том числе и при возникновении части промышленно ценных минералов.

Основой для этих представлений послужил подмеченный многими явно метасоматический путь образования некоторых промышленно ценных рудных минералов в пегматитовых жилах. Было обнаружено, что таким путем в жилах возникала и часть крупнокристаллического мусковита, тяготеющая к определенным трещинам в пегматитах. В месторождениях Мамского района обнаружены явления, свидетельствующие о том, что часть крупнокристаллического мусковита — мусковит, теснейшим образом срастающийся с кварцем, — образована явно путем замещения кристаллов полевых шпатов (так называемый кварц — мусковитовый комплекс).

Учитывая эти явления и считая, в согласии с гипотезой А. Е. Ферсмана, что главная масса кварцево-полевошпатовых пород, слагающих жилы и крупнокристаллический мусковит, образована из расплава, многие исследователи полагали, что в пегматитах крупнокристаллический промышленно ценный мусковит образовался все же различными путями. Более ранняя генерация мусковита кристаллизовалась прямо из расплава в ту же пегматоидную стадию, как это предполагал и А. Е. Ферсман. Более же поздние генерации крупнокристаллических слюд возникли в твердых породах пегматитовых жил метасоматическим путем.

При этом считалось, что в месторождениях Карелии и Кольского полуострова резко преобладает слюда, образованная путем кристаллизации из расплава (П. К. Григорьев, А. Н. Лабунцов, П. А. Борисов, П. Н. Марков, Д. Т. Мишарев, В. С. Смирнова и многие другие).

«Максимальное образование мусковита, — пишет П. К. Григорьев, — повидимому, происходит в период, совпадающий с моментом окончания кристаллизации крупных обособлений микроклин-микропергита и плагиоклаза и началом периода кристаллизации кварца, образующего осевые, чисто кварцевые зоны, линзы, крупные обособления и т. д.» [11, стр. 170].

«Поздний период минералообразований магматической фазы представляет собой главный период кристаллизации пегматитового расплава; он характеризуется массовым выделением полевых шпатов, кварца и слюд, срастающихся в грубозернистые, кусковые (10—30 см в поперечнике) и блоковые (больше 0,5 м) агрегаты», — пишет известный знаток пегматитов Карелии П. А. Борисов [2, стр. 23].

В месторождениях Мамско-Витимско-Чуйского и Бирюсинского районов П. Н. Марков [25], Н. В. Петровская [38], А. С. Амеландов, С. П. Коноплев, Д. Т. Мишарев и многие другие исследователи видели примерно ту же картину и вместе с тем отмечали, что в некоторых месторождениях сильно развит мусковит метасоматического образования.

Природа факторов, вызывающих метасоматическое образование части крупнокристаллической слюды (а равно и редких рудных минералов), понималась различно. Одни геологи, вслед за А. Е. Ферсманом (лишь несколько увеличив перечень метасоматических минералов), предполагали, что эти минералы возникли под влиянием последних порций остаточного расплава, богатого летучими соединениями, на уже твердые закристаллизовавшиеся части жил (Н. В. Петровская, П. А. Борисов, Н. А. Лабунцов, П. К. Григорьев, К. А. Власов, А. А. Беус, Ю. П. Ивенсен и др.). Другие же допускали мысль о том, что минералы, возникающие путем первичной кристаллизации из расплава, позднее испытывают

превращения под влиянием постмагматических растворов, проникающих с глубин в уже твердые пегматитовые жилы, — растворов, поднимающихся из магматических очагов (А. С. Амеландов, П. Н. Марков, Н. Н. Стулов и многие другие). В связи с этим А. С. Амеландов, например, указывает на необходимость тщательного анализа трещиноватости жил, анализа тех трещин, которые служили путями проникновения в пегматиты постмагматических растворов.

Особенно большую роль поступающим с глубин постмагматическим растворам приписывали, как известно, американские геологи, что будет рассмотрено ниже.

Итак, исследователи этой группы допускают возможность двух путей образования в пегматитах промышленно ценных минералов. Они считают, что главная масса этих минералов образована, согласно гипотезе А. Е. Ферсмана, из расплава в период кристаллизации пород пегматитовой и блоковой структур. Следовательно, и практические рекомендации для поисков мусковита этого типа остаются теми же, что и у А. Е. Ферсмана, ошибочность которых была рассмотрена выше. Та часть промышленно ценного мусковита, которая образована метасоматическим путем, по утверждению некоторых исследователей (П. Н. Маркова, Д. Т. Мишарева и А. С. Амеландова), может быть встречена и в других породах пегматита и находится на различной глубине жил. В этой части выводы исследователей справедливы.

Только те из этой группы исследователей, которые в своих представлениях о генезисе пегматитов допускали некоторые отклонения от ортодоксальной гипотезы А. Е. Ферсмана, более достоверно решали практические вопросы (например, в представлениях о путях образования в пегматитах части крупнокристаллического мусковита).

Б. Представления, согласующиеся с основной идеей А. Е. Ферсмана о последовательной кристаллизации пегматитов из расплава, но иначе, чем А. Е. Ферсман, рисующие физико-химические особенности этого процесса.

В 1944 г. А. Н. Заварицкий [13] доказал, что в основу теории А. Е. Ферсмана положена вообще ошибочная трактовка Фогтом и Ниггли диаграммы равновесия бинарной системы — летучий компонент — силикат с неограниченной растворимостью их друг в друге. В. А. Николаев, учтя эксперименты Горансона, опубликовал ряд работ [33—37], посвященных анализу пределов растворимости легко летучих компонентов, в том числе и воды, в силикатных расплавах, и процессам отделения их при кристаллизации. Стало очевидным, что само допущение А. Е. Ферсманом наличия так называемой водоогненной пегматитовой магмы лишено оснований. Вспомним, что именно летучие компоненты, концентрирующиеся, по мысли А. Е. Ферсмана, в большом количестве в остаточном расплаве, сообщали этому расплаву необходимые свойства (пониженную вязкость, подвижность и пр.), которые и обеспечивали благоприятные условия для роста крупных кристаллов минералов при раскристаллизации пегматитового расплава, возникновения зонального распределения вещества в пегматитах и других особенностей жил.

Имея в виду все эти противоречия и вместе с тем сохраняя основное положение гипотезы А. Е. Ферсмана, К. А. Власов в ряде работ (1943—1952 гг.) высказал свои взгляды на генезис пегматитов [5—8]. Особый пегматитовый расплав, по его мнению, действительно существует и обладает всеми теми свойствами, какие приписывал ему А. Е. Ферсман, но высокая концентрация летучих компонентов в нем

осуществляется не путем растворения в остаточном расплаве, а благодаря тому, что эти газы в виде обособившихся пузырьков насыщают расплав. «В процессе поднятия и становления интрузий понижается растворимость газов в магме, которые вместе со свободными газами, находящимися в магме, в форме пузырьков поднимаются и концентрируются в верхних частях интрузий или их апофизах, т. е. в областях с пониженным давлением и температурой... Таким образом, *пегматитовая магма и очаги пегматитовых магм* (подчеркнуто нами, В. Н.) зарождаются и развиваются не путем отжима и локализации межзернистой жидкости в конце кристаллизации интрузий, а посредством обогащения обычной рядовой магмы летучими, в том числе и редкометальными соединениями, эманационным путем до начала кристаллизации интрузий. Обогащенная легколетучими соединениями магма в этих очагах обладает иными, по сравнению с другими частями интрузий, свойствами: 1) она обладает большим запасом тепловой энергии; 2) благодаря наличию газов ей свойственна меньшая теплопроводность и медленная потеря теплоты; 3) она представляет собой более легкоплавкий и менее вязкий расплав-раствор, имеет более низкую температуру кристаллизации и характеризуется медленной кристаллизацией, что и приводит к более крупнокристаллическим образованиям; 4) наличие повышенного количества редких элементов и легколетучих соединений создает предпосылки для лучшей кристаллизационной дифференциации, развития редкометального оруденения и процессов замещения» [7, стр. 352—353].

Эта трактовка генезиса пегматитов, за исключением предположения К. А. Власова об иной форме концентрации летучих компонентов в расплаве, полностью повторяет гипотезу А. Е. Ферсмана о наличии специфического «пегматитового расплава». Она близка в принципе к гипотезе А. Е. Ферсмана и потому, что допускает возможность кристаллизации этого расплава по типу замкнутой системы: «... они [пегматиты] представляют собой в принципе замкнутую систему, т. е. что с момента внедрения пегматитового расплава в кровлю... связь этого расплава с материнской интрузией практически прекращается» [5].

Последовательность кристаллизации этого пузыристого пегматитового расплава, по К. А. Власову, во многом тождественна той последовательности, которая устанавливалась А. Е. Ферсманом. Вначале, по мнению К. А. Власова, кристаллизовались мелкозернистые гранитные или аплитовые породы, слагающие краевые приальбандные зоны. Затем возникали зоны, сложенные письменным гранитом, как результат одновременной кристаллизации эвтектической смеси кварца и полевого шпата. Еще позднее происходило затвердевание зон, сложенных мономинеральными полевыми шпатами, после чего кристаллизовались породы пегматоидной (блоковой) структуры совместно с возникновением промышленно ценных минералов.

«Полный идиоморфизм кристаллов микроклина по отношению к кварцу в пегматите блоковой структуры и выполнение этим кварцем трещин в микроклине и различных по форме промежутков между кристаллами микроклина свидетельствует о том, что микроклин заканчивает свою кристаллизацию значительно раньше блокового кварца... В ряде случаев такие минералы, как сподумен, берилл, амблигонит и другие выкристаллизовываются в период между окончанием формирования микроклина и началом кристаллизации позднего блокового кварца» [8, стр. 52].

«По окончании развития кали-натровых полевых шпатов начинается новый период существования незакристаллизовавшейся части пегматитового расплава-раствора. Вслед за кали-натровыми полевыми шпа-

тами образуется блоковый поздний кварц в качестве главного минерала. . . В ряде случаев в стадию блокового кварца образуются сподумен, берилл и другие редкометалльные минералы. Процесс образования позднего кварца является весьма важным моментом в ходе кристаллизации пегматитового расплава-раствора. . . Известно, что по своим кристаллохимическим свойствам кварц не принимает в кристаллическую решетку практически никаких посторонних примесей; поэтому период формирования кварца является весьма важным в дальнейшей истории других, составляющих раствор, элементов. Происходит сильное уменьшение объема растворов и сильная концентрация различных, в том числе легколетучих и легкоплавких, активных соединений. В ряде случаев они отжимаются на периферию кристаллизующегося кварцевого тела и, вследствие значительной концентрации и изменившихся физико-химических условий, начинают реагировать с ранее образованными минералами, в первую очередь, с кали-натровыми полевыми шпатами» [8, стр. 52—53].

В соответствии с этим, К. А. Власов выделяет четыре типичных стадии формирования пегматитов [8, стр. 51]: 1) кристаллизация магматически-флюидной системы (гранит, письменный гранит); 2) кристаллизация флюидно-газообразной системы (мономинеральные полевые шпаты); 3) кристаллизация флюидно-гидротермальной системы (блоковый кварц); 4) стадия гидротермальная — развитие процессов замещения.

Последовательность всех процессов минералообразования в жилах устанавливается по тем же признакам, какими пользовался А. Е. Ферсман, — преимущественно по пространственному размещению минералов в той или иной зоне пегматита и по степени идиоморфизма. Например, о своем «третьем типе» пегматитов К. А. Власов пишет: «В ряде случаев, однако, в этом типе редкометалльные минералы: танталит, берилл и другие в форме хорошо образованных кристаллов залегают непосредственно в кали-натровом полевом шпате, вблизи центральной кварцевой зоны и являются более ранними, чем поздняя часть микроклина» [8, 43].

Итак, К. А. Власов допускает образование промышленно ценных минералов двояким путем: 1) кристаллизацией из пегматитового расплава; 2) в результате метасоматических процессов, вызываемых влиянием остаточной части «расплава-раствора» на твердые, застывшие ранее породы жил. На основании своих представлений о генезисе пегматитов он предложил «текстурно-парагенетическую классификацию» пегматитовых жил [8], детализированную затем А. А. Беусом [1]. Схема строения пегматитовых тел по К. А. Власову, приведенная на рис. 1, наглядно иллюстрирует идею о концентрации промышленно ценных минералов только в верхней части жил.

Таким образом, представления К. А. Власова, сохраняя в своем существе все основные положения гипотезы А. Е. Ферсмана о последовательности процесса формирования пегматитов и о путях возникновения в них минералов, не только не устраняют противоречий гипотезы А. Е. Ферсмана с современными знаниями, но и вносят в нее ряд новых ошибочных идей [30—32].

Во-первых, сами теоретические положения К. А. Власова не согласуются с хорошо известными законами физической химии.

1. Жидкость (расплав), обогащенная множеством газовых пузырьков, имеет вязкость гораздо большую, чем однородная жидкость, а не меньшую, как это допускает почему-то К. А. Власов. Пена любой жидкости (расплава) всегда несравненно более вязка, чем однородная

40 0 40 80 120 160 200m

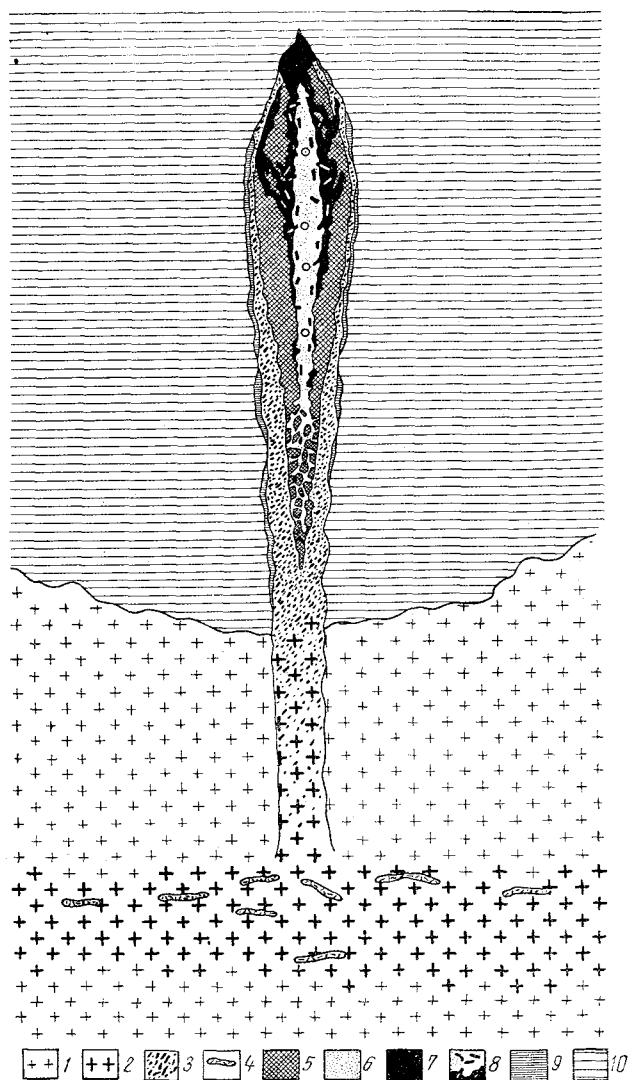


Рис. 1. Схема развития пегматитового процесса по К. А. Власову [8]:

1 — мелкозернистый гранит; 2 — крупнозернистый гранит, пегматит равномернозернистый и письменной структур; 3 — пегматит письменной и гранитной структур; 4 — пегматит в крупнозернистом (пегматонном) граните; 5 — зона микроклина, олигоклаза и редко сподумена; 6 — зона кварца (сподумен, берилл и др.); 7 — зона замещения (альбит, мусковит, кварц, берилл, сподумен, танталит, апатит, лепидолит, касситерит и др.); 8 — кристаллы редкометаллических минералов (сподумен, берилл и др.); 9 — мусковит-кварц-альбитовые зоны и оторочки; 10 — вмещающие породы (кровля гранита), метаморфические сланцы, габбро и др.

жидкость. Это явление, как известно, обусловлено тем, что в жидкости, насыщенной пузырьками газа, в соответствии с увеличением поверхности ее, резко возрастает поверхностное натяжение. Таким образом, пузыристый пегматитовый расплав обладал бы как раз обратными свойствами, чем это допускает К. А. Власов, он был бы более вязок, чем простой магматический расплав.

2. Газ, не растворенный в жидкости, а представляющий самостоятельную фазу, находящуюся в расплаве в виде пузырьков, не понижает температуры кристаллизации расплава, как полагает К. А. Власов.

Таким образом, введение К. А. Власовым представления о пузыристом пегматитовом расплаве, якобы обладающем всеми теми свойствами, которые необходимы для роста крупных кристаллов, в самом принципе ошибочно. Такой расплав на самом деле будет обладать как раз обратными свойствами.

3. Представления К. А. Власова не добавляют ничего нового и в объяснение глубокого противоречия, существующего между основными положениями гипотезы А. Е. Ферсмана о последовательности кристаллизации пегматитового расплава в замкнутой системе и простыми, хорошо известными законами последовательности кристаллизации поликомпонентных систем. По А. Е. Ферсману и К. В. Власову, кристаллизация эвтектики (письменного гранита) происходит раньше кристаллизации одного из чистых компонентов, составляющих поликомпонентную систему (застывание кварца, слагающего срединные части жил в виде гнезд, «ядер» или зон).

На самом же деле при кристаллизации любых поликомпонентных систем последовательность выделения веществ в виде твердой фазы бывает всегда обратной, и смесь компонентов, отвечающая эвтектическому соотношению, кристаллизуется последней. Попытки К. А. Власова объяснить несоответствие своих и А. Е. Ферсмана представлений с физико-химическими законами кристаллизации сложных систем ссылками на то, что последовательность кристаллизации пегматитового расплава могла быть якобы нарушена присутствием в нем летучих веществ, нельзя признать удачной. В трехкомпонентной системе кварц — полевошпат — летучий компонент последней будет кристаллизоваться эвтектическая смесь, состоящая из всех трех составляющих. Поэтому, если даже допустить, что летучий компонент после затвердевания эвтектики был полностью удален во вмещающие породы, то твердый остаток все равно должен был бы состоять из кварца и полевошпата, а не из одного кварца.

Во-вторых, представления К. А. Власова противоречат иногда явлениям природы.

1. Многие тела керамических пегматитов (в частности, Карелии и Мамского района) составлены гигантскими кристаллами полевошпатов и кварца. Следовательно, по К. А. Власову, здесь были наиболее благоприятные условия кристаллизации расплава, т. е. достаточно высокая концентрация газовых пузырьков. Вместе с тем, в этих пегматитовых телах почти совсем нет минералов, в состав которых входят летучие вещества, и совсем нет миарол и занорышей. Почему же в этих пегматитах нет никаких полостей, пустот и занорышей? Чем же заполнялся тот объем тела, который ранее в расплаве был занят пузырьками летучих компонентов?

2. Газовые пузырьки, по К. А. Власову, концентрируются в верхней части жил, поэтому предполагается, что здесь же происходило и накопление главной массы минералов, возникающих при участии этих летучих компонентов, в частности слюды и редких рудных минералов.

Главный тезис К. А. Власова, А. А. Беуса, А. И. Гинзбурга, Ю. П. Ивенсона и др. состоит, следовательно, в том, что оруденение жил с углублением на нижние горизонты должно всегда уменьшаться и исчезать; практический интерес представляют лишь верхние части жил.

Описывая наиболее типичные для пегматитов линзообразные тела, А. А. Беус, например, в 1951 г. подчеркивал: «Хотя, естественно, что в подобных телах не может быть непрерывной вертикальной зональности, однако изучение большого количества примеров такого рода показывает, что в каждом даже очень маленьком линзовидном теле имеет место особая вертикальная зональность, подчиняющаяся общим законам и объясняющаяся только дифференциацией в замкнутом объеме. В телах рассматриваемой формы тип пегматита определяется наиболее мощной частью линзы, заключающей основную массу вещества пегматита. Апикальные части таких тел характеризуются более сильным развитием зон замещения, приближающим апикальный горизонт к следующему, высшему типу пегматита. В корнях, наоборот, наблюдается обеднение летучими компонентами, слабое развитие или отсутствие зон замещения, уменьшение степени дифференцированности пегматитов, т. е. намечается переход к низшему типу пегматитов» [1, стр. 101].

Этот основной тезис всех исследователей рассматриваемой группы о том, что оруденение в жилах приурочено только к их верхним частям и исчезает с углублением на нижние горизонты, тождественен утверждениям А. Е. Ферсмана. Критика этих идей приводилась при рассмотрении главных выводов из гипотезы А. Е. Ферсмана. Справедливые возражения против предложенной К. А. Власовым «текстурно-парагенетической классификации» пегматитов для решения практически важных вопросов слюдодобывающих организаций сделаны Г. Г. Родионовым.

Любопытно, что в работах этих исследователей приведенные фактические сведения о строении жил противоречат их основным выводам о генезисе пегматитов. Например, А. А. Беус, не имея возможности пренебречь фактами, не согласующимися с его представлениями, при изложении своего главного вывода о концентрации летучих компонентов только в верхней части жил сам же упоминает об общеизвестных литевых дайкообразных пегматитах, в которых оруденение прослежено геологоразведочными и частично горными работами на очень большую глубину и обнаружено, что оруденение на глубине не уменьшается. Пытаясь устранить это явное противоречие, А. А. Беус делает ссылку общего характера на то, что такие явления объясняются якобы специфичностью влияния формы жил и «общегеологических особенностей, определяющих условия кристаллизации пегматитовых остатков» [1, стр. 100].

Рассмотрим, каким образом могли эти «общегеологические особенности» реально повлиять на характер распределения в жилах летучих компонентов. Оба вида тел — линзообразные и дайкообразные пегматиты — в начале процесса формирования представляются авторами в виде замкнутых камер, наполненных «пегматитовым расплавом». Если бы оказалось верным основное генетическое положение авторов, то с равным основанием в обоих этих случаях следовало бы ожидать, что летучие компоненты устремятся в верхние части камер и форма камер, понятно, никак не может существенно повлиять на этот процесс. По утверждению исследователей этой группы, перемещение летучих компонентов совершается тогда, когда расплав, заполняющий камеры, находится во вполне жидком состоянии. Если это так, то на жидкий расплав и процесс перемещения в нем летучих веществ, понятно, никаким образом не могут повлиять и тектонические факторы. Итак, сохраняя основное гене-

тическое представление этих авторов, реальными геологическими условиями нельзя объяснить различие между типом минерализации линзообразных и дайкообразных жил.

В связи с этим понятно стремление авторов скрыть противоречия за ничего не значащей общей формулировкой «общегеологических особенностей», так как всякая детализация этих особенностей сразу обнаруживает несостоятельность главных генетических представлений.

Рассматривая процесс формирования пегматитов как процесс кристаллизации в замкнутой системе, вся эта группа исследователей не имела логических предпосылок для выявления влияния на ход формирования жил вмещающих и, особенно, подстилающих пород. Поэтому весь этот вопрос в их работах почти не затрагивается.

В методическом отношении эти исследователи в основном шли по тому же пути, что и А. Е. Ферсман. В основу построения брались наиболее общие черты строения пегматитов — их зональность. Сохранив в полной мере главную, принятую идею о фракционной кристаллизации пегматитового расплава, они, в силу логической последовательности, вынуждены были принять все тот же принцип Розенбуша о степени идиоморфизма минералов в качестве критерия последовательности кристаллизации минералов (см. приведенные выше цитаты из работ К. А. Власова).

Близкими по существу к представлениям К. А. Власова и А. А. Бруса являются взгляды большой группы американских геологов (Е. Камерон, Р. Джонс, А. Мак-Нейр и др.), публиковавших свои статьи начиная с 1942 г. В 1949 г. ими была выпущена в свет известная сводная работа «Внутреннее строение гранитных пегматитов» [53], где приведено много материалов, характеризующих морфологию зональных пегматитов. Эти исследователи полагают, что пегматиты формируются в основном путем прямой фракционной кристаллизации специфического пегматитового расплава. Так, по их мысли, возникают главные зоны пегматитовых тел, в общем в той же последовательности, которую рисовал и А. Е. Ферсман.

В отличие от А. Е. Ферсмана и в согласии с К. А. Власовым, ими подчеркивается, что при кристаллизации пород, слагающих главные зоны пегматитовых тел (начиная с внешней, возникающей первой, зоны гранит-аплита и гранита и кончая срединным ядром сливного кварца), во многих случаях происходили, вероятно, обменные реакции между уже твердыми породами жил и остававшимся еще жидким расплавом. Результатом этих реакций явилось метасоматическое образование части минералов, в том числе и промышленно ценных, входящих в состав пород, слагающих основные зоны пегматитов. Наряду с этим допускается, что некоторая часть еще жидкого расплава могла по трещинам проникать в зоны затвердевших ранее пород и образовывать там так называемые «тела трещинных заполнений», заключающие в себе промышленно ценные минералы. Предполагается, что в самые последние периоды формирования пегматитов имели место новые метасоматические явления, приводящие в некоторых случаях к накоплению больших масс промышленно ценных минералов. Источник растворов, вызывающих метасоматические явления, авторами не устанавливается. Предполагается только, что, в согласии с А. Е. Ферсманом, растворы эти могли накапливаться на месте в самих пегматитовых телах, в результате отделения из последних порций застывшего расплава. Вместе с тем признается справедливым предположение Ландеса, Стернета, Шаллера, Андерсена, Бьерликке и др. о том, что метасоматирующие растворы могли проникнуть в жилы из глубинных магматических

очагов, а в согласии с Жеверсом, предполагается, что эти растворы могли выделяться также и из других пегматитовых тел, залегающих в более глубоких горизонтах.

Генетические представления этой группы исследователей стали сейчас очень популярными среди многих других американских геологов. В последние годы под давлением этих идей появляется все больше статей, посвященных попыткам подобрать фактические явления в пегматитах, якобы подтверждающие сформулированные выше взгляды. Например, Р. Х. Джонс, опираясь все на тот же принцип Розенбуша о том, что степень идиоморфизма кристаллов свидетельствует о последовательности кристаллизации, пытается доказать, что турмалин, мусковит, биотит, апатит, сподумен и другие подобные минералы кристаллизовались в пегматитах в свободной среде расплава ранее сливного кварца и полевых шпатов, внутри которых расположены кристаллы этих минералов [58].

Подчеркнем, что свои генетические представления Камерон, Джонс, Мак-Нейр, так же как и А. Е. Ферсман и К. А. Власов построили вначале в основном на наблюдениях наиболее грубых особенностей строения жил — все той же зональной текстуры. В тех случаях, когда авторы затрагивают детали, характеризующие саму природу процессов минералообразования в жилах, они оказываются в очень затруднительном положении и высказывают ряд противоречащих друг другу предположений. Возникающие при этом глубокие противоречия приводят в итоге авторов к утверждению, что многие минералы, входящие в состав пород, слагающих основные зоны пегматитов, возможно и не образуются путем кристаллизации из расплава, а являются продуктами самых поздних метасоматических явлений. Допускаются и явно ошибочные высказывания, например, о принадлежности одного и того же минерала (берилла, мусковита, редких минералов) к большому числу разных генераций только на основании того, что минерал этот встречается в различных зонах пегматитовых тел. Или, например, утверждается, что парагенезис минералов какой-либо одной из зон не встречается в следующей за ней, более внутренней зоне.

«Материал, слагающий какую-нибудь внутреннюю зону, может пересекать внешнюю зону или замещать некоторую часть внешней зоны. Обратного явления не бывает» (подчеркнуто нами, В. Н.) [53, стр. 121].

Распространяя это утверждение на редкие рудные минералы и слюды, входящие в состав первичного парагенезиса ряда боковых и промежуточных зон, авторы пренебрегли даже такими широко распространенными явлениями, как нахождение всех этих минералов в срединных кварцевых гнездах. Все эти противоречия понятны, так как сами авторы, повторяем, пишут, что они были заняты главным образом исследованием морфологии зонального сложения пегматитов, не вдаваясь в анализ деталей взаимоотношений пород.

Справедливая критика генетических представлений этих исследователей была произведена А. И. Гинзбургом [9]. Только и сам А. И. Гинзбург, замечая существенные недостатки представлений группы Камерона, в значительной мере разделяет взгляды А. Е. Ферсмана и К. А. Власова, во многом близкие к критикуемым им представлениям. В статье, посвященной критике генетических представлений Камерона и др., А. И. Гинзбург пишет: «Таким образом, спор между сторонниками теории гидротермального замещения (развитой американскими исследователями 20—30-х годов) и последовательной кристаллизации (школа А. Е. Ферсмана), длившийся более 20 лет, закончился по существу торжеством идей А. Е. Ферсмана» [9, стр. 157].

Часть важных в практическом отношении выводов группы Камерона близка к уже разобранным ранее суждениям А. Е. Ферсмана. Глубина оруденения в жилах мыслится также ограниченной в силу якобы существующей всегда в жилах закономерной вертикальной зональности. Минералы, в кристаллизации которых принимали участие летучие компоненты, предполагаются расположенными главным образом в верхних частях жил. Однако этот общий вывод не всегда согласуется с фактическими сведениями, приводимыми самими же американскими авторами. При описании, например, слюдяных жил материалы Роя, Шерма и Чаттападхи по характеристике слюдоносных жил района Кодармы в Индии использованы односторонние, случаи распространения ослюденения жил на большую глубину не учтены вовсе [62].

Эти генетические представления о закономерности приуроченности промышленно ценных минералов к тем или иным текстурным элементам жил дезориентируют промышленные организации. Выше было показано, что один и тот же промышленно ценный минерал в одной и той же жиле рассматривается как продукт прямой кристаллизации из расплава в период затвердевания соответствующей зоны пегматита и, вместе с тем, как результат метасоматических процессов, протекающих в период кристаллизации из расплава. Кроме того, допускается, что тот же минерал возникает во время образования тел «трещинного заполнения» и, наконец, — под влиянием поступающих во вполне затвердевшие жилы постмагматических растворов.

Какие же реально осязуемые факторы принимают Камерон, Джонс, Мак-Нейр и др. в качестве определяющих тип распределения в жилах промышленно ценных минералов?

Перечислить все вообще мыслимые в пегматитах условия накопления этих минералов, приписывать минералам все возможные в жилах способы возникновения равноценно тому, что ничего не сказать определенного и, тем более, сколько-нибудь осязуемым образом ориентировать промышленные организации. Не имея ясного суждения о процессах минералообразования, авторы вынуждены в конце концов прийти к выводу, что по одному срезу пегматитового тела вообще нельзя судить о вероятном оруденении его на глубине.

В чем же кроется, по мнению Камерона и др., причина различия в типе минерализации близко расположенных друг к другу жил, принадлежащих к одному комплексу?

Ответ на этот очень важный в практическом отношении вопрос у этих авторов тот же, что и у А. Е. Ферсмана, — причина разнообразия жил кроется в специализации пегматитового расплава, образовавшего каждую жилу, той специализации, которая создается на недоступных наблюдению глубинах и, следовательно, вообще не может быть реально предвидена.

Следуя за А. Е. Ферсманом в своих представлениях о пегматитах, как продуктах фракционной кристаллизации расплава, эти авторы, затрагивая вопросы влияния вмещающих пород на тип минерализации жил, естественно, повторяют за А. Е. Ферсманом его же предположения: «...представление о том, что содержание слюды зависит до некоторой степени от поглощения и переотложения глиноземистого материала из сланцев, очень привлекательно» [53, стр. 17].

Однако, сообщив, что в ряде случаев слюдоносные жилы в Новой Англии залегают и среди разнообразных роговообманковых пород, авторы оказались совершенно бессильными в разрешении этих вопросов с позиций своих генетических представлений и в конце концов пришли к выводу: «Этих замечаний достаточно, чтобы показать, что никакие

широкие обобщения еще не могут с уверенностью делаться при настоящем состоянии знания» [53, стр. 17].

Резюмируя краткое рассмотрение попыток исправления гипотезы А. Е. Ферсмана, делавшихся при сохранении самой сущности этой гипотезы, следует отметить, что все они не приводили к положительному результату и не способствовали разработке теоретических основ, необходимых для разрешения важнейших практических вопросов по поискам, разведке, перспективной оценке и эксплуатации месторождений пегматитов. Более достоверно разрешались некоторые из этих вопросов только тогда, когда исследователи отказывались от взглядов А. Е. Ферсмана (например, отказ от мысли об образовании части крупнокристаллического мусковита путем кристаллизации из пегматитового расплава и утверждение о возникновении слюды метасоматическим путем под влиянием поступления в уже твердые жилы постмагматических растворов).

Следует, наконец, заключить, что всякого рода поправками этой гипотезы нельзя добиться верных представлений о генезисе пегматитов и что сама сущность этой теории должна быть коренным образом пересмотрена.

Основные положения рассматриваемой гипотезы А. Е. Ферсмана, сформулированные три десятилетия назад, заметного развития не получили. За это время многими исследователями был собран ценнейший описательный материал, характеризующий минеральный состав всех известных месторождений пегматитов. Несмотря на это, не возникло новых общетеоретических принципов, способствующих дальнейшей разработке рассмотренных выше практически важных вопросов. Дополнения к гипотезе, внесенные за последние годы К. А. Власовым, А. А. Беусом, и аналогичные дополнения американских геологов, по существу, как указано выше, только детализировали классификационные признаки пегматитов, оставляя прежними сами принципы понимания процессов формирования жил.

Между тем все эти годы по пути, указанному А. Е. Ферсманом, над исследованием пегматитов работала большая группа геологов. Не является ли это ярким свидетельством того, что этот путь, в свое время открывший науке так много ценного, теперь уже пройден, что близок тупик и что живая мысль исследователя, идущего по этому пути, оказывается плененной безоговорочной верой в справедливость генетической схемы А. Е. Ферсмана.

Гипотеза образования пегматитов метасоматическим путем

Согласно гипотезе об образовании пегматитов метасоматическим путем, слюдоносные и редкометальные пегматиты явились результатом течения двух процессов. Вначале, путем раскристаллизации специфического «пегматитового» расплава, возникали крупно- и гигантокристаллические кварцево-полевошпатовые породы. Позднее, под влиянием поступающих с глубин постмагматических растворов, в этих твердых породах развивались метасоматические процессы, в результате которых происходило образование письменных гранитов, слюд и разнообразных редких минералов. Метасоматические явления сопровождались привносом в жилы и выносом из них большого объема веществ, в том числе и алюмосиликатных компонентов.

Эта гипотеза создавалась значительно позднее, чем разобранный выше. Зарождение ее в середине 20-х годов нашего столетия связано с периодом пробуждения интереса промышленных предприятий к прак-

тическому использованию ряда редких металлов, руды которых извлекались из пегматитовых жил.

Вначале Хессом, Шаллером, Ландесом и другими геологами, изучавшими в основном именно эти рудные минералы, было высказано предположение о том, что руды редких металлов образованы в пегматитах метасоматическим путем. Эти минералы находились в различных породах, слагающих жилы, и везде в равной степени обнаруживались явления, свидетельствовавшие об их метасоматической природе [59, 63]. Благодаря этому возникла мысль о том, что редкие минералы образовались во вполне твердых породах пегматитов под влиянием растворов, поступающих в жилы извне. Руды редких металлов содержат такие элементы, которых нет во вмещающих породах. Естественно, возникло предположение, что эти элементы приносились в жилы растворами, поступающими из магматических очагов. Так возникло представление о поступлении в жилы постмагматических растворов после полного застывания кварцево-полевошпатовых пород пегматитовых тел.

Согласно этим представлениям, все пегматитовые месторождения было предложено разделить на два главных типа.

1. Простые пегматиты, состоящие почти целиком из кварца и полевых шпатов. Предполагалось, что они образовались путем фракционной кристаллизации расплава.

2. Сложные пегматиты, содержащие редкие минералы и слюды. Считалось, что они образованы путем наложения интенсивно проявленных метасоматических явлений на пегматиты простого типа.

Принцип Розенбуша о том, что степень идиоморфизма минералов является признаком, указывающим на последовательность возникновения минералов в пегматитовых жилах, был подвергнут сомнению. Минералы, обладающие наиболее высокой степенью идиоморфизма — редкие минералы, слюды и др., образованы не ранее заключающих их и ксеноморфных к ним минералов (кварца и полевых шпатов), а являются наиболее поздними продуктами метасоматических процессов в жилах. Это представление является положительной стороной рассматриваемой гипотезы.

Идея о том, что процесс формирования пегматитов протекает по принципу открытой системы с привносом и выносом компонентов, вначале высказанная только в приложении к генезису промышленно ценных минералов, вскоре была распространена и на все другие минералы, слагающие жилы. Подобно тому как в гипотезе А. Е. Ферсмана идея о фракционной кристаллизации расплава стала стержневой мыслью, направляющей все внимание исследователей, так и идея о метасоматической природе минералообразования в пегматитах сделалась на долгие годы такой же довлеющей среди американских и других геологов.

В 1933 г. В. Г. Шаллер — один из авторов рассматриваемой гипотезы — так формулировал свои представления: «...сложные пегматиты образовались из простых пегматитов путем *полного* (подчеркнуто нами, В. Н.) *или частичного замещения* содержащихся в них минералов гидротермальными растворами, которые *вынесли много микроклина и часть первоначального кварца* и заместили их другими вышеупомянутыми минералами вместе с *новым кварцем и отчасти новым микроклином*...»

На основании многих указаний Ларсена, который долгое время думал, что исторически пегматиты представляют собой более сложное явление, чем простую инъекцию и затвердевание, автор начал *развивать теорию*, по которой пегматиты образуются в результате двух процессов: первоначального образования при охлаждении магмы и более

поздних гидротермальных реакций, при которых ранние минералы более или менее *полно замещаются* (подчеркнуто нами, В. Н.) более поздней группой минералов» [64, стр. 160, 161].

Под давлением главной идеи о метасоматическом пути возникновения пегматитов письменные граниты стали также рассматриваться как продукт частичного замещения полевых шпатов кварцем.

«Письменный гранит в пегматитах Южно-Калифорнийского поля, однако, не представляет собой первоначальной пегматитовой породы, так как в нем наблюдается определенная последовательность образования различных минералов письменного гранита... Другими словами, положение кварца в письменном граните определяется свойствами калиевого полевого шпата, и сам кварц образовался позже полевого шпата» [64, стр. 163].

«В тонких разрезах можно наблюдать строгое доказательство образования письменного гранита замещением (пегматиты из Берингер Хилл, Тексас). Микроклин является вмещающим минералом, и кристаллизация его закончилась до введения кварца», — писал в 1932 г. Ландес [60].

Довлеющую идею о всеобщности метасоматических явлений, протекающих при формировании всех особенностей пегматитовых тел, многие исследователи пытались доказать якобы фактическими явлениями. При этом из всей совокупности явлений, реально имеющих место в пегматитах, односторонне выбирались лишь те, которые согласовывались с этой идеей. Так, например, в большой работе, посвященной описанию письменных гранитов [66], Уолстром концентрирует внимание только на тех разновидностях, в которых эпитактическая ориентировка ихтиоглиптов кварца не подчиняется закономерностям, подмеченным А. Е. Ферсманом. Основываясь на этом, а также на некоторых случаях приуроченности вростков кварца к трещинам спайности полевых шпатов, Уолстром приходит к выводу, что письменные граниты всегда образуются путем замещения кварцем полевого шпата.

Итак, главным положением рассматриваемой гипотезы стало утверждение, что при образовании пегматитов происходил привнос и вынос громадного объема веществ, в том числе и алюмосиликатных компонентов, осуществляемый проходящими через жилы гидротермальными растворами. При этом допускается полный вынос всех веществ, слагавших ранее породы жил, и отложение здесь совершенно новых веществ.

Некоторые авторы, например Шаллер, заходят в этих утверждениях так далеко, что состав первичных пород жил считают состоящим почти только из одних полевых шпатов [64, стр. 162].

Наряду с этой главной особенностью процесса формирования пегматитов, исследователи допускали при минералообразовании вероятность наличия и других явлений. Предполагалось, например, что проходящие через жилы гидротермальные растворы в известных условиях вызывали преимущественно перекристаллизацию кварцево-полевых пород пегматита. Это происходило, по мысли авторов, в тех случаях, когда растворы несли в своем составе те же химические компоненты, которые содержатся и в полевых шпатах.

«Если такие растворы содержали, кроме окиси калия, глинозема и кремнезема, мало других минеральных веществ, то они находились в равновесии с ранним пирогенным полевым шпатом и оказывали только своего рода отпускающее и перекристаллизующее действие на тонкозернистый, превращенный ортоклаз, образуя наблюдаемые в настоящее время весьма большие отдельные кристаллы микроклина» [64, стр. 163].

Допускалось, что при формировании пегматитов известная роль принадлежала также и процессу кристаллизации кварц-полевошпатовых пород прямо из расплава.

Однако всем этим явлениям исследователи приписывали второстепенное значение, а главная роль, повторяем, отводилась процессам гидротермального метасоматоза. Некоторые исследователи (Т. L. Kesler, T. S. Qirke, U. E. Kremers и др.), принимая эту гипотезу и развивая ее дальше, защищали даже представление о пегматитах, как о телах, целиком отложенных из гидротерм. Они предполагали, что эти растворы проходили через постепенно открывающиеся трещины и что в трещинах кристаллизовался из гидротерм материал, составляющий пегматитовые жилы. Наряду с кристаллизацией пегматитовых минералов прямо в растворах, этими исследователями допускалась вероятность и метасоматического образования минералов на месте растворяемых боковых пород.

Эта гипотеза стала очень популярной среди американских, английских и, в меньшей степени, шведских геологов. В Советском Союзе она не находила широкого признания. Известное преломление этой гипотезы встречается в работах немногих геологов. Например, Г. Н. Бунтин, описывая пегматиты Чупинского района КФССР, предполагал, что некоторые разновидности письменных гранитов образованы в результате частичного замещения полевых шпатов кварцем [3].

В последние годы, в связи с тем, что все более очевидным становится несостоятельность многих прежних положений о генезисе пегматита А. Е. Ферсмана, некоторые геологи в поисках новых решений в известной мере начинают возвращаться к рассматриваемой гипотезе. Поэтому необходимо критически оценить эту гипотезу и, главное, выяснить, насколько ее применение способствует разработке теоретических основ для решения практических задач.

1. Та часть гипотезы, в которой формулируются представления о генезисе так называемых «простых» пегматитов, полностью сохраняет все противоречия с физико-химическими законами кристаллизации расплавов в замкнутой системе, перешедшие в нее из прежней гипотезы А. Е. Ферсмана. Эти противоречия были рассмотрены выше при критике представлений А. Е. Ферсмана и К. А. Власова.

2. Главные положения гипотезы о генезисе «сложных» пегматитов не согласуются с наблюдаемыми в природе явлениями. Растворимость силикатных и алюмосиликатных минералов в растворах, как известно, невелика. Следовательно, для того чтобы большие массы этих минералов могли быть удалены из жилы, а вместо них в пегматитах могли отложиться новые минералы, через жилы должны были бы пройти большие объемы растворов. Растворы входят в жилы, поднимаясь с глубин, и покидают пегматиты, проходя в вышележащие породы. Если ими вызывались процессы метасоматического преобразования пегматитовых тел, то, поднимаясь в вышележащие толщи, зачастую состоящие из тех же минералов, что и сами пегматиты, растворы должны были бы повлиять и на эти породы. Если растворы, выходящие из пегматитов, содержали бы те же химические вещества, которые входят и в состав лежащих выше пород, то породы должны были бы перекристаллизовываться (вспомним высказывания по этому поводу Шаллера). В противном случае породы испытывали бы те же метасоматические превращения, что и сами пегматитовые тела. Итак, в породах, лежащих выше жил, на пути прохождения значительных объемов гидротермальных растворов всегда должны были бы наблюдаться мощные зоны резкого видоизменения пород. Таких явлений над керамическими и слюдоносными

- жилами, к сожалению, не наблюдается. Если бы они имели место, то
- служили бы прекрасным поисковым признаком для слепых глубоко
- залегающих пегматитовых тел. В действительности этих признаков нет.

Попытки некоторых исследователей объяснить это глубокое противоречие между главным положением гипотезы и наблюдаемыми в природе явлениями тем, что различие в характере воздействия проходящих растворов на жилы и на покрывающие их породы вызывается влиянием температурного градиента, едва ли удачны. Известны пегматитовые линзообразные жилы, имеющие сравнительно небольшую протяженность по падению (всего несколько десятков метров), обладающие гигантокристаллическим сложением, частично состоящие из письменного гранита и содержащие большое количество слюды. В согласии с рассматриваемой гипотезой, в этих случаях предполагается прохождение через жилы значительных объемов растворов. Различие температурного градиента на горизонте залегания жилы и на уровне всего только на десяток метров выше — на том горизонте, где расположены породы, покрывающие жилу, конечно, совершенно незначительно. Такое незначительное различие температурного градиента, очевидно, не может привести к очень резкому изменению условий влияния растворов на жилы и на покрывающие их породы.

Валовой химический состав гранитных пегматитов, расположенных в самых разнообразных районах и залегающих в очень различных геологических условиях, как известно, всегда бывает очень близким к составу обычных гранитов. Исключением являются только литиевые пегматиты. Но и они отличаются от гранитов лишь содержанием других щелочных металлов. Калий и натрий, собственные гранитам, в них частично заменены литием. Прочие химические компоненты в литиевых пегматитах содержатся примерно в тех же количествах, что и в гранитах.

Чем же объяснить это удивительное постоянство химического состава пегматитов, если допустить, что они образовались путем интенсивных метасоматических превращений, сопровождающихся привнесом в жилы и выносом из них больших объемов алюмосиликатных компонентов? Почему метасоматические процессы, проявлявшиеся в различных пегматитах по разному (об этом пишут все авторы этой гипотезы), все же приводили всегда к образованию тел примерно одного и того же химического состава?

Ответить на эти вопросы с позиций разбираемой гипотезы нельзя.

3. Гипотеза не дает основания для рациональной разработки вопросов ведения поисковых работ. Больше того, она попросту отрицает всякую возможность решения этих вопросов. Это видно из следующего.

Если минералы пегматитовых жил образованы целиком или в очень большой степени из веществ, вновь принесенных из магматических очагов, а вещества, ранее слагавшие жилы, оказывались вынесенными, то, следовательно, тот или иной тип минерализации пегматитов целиком обуславливается составом поступивших в жилу постмагматических растворов. На характер минерализации пегматитов существенно не влияют ни химические особенности минералов, слагавших ранее жилы (они вынесены раствором), ни составы окружающих и подстилающих пород. Специализация постмагматических растворов создается на глубинах, не доступных наблюдению (подобно тому как по гипотезе А. Е. Ферсмана при тех же условиях создается специализация пегматитового расплава) и, благодаря этому, не может быть предвидена для каждой жилы в отдельности. Поэтому и этот единственный поисковый признак не может быть реально осознан. На данный дефект гипотезы, рассматривающей

процесс формирования пегматитов вне связи со средой, в которой развиваются метасоматические явления, справедливо указывал Д. С. Коржинский еще в 1937 г.

«Однако последняя теория (теория американских авторов, В. Н.) полагает, что гидротермальные растворы сами по себе являются носителями различных минералов; так что по мере понижения температуры эти растворы начинают отлагать то одни, то другие минералы. Хотя одновременно происходит и растворение более ранних минералов, но химическую связь между старыми и новыми минералами теория оставляет в тени. Полагая гидротермальный раствор носителем различных минералов, теория гидротермального замещения сближается с теорией флюидальной магмы Фогта, Ниггли и Ферсмана» [17, стр. 113].

Итак, гипотеза метасоматического образования пегматитов противоречит наблюдаемым в природе явлениям, не дает теоретических основ для разработки практически важных вопросов ведения поисковых работ и направляет промышленные организации по ложному пути.

Несостоятельность этой гипотезы в деле познания процессов формирования пегматитов и ее ошибочность привели к тому, что в последние годы сами же американские геологи, в кругах которых она была создана, почти полностью отвергли ее и вернулись, как указано выше, в основном к старым представлениям о возникновении пегматитов путем кристаллизации специфического пегматитового расплава (представления Камерона, Джонса и других исследователей).

Гипотеза образования пегматитов путем постмагматической перекристаллизации обычных магматических пород и позднейшего их метасоматического преобразования

Гипотеза образования пегматитов путем постмагматической перекристаллизации обычных магматических пород и их метасоматического преобразования является молодой по сравнению с обеими разобранными ранее. В основу ее положена работа Д. С. Коржинского, опубликовавшего в 1937 г. свои материалы по изучению слюдоносных пегматитов Мамского района [17].

Д. С. Коржинский не ограничился изучением общих черт строения пегматитов — их зональных текстур, а занялся и анализом деталей во взаимоотношениях пород пегматитов, обладающих различными структурами. В результате этого в мамских пегматитах впервые были обнаружены фактические явления, свидетельствующие о течении процессов преобразования письменных гранитов. Были прослежены основные особенности постепенного преобразования письменных гранитов с возникновением промежуточных продуктов этого процесса — пород апографической структуры. Д. С. Коржинский высказал предположение, что эти явления связаны с постепенной собирательной перекристаллизацией кварца и полевых шпатов, протекавшей под влиянием постмагматических растворов, и что конечным итогом этих процессов является возникновение пород пегматоидной структуры и гнезд сливного кварца.

Были обнаружены также фактические явления, показывающие, что в некоторых месторождениях крупнокристаллический мусковит образовывался совместно с кварцем и в тесном срастании с ним за счет разложения полевого шпата. На основании этого Д. С. Коржинский высказал предположение, что в ряде случаев процессы собирательной перекристаллизации пород пегматитов сопровождались гидролизом полевых шпатов с образованием слюды и кварца. В последующие периоды формирования таких пегматитов в процессы собирательной

перекристаллизации вовлекались и слюды. В итоге возникали гигантокристаллические породы пегматитов пегматоидной структуры, содержащие крупные идиоморфные кристаллы слюды, составляющие главную промышленную ценность жил.

«В образовании мусковитовых пегматитов, — сделал вывод Д. С. Коржинский, — можно различить следующие последовательные стадии, соответствующие различным температурам:

- 1) стадия гранито-пегматитовая (ортотектитовая);
- 2) стадия графических пегматитов;
- 3) стадия пегматоидная;
- 4) несколько стадий постумной минерализации.

Первая стадия в слюдоносных пегматитах весьма слабо проявлена, вторая развита необыкновенно мощно. На этом втором этапе магма закончила свое существование эвтектической кристаллизацией, дав микроклин — олигоклазовый пегматит с биотитом. В пегматоидную стадию горячие растворы или флюиды, освобождающиеся при эвтектической кристаллизации, воздействуют на уже застывшие графические и иные пегматиты, вызывая их метаморфическую частичную или полную перекристаллизацию, причем одновременно происходит гидролиз полевошпатов с образованием мусковита; при этом происходит значительный вынос калия, который вытесняется из полевошпатов как водородом воды с образованием мусковита, так частично и натрием и кальцием постмагматического раствора с образованием олигоклаза.

Апатит частью образовывался одновременно с мусковитом при гидролизе плагиоклаза; освобождающийся при этом кальций дает апатит, заимствуя фосфорную кислоту из раствора... Турмалин и берилл образуются путем взаимодействия раствора с полевыми шпатами, которые при этом замещаются» [17, стр. 112, 113].

Установив, что мусковит в пегматитовых жилах является продуктом гидролиза полевых шпатов, Д. С. Коржинский высказал справедливое предположение, что на ходе процессов превращения полевых шпатов должна была сказываться степень концентрации калия в растворах. Реакция гидролиза полевых шпатов могла идти только в том случае, если калий при этом удалялся из раствора. Д. С. Коржинский предполагал, что калий в процессе преобразования жил мог поглощаться породами, вмещающими пегматит.

«Химическое взаимодействие *боковых пород* с мамскими мусковитовыми пегматитами сказывается значительно. Из вышесказанного ясно, что благоприятными для содержания мусковита в пегматитах являются такие *боковые породы*, которые могут отнимать от пегматоидных растворов калий, но не глинозем; таковыми являются *дистеновые гнейсы*, дистен которых в *зальбандах пегматитов* замещается мусковитом (подчеркнуто нами, В. Н.). Нейтральными являются известняки, так как кальцит является равновесным с мусковитом и ортоклазом. Препятствуют образованию мусковита породы с амфиболом и пироксеном, которые реагируют с мусковитом с образованием биотита» [17, стр. 112].

Кроме того, Д. С. Коржинский полагал, что процесс слюдообразования в жилах определенным образом был связан с общим метаморфизмом толщ вмещающих пород. Поэтому, по мысли Д. С. Коржинского, слюдоносные пегматиты должны залегать только среди пород, характеризующихся «мусковитовой ступенью равновесия».

«Кристаллические сланцы р. Мамы, содержащие мусковитовые пегматиты, обнаруживают интенсивную перекристаллизацию мусковитовой без хлорита (но с альмандином) ступени равновесия, налагающуюся на

первичную диопсидовую фацию так, что часто кристаллы той и другой ступени имеют почти одинаковое развитие, вблизи же мусковитовых месторождений реликты диопсидовых ступеней иногда вовсе исчезают.

Это наложение различных метаморфических явлений естественно, поскольку в самих пегматитах пневматолит накладывается на магматические образования» [17, стр. 107].

Итак, Д. С. Коржинский предполагал следующее.

1. Формирование пегматитов осуществлялось несколькими типичными стадиями.

2. Путем прямой кристаллизации из специфического пегматитового расплава образовывались гранитоподобные породы (ортотектиты), письменные граниты и крупнокристаллический биотит, расположенный в письменном граните.

3. Породы пегматита неясно графической, апографической и пегматоидной структур, гнезда и зоны сливного кварца возникали в результате перекристаллизации письменных гранитов.

4. Промышленно ценный мусковит образовывался благодаря гидролизу полевых шпатов, происходившему в течение процессов общей перекристаллизации жил.

5. Мусковит, наиболее ценный с промышленной точки зрения, в форме идиоморфных крупных кристаллов, располагающийся в породах пегматоидной структуры, образовывался здесь одновременно с возникновением самой породы.

6. Кроме первичного крупнокристаллического биотита, образованного путем прямой кристаллизации из «пегматитового расплава», имеется еще биотит, возникающий в более поздние периоды путем переотложения в процессах общей перекристаллизации жил. Этот биотит часто образует «различные сростания с кристаллографически близким мусковитом» [17, стр. 113].

7. Апатит, турмалин и берилл образовывались в пегматитах метасоматическим путем.

8. Благоприятными условиями для накопления мусковита в жилах являлось залегание жил в дистеновых гнейсах, поглощавших калий, выносимый из жил в период образования в пегматитах мусковита. Богатство вмещающих пород железо-магнезиальными компонентами приводило к образованию в пегматитах биотита.

9. Слюдоносные жилы залегают только среди пород, претерпевших определенный тип метаморфизма. Слюдобразование в жилах и метаморфические превращения пород являются процессами взаимосвязанными.

В представлениях о генезисе пегматитов Д. С. Коржинского, наряду с совершенно новыми, глубоко справедливыми положениями, как видим, были и воспринятые из гипотезы А. Е. Ферсмана. К числу таких относятся: мысль об эвтектической природе письменных гранитов; о кристаллизации крупнокристаллического биотита прямо из пегматитового расплава; о синхронности возникновения пород пегматоидной структуры и наиболее ценной части крупнокристаллического мусковита, находящегося в них.

Практическое применение справедливых в своем существе выводов Д. С. Коржинского встречало, однако, некоторое затруднение. В Карелии, например, были известны промышленные слюдоносные пегматиты, залегающие в породах, богатых железо-магнезиальными компонентами — в амфиболитах и амфиболизованных габбро-норитах. Вместе с тем, были известны также промышленно ценные месторождения мусковита,

залегавшие в микроклиновых гнейсах (породах, богатых калием). В согласии с рассмотренными представлениями Д. С. Коржинского, в первых жилах должен был быть биотит, а не мусковит, который там развит в действительности; во вторых жилах слюды вообще не должны были бы накапливаться. Эти явления создавали видимость противоречия между фактическими данными и выводами Д. С. Коржинского о зависимости слюдообразования в жилах от особенностей химизма вмещающих пород. Благодаря этому вывод Д. С. Коржинского выпал из внимания, пожалуй, большинства геологов-слюдяников, работавших не в Мамском районе.

Утверждение Д. С. Коржинского о том, что идиоморфные крупные кристаллы мусковита, расположенные в породах пегматоидной структуры, были образованы здесь одновременно с самими породами, осталось не защищенным против возражений геологов, разделяющих взгляды А. Е. Ферсмана (а их было подавляющее большинство). Согласно гипотезе А. Е. Ферсмана, мусковит как раз и образовывался совместно с породой пегматоидной структуры. Чем же доказать, что порода и слюда в ней образованы не путем кристаллизации расплава (по А. Е. Ферсману), а в результате перекристаллизации жил (по Д. С. Коржинскому)? Отсутствие ясных критериев для достоверного решения этого вопроса привело к тому, что утверждение Д. С. Коржинского не убедило широкие круги исследователей, занятых изучением пегматитов. Это хорошо видно из приводившихся при разборе гипотезы А. Е. Ферсмана цитат из новейших работ видных знатоков пегматитов — П. А. Борисова, Д. Т. Мишарова, П. Н. Маркова и многих других.

В конце тридцатых годов нашего столетия, после исследований Д. С. Коржинского, Н. В. Петровская опубликовала ряд статей [38, 39], посвященных описанию тех же пегматитов Мамского района, которые изучались и Д. С. Коржинским. Внимание геологов ориентировалось вновь на все те же стандартные схемы А. Е. Ферсмана, целиком приложенные Н. В. Петровской для трактовки генезиса мамских пегматитов.

Вследствие этих обстоятельств и полного в то время господства идеи А. Е. Ферсмана выводы Д. С. Коржинского по общей теории генезиса пегматитов долгие годы оставались без дальнейшего развития.

Из представлений Д. С. Коржинского вытекал ряд практических выводов:

1. Крупнокристаллический мусковит может концентрироваться не только в верхних частях жил, как это предполагал А. Е. Ферсман. Гидролиз полевых шпатов, протекавший под влиянием постмагматических растворов, с равным успехом мог происходить и на глубине жил. Этот важный вывод не был в свое время подчеркнут самим Д. С. Коржинским и не был должным образом оценен практическими работниками.

2. Крупные кристаллы слюды следует искать в пегматитах апографической и пегматоидной структур. Наиболее ценные слюды в форме однородных кристаллов, вполне освобожденных от кварца, нужно искать только в породах пегматоидной структуры, так как эти кристаллы возникали в едином совместном процессе собирательной перекристаллизации слюды и самой породы. Этот важный в практическом отношении вопрос был решен Д. С. Коржинским так же, как и А. Е. Ферсманом.

3. Слюдоносные жилы следует искать в породах, бедных калием, железом и магнием, но богатых дистеном. Этот вопрос был решен диаметрально противоположно выводам А. Е. Ферсмана (роль калия). С другой стороны, представления Д. С. Коржинского ориентировали

практических работников на те же породы, на которые указывал и А. Е. Ферсман (дистеновые породы, богатые глиноземом), иначе, однако, освещая причину такой приуроченности слюдоносных жил к дистеновым гнейсам.

4. На тип слюдоносности жил главное влияние оказывают «боковые» породы, т. е. те, в которых непосредственно залегают пегматиты. Такая зависимость имеет место в действительности далеко не всегда.

Итак, начав своей работой создание новой гипотезы генезиса пегматитов, Д. С. Коржинский в 1937 г. не довел ее еще полностью до такого состояния, при котором можно было бы, пользуясь ею, правильно решать основные практические задачи. В этом, быть может, крылась еще одна причина, задержавшая дальнейшее развитие справедливых в основном идей Д. С. Коржинского.

В своих широко известных последующих работах, посвященных физико-химическому обоснованию многообразных метасоматических явлений [17—22], Д. С. Коржинский не раз затрагивал вопросы генезиса пегматитов, придерживаясь в основном взглядов на природу жил, изложенных в рассмотренной статье 1937 г. Вместе с тем, влиянию метасоматических процессов стало придаваться все большее значение.

Развивая мысль о закономерности образования околотрещинной метасоматической зональности, Д. С. Коржинский считал, что и в пегматитовых телах зональная текстура возникла благодаря течению в них метасоматических процессов. В пегматитовых телах развивались процессы постепенного выщелачивания пород поступавшими в жилы постмагматическими растворами.

«Мусковитизация и окварцевание пегматитов — автометасоматический эндоконтактный процесс, минералогически сходный с грейзенизацией. Так как поля мусковитовых пегматитов обычно бывают расположены около сводовых частей гранитных массивов и их образование вызывается, несомненно, потоками послемагматических растворов, то процессы выщелачивания пегматитов в широком смысле могут рассматриваться как приконтактное выщелачивание около гранитных массивов» [22, стр. 427].

Постмагматические растворы поступали в жилы по наиболее трещиноватым зонам пегматитов. От этих главных проводников растворы постепенно просачивались в стороны, в боковые части жил. При этом, благодаря имевшим место инфильтрационным явлениям, а также диффузии в растворах, в пегматитах создавались, по мысли Д. С. Коржинского, колонки метасоматирующих растворов, вызвавших зональное перераспределение минерального вещества жил. Это перераспределение веществ в пегматитах подчинялось тем же закономерностям, которые были сформулированы Д. С. Коржинским для течения вообще всех околотрещинных метасоматических процессов [20—22]. В местах наиболее сильного выщелачивания, вблизи трещиноватых зон, возникала мономинеральная порода — сливной кварц. В последующих, более удаленных зонах создавались породы, составленные все большим числом минералов вплоть до приальбандных частей жил, в которых породы оставались неизменными, — аплиты и гранит-аплиты.

Процесс постепенного выщелачивания в пегматитах развивался в условиях низкой концентрации компонентов в растворах. Д. С. Коржинский предполагает, что низкая концентрация компонентов являлась главным условием, обеспечивавшим и рост кристаллов громадной величины.

«Особенностью метасоматических пород, сравнительно с нормально-метаморфическими и магматическими, является то, что в них нередко

образуются особо крупные, а иногда и громадные кристаллы. Отчасти это объясняется тем, что при метасоматозе породы насыщены поровыми растворами в большей степени, чем при «нормальном» метаморфизме, а вязкость послемагматических растворов меньше, чем вязкость магмы, что облегчает диффузию компонентов, необходимую для собирательной перекристаллизации. Но особую роль здесь играет то, что рост и перекристаллизация кристаллов при метасоматозе часто совершается в своеобразных условиях низкой концентрации. Такие условия могут создаваться как при постепенном привносе компонентов минералов, так и при постепенном их выносе» [22, стр. 357—358].

На пространственное распределение кристаллов слюды в пегматитовых телах и создание околотрещинной метасоматической зональности в жилах существенное влияние, по мысли Д. С. Коржинского, оказывала имевшая место в пегматитах температурная зональность.

Представления Д. С. Коржинского о причинах возникновения в пегматитах зональных текстур и о влиянии на ослабление температурной зональности вызывают некоторые возражения.

1. Процесс постепенного выщелачивания пород пегматита мог протекать естественно только при необходимом для этого условии — в проходящих растворах должна была быть низкой концентрация тех химических веществ, которые входят в состав выщелачиваемых пород. Каким же образом могло реально обеспечиваться это необходимое условие? Если бы постмагматические растворы, попадая в жилу, застаивались там, то вскоре неизбежно достигался бы предел насыщения их всеми компонентами пород. Чтобы растворы оставались не насыщенными, они должны были бы все время проходить сквозь породы. Непрерывное поступательное движение растворов считается обязательным во всех построениях Д. С. Коржинского при анализе закономерностей возникновения метасоматических колонок. Вспомним, что растворимость алюмосиликатных компонентов невысокая.

Вместе с тем, известно, что в некоторых пегматитовых телах срединные зоны сливного кварца обладают очень значительной мощностью. Имея это в виду, а также то, что ненасыщенные растворы должны были все время проходить сквозь породы жил, можно предположить, что выщелачивание столь значительных объемов трудно растворимых веществ едва ли могло произойти при помощи малого количества проходящих растворов. Прохождение же через жилы значительных объемов растворов неизбежно должно было бы вызвать и соответствующее видоизменение пород, окружающих пегматиты. Ссылки на то, что выходящие из пегматитов растворы могли быть уже насыщенными всеми компонентами жил, что они поэтому могли быть равновесными по отношению к окружающим породам и благодаря этому могли не производить видоизменения этих пород, — не убедительны. Пегматитовые тела залегают зачастую в очень пестрых по составу породах. Сверху жилы покрываются иногда породами также очень пестрыми по составу. И если некоторые породы и могли бы оказаться действительно в равновесии с выходящими из жил растворами, то другие породы, резко отличные по своему составу, неизбежно оказались бы неравновесными с растворами и обязательно должны были бы видоизмениться. Между тем, как упоминалось выше, такого видоизменения пород над пегматитами не наблюдается.

2. Согласно правилу Д. С. Коржинского, при возникновении метасоматической зональности в каждой из последующих зон число слагающих минералов должно возрастать на единицу (от мономинеральной зоны в месте максимального выщелачивания до неизменной породы на

периферии). Между тем в пегматитовых жилах чаще всего встречаются следующие два типа зональности:

а) срединная зона сливного кварца, зона пород пегматоидной структуры (два минерала: кварц и полевой шпат), зона мономинерального полевого шпата, зона письменных гранитов и пород переходных структур (два минерала) и зона неизменных пород;

б) срединная зона мономинерального кварца, зона пород пегматоидной структуры со слюдой (три минерала: кварц, полевой шпат и слюда), зона мономинерального полевого шпата, зона письменных гранитов и пород переходной структуры (два минерала) и зона неизменных пород.

Как видно, в обоих этих широко распространенных типах жил распределение минералов по зонам в известной мере не согласуется с принципами парагенезиса минералов, возникающих при околотрецинном метасоматозе.

3. Предположение Д. С. Коржинского о том, что на распределение ослюденения в жилах существенно влияла определенная температурная зональность пегматитов, противоречит ряду фактических явлений. В разных жилах, имеющих более или менее одинаковую форму, распределение ослюденения бывает иногда самое разнообразное: то слюда расположена преимущественно в средней части жил, то по зальбандам. В некоторых жилах слюда встречается, главным образом, в верхней половине, а в других, в основном, расположена в нижних частях. В одной и той же жиле слюда, принадлежащая одной генерации, встречается и в срединных частях пегматита, и по его периферии.

Такое разнообразие в пегматитовых телах, естественно, не могло бы встречаться, если бы пространственное размещение слюды зависело от температурной зональности пегматитов.

В 1943 г. Н. М. Успенский опубликовал свои наблюдения над пегматитами. Без всякого упоминания об исследованиях своего предшественника — Д. С. Коржинского, впервые выявившего фактические явления, а ограничиваясь только ссылками на Хесса и Уолстрома, Н. М. Успенский в значительной степени повторяет выводы Д. С. Коржинского о том, что пегматиты образовывались, вероятно, путем собирательной перекристаллизации кварцево-полевошпатового материала в жилах, первоначально сложенных аплитом. При этом, в отличие от Д. С. Коржинского, Н. М. Успенский полагает: «... что и письменный гранит, как и вся описанная пегматитовая жила, образовался в процессе пневматогидатогенного метасоматического преобразования аплита» [50].

Свои выводы о природе письменных гранитов Н. М. Успенский формулирует следующим образом: «Несостоятельность кристаллографического закона срастания кварца и полевого шпата в письменном граните, известного в литературе под названием закона Ферсмана, показана Вальстромом, доказавшим отсутствие какой бы то ни было простой кристаллографической закономерности в этих сростках, в том числе, очевидно, и законов, открытых Н. Н. Горностаевым и Л. А. Косым. Указанное положение Вальстрома вполне согласуется с описанными наблюдениями на горе Золотой, где ихтиоглипты ориентируются по радиусам скорлуп, слагающих письменный гранит при какой угодно ориентировке зерен полевого шпата, следовательно, независимо от его кристаллографических элементов» [50].

Односторонность фактических явлений, подобранных Н. М. Успенским для построения своих общих выводов, очевидна. Имеется громадное число точно установленных фактов, подтверждающих полную справедливость законов А. Е. Ферсмана для письменных гранитов почти всех

месторождений пегматитов. Геологи, подробно изучавшие эти породы, хорошо знают правильную закономерную взаимную ориентировку кристаллов полевых шпатов и находящихся в них ихтиоглиптов кварца, обнаруживающуюся прежде всего в шлифах по однозначному погасанию в скрещенных николях сразу всех или отдельных групп ихтиоглиптов кварца. Наряду с этим, действительно, известны гораздо более редкие случаи, когда кварцевые включения в полевых шпатах не имеют закономерной ориентировки. Кстати, в этих случаях включения кварца имеют и совсем другую общую форму, далекую от типичных ихтиоглиптов широко распространенных письменных гранитов. Односторонне выбирая только эти, реже встречающиеся явления, имеющие совсем иную природу, чем типичные письменные граниты, и полностью соглашаясь с Уолстромом, Н. М. Успенский распространяет свой вывод на природу вообще всех письменных гранитов и этим повторяет методологическую ошибку Уолстрома, уже рассмотренную выше.

Последовательность всего процесса формирования пегматитов Н. М. Успенским мыслится в следующем виде: «По трещине в граните вначале произошла инъекция материала, послужившего для образования аплитовой дайки. Раскристаллизация этого материала происходила быстро, продвигаясь от боков дайки внутрь. По мере продвижения этого процесса освобождались летучие компоненты, первоначально находившиеся в расплаве; они и дали начало пневмогидатогенному раствору... В конце концов, внутреннее давление газов преодолело внешнее и началась циркуляция растворов. Главная масса их передвигалась вдоль билатеральной плоскости жилы, но некоторая часть диффундировала и в массу уже раскристаллизовавшегося аплита... *Наиболее высокой температуре отвечает образование друз (расположенных в занорышах, в средних частях жил, В. Н.), средней — образование пегматоида и наиболее низкой — образование письменного гранита*» [50].

Весь процесс образования протекает, по Н. М. Успенскому, при температурах ниже критической температуры воды и в единой замкнутой системе.

Не говоря уже о тех замечаниях, которые были высказаны по поводу представлений Н. М. Успенского о природе письменного гранита, следует отметить, что в целом предположение автора по генезису пегматитов содержат глубокие противоречия и расходятся с реальными явлениями, наблюдающимися в пегматитах в действительности.

Известно бесчисленное множество примеров, когда в пегматитах друзовое нарастание минералов происходило на уже вполне сформированном субстрате письменного гранита. Следовательно, письменный гранит был образован ранее друз. Выходит, температуры позднейшего процесса минералообразования (нарастания друз) были, по Н. М. Успенскому, выше, чем более раннего (образование письменного гранита). Известно, что в ряде жил зоны пород, обладающих пегматоидной структурой, пересекают письменные граниты. Тогда и в этих случаях, несомненно, более поздний продукт преобразования жил (породы пегматоидной структуры) возникал при температурах более высоких, чем ранее образованные письменные граниты. Таким образом, Н. М. Успенский ошибочно предполагал последовательность процессов преобразования жил и изменения температур, при которых шли эти процессы, как раз обратными происходившим в действительности.

Благодаря всем этим противоречиям между взглядами Н. М. Успенского на генезис пегматитов и фактическими явлениями, наблюдающимися в жилах, идеи, высказанные этим автором, естественно, не были восприняты геологами, знакомыми с природными особенностями строе-

ния пегматитов. Поэтому же не были должным образом оценены и справедливо подмеченные частные особенности письменных гранитов, встречающихся в жилах Золотой горы.

В 1944 г. А. Н. Заварицкий рассмотрел диаграмму кристаллизации тройной системы с одним летучим компонентом — упрощенный прототип пегматитового расплава. При этом было доказано, что при интерпретации Фогтом бинарной системы с летучим компонентом была допущена ошибка, повторенная затем и в рассуждениях по этому поводу А. Е. Ферсмана.

Произведя анализ этой диаграммы, А. Н. Заварицкий пришел к выводу, что «...возможны разные предположения о течении магматического процесса, в ходе которого возникают пегматиты» [13, стр. 38].

А. Н. Заварицкий перечисляет три такие возможности:

«1. Внешнее давление при кристаллизации расплава, обогащенного летучими компонентами, настолько велико, что исключает возможность вскипания. расплава — выделения из него на определенных стадиях остывания летучих компонентов... Кристаллизуясь, магма обогащается летучими, прежде всего водой, и переходит непрерывно в водные растворы.

2. Внешнее давление не настолько велико, чтобы исключалась возможность вскипания... Во всем процессе имеет место вполне определенный разрыв: выше точки кипения происходит кристаллизация из расплава и твердые фазы находятся в равновесии с магмой. Ниже точки кипения вся магма израсходована и выделившиеся твердые фазы находятся в равновесии с газовой фазой... При этом возможны два случая.

А. Давление остается постоянным... Для этого случая характерно существование двух прерывистых этапов в процессе: 1) кристаллизация минералов, находящихся в равновесии с жидкой фазой, магмой, 2) продолжающаяся кристаллизация тех же минералов, находящихся в равновесии с газовой средой, пневматолитовой.

Б. Давление, возрастая при ретроградном кипении, увеличивается до критического... Для этого случая отличительным признаком является наличие изменения составов жидкой и газовой фаз, сближающихся друг с другом по составу при возрастании давления и падении температуры. Только таким образом по достижении критической точки получается одна надкритическая фаза» [13, стр. 38].

Из этих трех возможных путей кристаллизации А. Н. Заварицкий особое внимание обращал на кристаллизацию с ретроградным кипением, при которой уже закристаллизованные минералы оказываются в равновесии с постмагматическим газовым раствором. Этот тип кристаллизации, по мнению А. Н. Заварицкого, мог бы служить исходным для объяснения многих особенностей строения пегматитов.

Итак, А. Н. Заварицкий в 1944 г. указал на ошибочность прежних предположений А. Е. Ферсмана о физико-химических условиях кристаллизации пегматитов и вместе с тем наметил новое представление о пегматитах, как о продуктах постмагматической перекристаллизации обычных магматических пород. «Будучи раствором (речь идет о растворах, возникающих при ретроградном кипении, В. Н.), насыщенным по отношению к выделившимся минералам, этот раствор может оказаться существенным фактором их перекристаллизации и образования грубозернистых пегматитовых структур» [13, стр. 39].

Дав своей работой новое физико-химическое обоснование выводов Д. С. Коржинского о том, что при формировании пегматитов большую роль играли процессы перекристаллизации, А. Н. Заварицкий, в отли-

чие от идеи Д. С. Коржинского, рассматривал систему минералообразования пегматитов как замкнутую систему. Он предполагал, что постмагматические растворы, вызывавшие процессы преобразования исходных магматических пород в пегматиты, отделялись от кристаллизовавшейся магмы здесь же на месте ее кристаллизации. В этом вопросе, как видим, А. Н. Заварицкий еще вполне солидарен с А. Е. Ферсманом.

Представление А. Н. Заварицкого о том, что при кристаллизации расплава, дававшего потом пегматиты, всегда происходило ретроградное кипение, в некоторой мере противоречит самим геологическим условиям залегания жил. Общеизвестно, что пегматиты типичны, главным образом, для глубинных магматических комплексов. В этих условиях кристаллизация магматических расплавов происходила при высоком гидростатическом давлении. Эти особенности условий кристаллизации трудно увязать с самим существом явления ретроградного кипения. Ретроградное кипение возможно только тогда, когда, как писал А. Н. Заварицкий: «... внешнее давление не настолько велико, чтобы исключить возможность вскипания» [13, стр. 38].

Начиная с 1944 г. В. А. Николаев опубликовал ряд работ, посвященных анализу физико-химических условий кристаллизации магматических расплавов с летучими компонентами и отделения этих компонентов при застывании магмы [33—37]. Он впервые справедливо отметил недооценку большинством петрологов важнейшего обстоятельства — явления ограниченной растворимости летучих в силикатных расплавах, экспериментально установленную Р. В. Горансоном [56, 57].

Зная об ограниченной растворимости летучих компонентов в магмах, приходится совсем отвергнуть прежнее представление А. Е. Ферсмана о пегматитовой магме, как о расплаве, способном неограниченно обогащаться летучими. Напомним, что благодаря как раз такому сильному обогащению летучими компонентами, пегматитовый расплав и приобретал, по мысли А. Е. Ферсмана, все те свойства, которые необходимы в качестве условий, обеспечивающих рост гигантских кристаллов, очень характерных для пегматитовых жил.

В. А. Николаев, учтя ограниченную растворимость летучих в силикатных расплавах, предложил свои известные новые физико-химические диаграммы кристаллизации бинарной и тройной систем и, исходя из них, — новую интерпретацию вероятных путей кристаллизации природных магм и отделения от них летучих компонентов.

«Нашей диаграммой, — подчеркивал он, — предполагается ограниченная растворимость разнообразных летучих компонентов в магме, определяющая отщепление их от магматического расплава в некотором интервале температур и давления. Отделение газовой фазы сложного состава может иметь место как в ходе кристаллизации магматического расплава, так и при более высоких температурах и при любых давлениях вплоть до абиссальных, если концентрация воды и других летучих в магме превысит предельные значения, характеризующие растворимость летучих в магме данного состава в определенных термодинамических условиях. Последние в широком диапазоне глубин остывания магмы обуславливают надкритическое или флюидное состояние отделяющихся летучих соединений... Высокое давление не исключает отделения газовой фазы. Этот процесс, в противоположность ретроградному кипению, не зависит от давления в том смысле, что отделение газовой фазы происходит и при весьма высоких давлениях» [33, стр. 59—60].

Этим выводом В. А. Николаев устранил последнее противоречие между новыми физико-химическими обоснованиями вероятного хода процесса кристаллизации расплава с летучими компонентами и при-

родными условиями залегания пегматитовых жил; то противоречие, которое, как было показано выше, имелось еще в предположениях А. Н. Заварицкого.

В. А. Николаев следующим образом представляет природу пегматитов: «Особенности кристаллизации гранитных пегматитов могут определяться не только повышенной концентрацией воды в остаточном расплаве (все же остающейся в вероятных пределах 10—12% для значительных глубин остывания), но и концентрацией других гиперплавких компонентов. Кроме того, отделение газовой фазы в конце кристаллизации остаточного расплава может опережать ее пространственное разобщение с расплавом и приводить к грубоэмульсионному состоянию последние порции расплава, что может объяснить ряд явлений в конечных этапах образования пегматитов (миаролитовые и друзовые заполнения, явления замещения и др.). Флюидные растворы, отделяющиеся в самом конце кристаллизации пегматитового расплава, обогащены летучими, наиболее растворимыми в силикатных расплавах, так же как и такими летучими, первоначальная концентрация которых была особенно низкой, — далекой от предельной растворимости их в магме. Эти растворы, естественно, не будут находиться в состоянии равновесия с более ранними твердыми фазами материнской породы и самого пегматитового расплава, что и приводит к разнообразным явлениям автометаморфных изменений и замещения» [33, стр. 63].

Последний вывод В. А. Николаева вполне согласуется с рассмотренными выше предположениями Д. С. Коржинского и А. Н. Заварицкого.

Еще далее продвинув вперед разработку новых физико-химических представлений о процессах формирования пегматитов, справедливо подчеркнув необходимость считаться с ограниченной растворимостью летучих в силикатных расплавах, В. А. Николаев в 1944 г. еще сохранял одну из основных прежних идей А. Е. Ферсмана о том, что весь процесс образования пегматитов разыгрывался в замкнутом объеме самих пегматитовых тел, а не испытывал влияния растворов, поступающих извне жил. В расплаве, занявшем объем пегматитовой жилы, содержались все те компоненты, которые вызывают автометаморфическое преобразование пород.

Еще более близки идее А. Е. Ферсмана были предположения В. А. Николаева (1944 г.) о том, что пегматиты в некоторых случаях образуются путем кристаллизации из флюидных растворов.

«Более ранние флюидные растворы, отделяющиеся на стадии формирования остаточного расплава и находящиеся в равновесии с главными твердыми фазами последнего, естественно, могут дать при охлаждении твердые фазы, одинаковые с минералами обычных пегматитов. Некоторые пегматиты и пегматоидные образования, часто залегающие без видимой связи с материнской породой в форме линз и жил, выклинивающихся по падению и простирацию, вероятно, образовались из флюидных растворов» [33, стр. 63].

В связи с приведенными высказываниями обнаруживается противоречие между глубоко справедливыми общими теоретическими выводами В. А. Николаева о физико-химических условиях отделения флюидных растворов, о составе флюидов и частным представлением В. А. Николаева о природе пегматитов. Флюидные растворы состоят в основном из летучих компонентов. Содержание в них главных алюмосиликатных компонентов невелико. Так предполагает и сам В. А. Николаев: «Нашей диаграммой подчеркивается ничтожная упругость пара силикатов при температурах, близких к температурам их кристаллизации, и компонент В практически считается нелетучим. Эта особенность находится

в согласии с физическими свойствами порообразующих силикатов в расплавленном состоянии. Вместе с тем, в составе газовой-флюидной и жидкой фаз компонента А (речь идет о летучем компоненте, В. Н.) допускается присутствие компонента В в некоторых *небольших концентрациях* (подчеркнуто нами, В. Н.) в качестве растворенной молекулярно-дисперсной фазы, для которой пар, газ или флюид А являются растворителями» [33, стр. 61].

Если это так, то для того чтобы из таких флюидных растворов (содержащих в своем составе только небольшие количества алюмосиликатных компонентов) могли отложиться кварц и полевые шпаты, целиком заполняющие все тело жилы, через полость жилы должны были бы пройти значительные объемы флюидных растворов¹. Следовательно, в пегматиты должны были длительное время поступать флюидные растворы не из жил, а из тех очагов, где эти растворы отделялись от магматических расплавов, для того чтобы постепенно могла накопиться вся масса кварца и полевых шпатов, слагающих пегматитовые тела. Между тем В. А. Николаев пишет о том, что пегматиты не имеют «видимой связи с материнскими породами». Кроме того, проходящие флюидные растворы в какой-то мере на пути своего движения должны были бы видоизменить соприкасающиеся с ними породы. Напомним, что пегматиты подстилаются породами очень пестрыми по своему минеральному составу. Благодаря этому какие-либо из разновидностей этих пород обязательно окажутся неравновесными с проходящими растворами и должны неизбежно видоизменяться. Вследствие этого у таких пегматитов должны были бы возникнуть явно видимые связи с материнскими породами. Между тем В. А. Николаев пишет, что такой связи нет. Опять противоречие.

Знаменательно, что как только авторы, вразрез со своими же справедливыми новыми общими теоретическими выводами о путях кристаллизации магматических расплавов, опровергающими коренные принципы прежних предположений А. Е. Ферсмана, высказывали свои конкретные представления о природе пегматитов, вполне согласующиеся со старой идеей А. Е. Ферсмана, неизбежно обнаруживались противоречия. Это наглядно показывает, что попытки примирить принципиально новые теоретические знания о существе процессов с прежними представлениями о конкретных путях формирования пегматитов едва ли могут дать положительные результаты. Новое содержание неизбежно ведет в конце концов к изменению и формы.

Характерно, что в своих последующих работах В. А. Николаев уже допускает вероятность участия в процессах формирования пегматитов и постмагматических растворов, поступающих в жилы с глубин. Например, в статье, опубликованной в 1946 г., он, подразделяя пегматиты на два типа — простые и сложные — так характеризует пути видоизменения жил сложного типа: «Более интенсивное проявление пневматолитового и гидротермального минералообразования и метасоматоза в сложных пегматитах связывается с поступлением и циркуляцией растворов..., что, вероятно, определяется меньшей замкнутостью системы на этих этапах, по крайней мере в пределах самой интрузии и ее ближайших окрестностей» [35, стр. 316].

Несмотря на это, пегматиты простого типа В. А. Николаев, вплоть до последнего времени, попрежнему считает образованными путем

¹ Предположение о том, что кварц и калиевые полевые шпаты пегматитов могли бы быть переотложены в жилы из боковых пород, явно невероятно, так как есть пегматиты, залегающие в породах, не содержащих этих минералов (амфиболиты, габбро-нориты).

кристаллизации и видоизменения в замкнутой системе. «Можно думать, что пегматиты вообще характеризуют относительно замкнутые магматические системы и не встречаются в условиях относительно открытых систем. Их образование естественнее ожидать (учитывая наше предположение о первичном содержании летучих в исходном расплаве) в конце II этапа (этапа магматической дистилляции). Таксы простые, или нормальные, пегматиты» [37, стр 119].

В 1947 г. А. Н. Заварицкий опубликовал работу, специально посвященную изложению новых взглядов на генезис пегматитов. Опираясь на рассмотренные выше новые представления о физико-химических условиях кристаллизации магматических расплавов, учитывая свои личные наблюдения над пегматитами Ильменского заповедника и явления перекристаллизации, известные в массивах магматических пород, он пришел к выводу, что особого «пегматитового» расплава вообще нет.

А. Н. Заварицкий так представлял процесс формирования пегматитов: «Таким образом мы приходим к совершенному отрицанию особой пегматитовой магмы или особого пегматитового расплава.

Образование главных минералов пегматита мы приписываем перекристаллизации тех же минералов под действием обособившейся «летучей фазы», находящейся в равновесии с этими минералами. Это явление перекристаллизации происходило *в практически замкнутой системе* (подчеркнуто нами, В. Н.).

Отрицая существование особой пегматитовой магмы или особого пегматитового раствора, мы можем, однако, говорить о пегматитообразующем растворе, вызывающем перекристаллизацию. Этот раствор — тот же самый раствор, в котором выносятся из магмы элементы рудных месторождений. В первые моменты по выделении он насыщен минералами материнской горной породы, но не насыщен еще редкими, свойственными пегматитам минералами и рудными минералами. Поэтому в эти первые моменты они из него еще не выделяются.

Дальнейшее поведение такого раствора известно. Эта выделившаяся летучая фаза (газовый раствор) диффундирует через боковые породы, и при этом, вследствие сложного состава раствора, выделяясь, он подвергается фракционной дистилляции. Состав раствора, который явился фактором «пегматизации», меняется и, вследствие этого изменения состава растворителя, из него начинают, с одной стороны, выпадать растворенные вещества, а с другой — бывшие в равновесии с ним минералы становятся уже неустойчивыми в изменившемся составе раствора, уже не находятся с ним в равновесии и подвергаются новому растворению и замещению новыми минералами.

Система из замкнутой становится открытой вследствие такого удаления из нее некоторых составных частей раствора. Это и отражается на минералообразовании и появлении метасоматических замещений минералов» [14, стр. 42—43].

В качестве фактических явлений, подтверждающих идею о возникновении пегматитов путем преобразования исходных обычных магматических пород, А. Н. Заварицкий указывал на следующее:

а) наличие реликтов с сохранившимися следами гнейсовидной структуры в пегматитах Ильменского заповедника;

б) постепенные переходы между вмещающими породами и пегматитом;

в) фельдшпатизацию и перекристаллизацию пород, соприкасающихся с жилами;

г) постепенные переходы между аплитовыми породами, частично слагающими жилы, и собственно пегматитами;

д) наличие в этих случаях отдельных крупных кристаллов полевого шпата внутри аплита с постепенным увеличением их количества при приближении к собственно пегматитовой породе.

По мнению А. Н. Заварицкого, промышленно ценные минералы — руды редких металлов и слюды — образовались преимущественно метасоматическим путем. Вместе с тем, он подчеркивает, что пегматиты образуются в замкнутой камере. Предполагается, что в первичном расплаве, занявшем полость жилы, были все те компоненты, которые входят в состав жил, в том числе и те вещества, которые вызывали явления метасоматического преобразования пород, составлявших жилу.

Говоря о последовательной смене характера системы от замкнутой к относительно открытой, А. Н. Заварицкий считает, что эта «открытость» системы создается только благодаря постепенной фракционной дистилляции растворов, возникших тут же в теле самого пегматита, за пределы жилы и сравнивает этот процесс как бы с постепенным испарением растворов (удаление их за пределы жилы).

Условиями этой постепенной дистилляции растворов за пределы жил определяется, как полагал А. Н. Заварицкий, и парагенезис промышленно ценных минералов в пегматитах.

«Ход дистилляции и сменяющее его потом удаление из пегматита гидротермальных растворов, получающихся при охлаждении газового раствора, является фактором, определяющим парагенезис редких, но характерных аксессуарных минералов пегматитов. В одних случаях могут быть вынесены почти все редкие элементы, в других — они задерживаются в растворе до значительной стадии охлаждения, и появляются минералы, отсутствующие в первом случае. Величина давления и ее изменения, с одной стороны, и скорость охлаждения, с другой, являются наиболее существенными причинами, определяющими ход дистилляции» [14, стр. 46].

Снова подчеркивается та же мысль, что расплав, занявший полость жилы, содержал в своем составе в самом начале все компоненты и в дальнейшем он мог только терять часть из них, уходящих во вмещающие породы.

Изложенные представления А. Н. Заварицкого о самом ходе процессов формирования пегматитов коренным образом отличаются от взглядов А. Е. Ферсмана. Вместе с тем, в представлениях А. Н. Заварицкого сохраняется основная идея А. Е. Ферсмана о том, что образование пегматитов происходило в замкнутой системе, что в самом магматическом расплаве с самого начала содержались все те вещества, которые вошли потом в состав пегматитов.

Предполагается, что единственным дополнительным источником этих веществ могут служить только породы, непосредственно вмещающие жилы, — те породы, с которыми вступают в реакции пегматиты в течение длительного процесса фракционной дистилляции растворов, выделяющихся за пределы жил во вторую стадию процессов их формирования.

Вследствие того, что основная идея А. Е. Ферсмана о замкнутости системы пегматитообразования сохраняется, генетические представления А. Н. Заварицкого, наряду с глубоко справедливыми новыми положениями, содержат и известные противоречия. Из-за этих противоречий генетические представления А. Н. Заварицкого трудно применить для разработки практически важных вопросов. Покажем это на нескольких примерах.

1. Согласно представлениям А. Н. Заварицкого, все вещества, входящие в состав пегматитов, содержались в исходном расплаве жил или

были заимствованы из пород, только непосредственно вмещающих пегматитовые тела. При рассмотрении гипотезы А. Е. Ферсмана и Д. С. Коржинского уже было показано, что этот тезис не совсем справедлив и в некоторых случаях направляет внимание практических работников по ошибочному пути. Следуя этому представлению, исследователи, например, слюдоносных пегматитов неизбежно приходили к полному отрицанию закономерной зависимости типа минерализации жил от состава вмещающих пород (Д. Т. Мишарев, В. С. Смирнова и многие другие, представления которых уже были рассмотрены выше).

2. Парагенезис минералов, образовавшихся в пегматитах метасоматическим путем, определяется особенностями химического состава первоначального расплава, из которого возникло пегматитовое тело, и условиями удаления растворов из тела пегматита. Известны месторождения, представляющие целые серии пегматитовых жил, принадлежащих к единой системе, зачастую непосредственно связанных друг с другом и, следовательно, образованных из одного и того же первоначального расплава. Однако содержание редких металлов в разных жилах одного и того же месторождения различно. Примером этого могут служить жилы литиевых пегматитов. Согласно идее А. Н. Заварицкого, в этих случаях из жил, содержащих малое количество редких металлов, эти элементы были вынесены дистиллирующими растворами во вмещающие породы. Следовательно, около таких жил вмещающие породы должны быть обогащены редкими металлами. Между тем, общеизвестно, что около пегматитов, бедных редкометальными оруденением, контактирующие с жилами породы также не содержат редких металлов. Как видим, идея не вяжется с фактами.

Если же допустить, что редкие металлы не уходили из жил, а количество их в пегматитах определялось той концентрацией редких металлов, которая создавалась в первоначальном расплаве, то мы вновь вернемся к представлению, рассмотренному при разборе гипотезы А. Е. Ферсмана. Концентрация промышленно ценных минералов в пегматитах целиком обусловлена специализацией первоначального расплава, заполнявшего жильное тело, той специализацией, которая создавалась на неведомых нам глубинах и потому недоступна достоверному выявлению в качестве поискового признака для жил, принадлежащих к единой возрастной системе.

3. Летучие компоненты — минерализаторы — покидали пегматиты, уходя во вмещающие породы. Известны месторождения, на площадях которых различные пегматитовые тела несут на себе разные следы деформаций, трещиноватости и прочих нарушений сплошности пород, слагающих жилы (рис. 2). При этом с большой наглядностью устанавливается, что известное размятие тел, блокирование слагающих их пород и возникновение трещиноватости в телах происходило в течение процессов формирования пегматитов (приуроченность ряда минералов, в том числе и промышленно ценных, к определенным трещиноватым зонам, пересекающим разнообразные кварцево-полевошпатовые породы жил) [27, 32]. Жильные тела исходных уже закристаллизованных твердых магматических пород, подвергавшихся, согласно идее А. Н. Заварицкого, позднейшим процессам видоизменения, не могли деформироваться и дробиться только внутри самих себя. Они залегают среди вмещающих пород. Деформация жил могла произойти, конечно, только при общей деформации заключающих их пород. Более благоприятные условия для удаления растворов из пегматитов создавались, естественно, в таких трещиноватых и деформированных пегматитах и вмещающих их породах. Поэтому в таких пегматитах, согласно идее А. Н. Заварицкого,

не должны были бы наблюдаться и высокие концентрации минералов, образованных метасоматическим путем, так как растворы, необходимые для их возникновения, легко покидали жилы. Между тем в действительности наблюдается как раз обратная зависимость. Более высокие концентрации промышленно ценных минералов встречаются в жилах, несущих явные следы деформации, происходившей в процессе их формирования [27, 30—32]¹.

4. Если допустить, что пегматиты формировались в замкнутой камере и что в расплаве содержались все редкие металлы, то чем же объяснить причину, которая препятствовала вхождению некоторых из металлов в качестве изоморфных примесей в состав ранних продуктов преобразования жил? А. Н. Заварицким очень хорошо и наглядно опи-

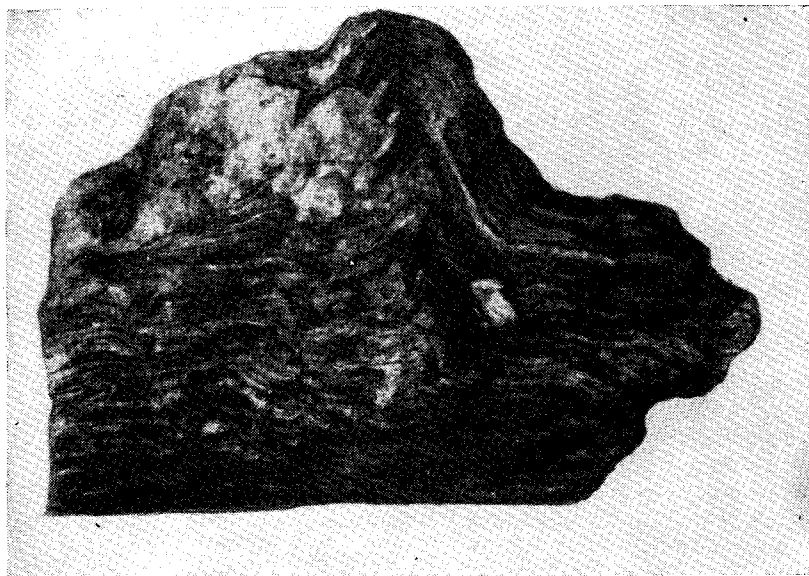


Рис. 2. Тип деформации кристаллов биотита, возникшей до образования кристаллов редкого минерала (более изометрические зерна), замещающие уже деформированный биотит

саны явления, свидетельствующие о том, что процесс амазонитизации микроклина в пегматитах Ильменского заповедника развивался во вполне уже сформированных крупных и гигантских кристаллах полевого шпата [15]. Этот процесс сопровождался изоморфным замещением калия рубидием и цезием. Пределы изоморфных замещений, способность одного элемента изоморфно замещать другой, как известно, всегда уменьшаются с понижением температуры. Почему же рубидий и цезий, если они были все время в замкнутой системе пегматита, не вошли в состав микроклина при более высокой температуре, в условиях более благоприятных, когда формировались кристаллы полевого шпата, а процесс амазонитизации развивался позднее при температурах более низких?

Явления позднейшей амазонитизации микроклина как раз, по мнению автора, и являются лучшим доказательством того, что растворы, приносившие рубидий и цезий, поступали в жилы извне.

5. В литературе описаны примеры, когда кларки радиоактивных элементов кварцево-полевошпатовых пород пегматитовых жил бывают

¹ Эта важная особенность жил исследователями раньше не отмечалась.

ниже кларков этих элементов в материнских интрузивных породах [16].

6. В замкнутом объеме пегматитового тела отделяющиеся от расплава летучие компоненты, как более легкая часть общей системы, естественно должны были бы концентрироваться в верхних частях пегматитов. Поэтому там же следует ожидать всегда и концентрацию всех промышленно ценных минералов, в том числе и слюд. При обзоре гипотезы А. Е. Ферсмана и взглядов К. А. Власова было показано, что эти представления для ряда месторождений не оправдываются. Влияние их отрицательно сказывается на ведении разведочных работ.

Характерно, что при рассмотрении явлений, связанных с перекристаллизующим влиянием магматогенных растворов в других геологических объектах, а не в пегматитах, А. Н. Заварицкий допускал мысль о поступлении растворов извне этих объектов. Рассматривая, например, вероятные условия метаморфизма гранито-гнейсовых комплексов и пути возникновения в них линз, прослоек и прожилок крупнокристаллических пород, по виду тождественных пегматитам, он предполагал, что скорее всего они возникают путем перекристаллизации гнейсов в местах, куда поступали постмагматические растворы, насыщенные теми же химическими веществами, из которых состоят сами гнейсы. Благодаря влиянию этих растворов гнейсы перекристаллизовывались в пегматит.

В другом случае, справедливо напоминая явные явления перекристаллизации, имеющие место в массивах изверженных горных пород, А. Н. Заварицкий писал: «Пегматитообразующий газовый раствор — это тот же газовый раствор, который возникает при кристаллизации материнской породы во всей ее массе. Мы его можем назвать остаточным раствором, поскольку он остается после того, как силикатовый расплав магмы превратился в горную породу. Действие этого раствора на насыщающие его минералы горной породы может происходить в любом месте, и оно лишь концентрируется и усиливается, давая явно осязаемые результаты, в тех благоприятных местах, где и возникает пегматиты.

Поэтому мы вправе ожидать явлений, приводящих к образованию и дальнейшему развитию пегматитов, в зачаточном виде во многих, а иногда и почти в любом месте материнской породы» [14, стр. 44—45].

Какой же реальной причиной может быть объяснено наличие перекристаллизации только в некоторых определенных местах массивных пород? Пегматитообразующие растворы, по мысли А. Н. Заварицкого, возникают во всей массе интрузивного тела и все же только в некоторых местах вызывают преобразование пород. Не свидетельствует ли это о том, что в таких преобразованных участках массивов осуществлялась концентрация растворов, собирающихся в эти места из некоторого объема окружающих пород? Кстати, при ближайшем ознакомлении всегда обнаруживается, что перекристаллизованные породы располагаются в форме линз или линзообразных «шлиров», ориентированных закономерно и параллельно определенной системе трещиноватости интрузивного массива. Иначе говоря, есть основания допускать поступление растворов из всего массива в определенные участки их концентрации, где и развивались, благодаря этому, явления преобразования пород. Следовательно, система преобразования пород не была на самом деле изолирована. Растворы поступали в нее. Напомним, что пегматитовые тела располагаются всегда вблизи материнских интрузий. Что же заставляет исследователей так упорно отстаивать изолированность системы формирования пегматитов? Почему отрицается естественная мысль о вероятном поступлении в пегматиты растворов, поднимающихся из нижних частей материнских интрузий?

Главной причиной, заставляющей исследователей защищать идею об изолированности системы формирования пегматитов, повидимому, является широко распространенное мнение о том, что в некоторых районах пегматитовые тела изолированы со всех сторон, что они совершенно выклиниваются как по простиранию, так и по падению. Мнение это составилось в значительной мере под влиянием первых сведений о некоторых типах пегматитов Карелии, приведенных в прежних работах И. А. Борисова, Н. Г. Судовикова, П. К. Григорьева и многих других. Проведение детальных геологоразведочных работ в последние 5—6 лет и данные глубоких эксплуатационных выработок показывают, что это мнение ошибочно. У жил, представлявшихся ранее изолированными, в ряде случаев были обнаружены проводники, соединяющие их с другими жилами или уходящие в глубь пород.

Рой, Шарма и Чаттопадхи [62] уже в конце 30-х годов нашего столетия сообщали о случаях, когда владельцы слюдяных копей в Индии рисковали проследивать такие тонкие подводящие каналы пегматитовых тел и в конце концов подходили по ним к другим слюдоносным пегматитам, залегающим глубже.

Итак, идея о замкнутости системы формирования пегматитов противоречит рассмотренным особенностям во взаимоотношениях между пегматитами и вмещающими породами, а в равной мере — и самим геологическим условиям залегания жил.

А. Н. Заварицкий предполагал, что минералы, образующиеся метасоматическим путем, возникали в разные периоды процесса, в частности и до окончательного формирования кварцево-полевошпатовых пород пегматитов.

«Пневматолитические минералы не добавочно внесены в «настоящие пегматиты», а отложились в них из тех же пегматитообразующих растворов, т. е. насыщенных кварцем и полевым шпатом, при их дифференциальной диффузии из пегматитового тела» [14, стр. 49].

«Некоторые редкие минералы пегматитов выпадают при изменении состава раствора вследствие его дистилляции очень рано, может быть пока еще не нарушено равновесие раствора с микроклином и кварцем. Они тогда оказываются включенными в эти минералы как более ранние выделения, и такие ранние выделения не следует смешивать с метасомами» [14, стр. 46].

К числу таких «рано выпадающих» минералов А. Н. Заварицкий отнес мусковит, берилл, в некоторых случаях шерл, гранат и разнообразные ниобо-танталаты. Это предположение А. Н. Заварицкого, как увидим ниже, не оправдывается. Все эти минералы образованы в конечные стадии процесса формирования пегматитов метасоматическим путем уже во вполне твердых и сформированных полевых шпатах и кварце.

Обзор генетических представлений А. Н. Заварицкого сводится к следующему.

1. А. Н. Заварицкий, в развитие идей Д. С. Коржинского и с учетом положений В. А. Николаева, высказал предположение о возникновении пегматитов путем преобразования обычных магматических пород.

2. Было показано, что прежнее предположение о существовании специфического «пегматитового» расплава, кристаллизация которого якобы приводила к возникновению пегматитов, следует совсем отвергнуть.

3. В отличие от взглядов Д. С. Коржинского и в согласии с А. Е. Ферсманом А. Н. Заварицкий предполагал, что процессы преобразования пород пегматита происходят в замкнутой системе без поступления в жилы растворов из глубинных частей материнских интрузий:

4. А. Н. Заварицкий наметил две типичные стадии в процессах формирования пегматитовых тел: 1) стадию перекристаллизации кварцево-полевошпатовых пород; 2) стадию течения преимущественно метасоматических явлений.

5. В отличие от взглядов Д. С. Коржинского А. Н. Заварицкий полагал, что и письменные граниты являются продуктом перекристаллизации исходных обычных магматических пород.

6. Предполагалось, что возникновение части ценных минералов, в том числе крупнокристаллических слюд, происходило до окончательного формирования кварц-полевошпатовых пород пегматита, поэтому упомянутые минералы, как более ранние, оказались включенными в полевые шпаты.

7. А. Н. Заварицкий полагал, что на тип минерализации пегматитов заметное влияние оказывали только те породы, с которыми пегматиты находятся в непосредственном контакте. Это влияние сказывалось во время дистилляции растворов за пределы жил.

8. Как неизбежный логический вывод из представлений А. Н. Заварицкого о том, что пегматиты формируются в замкнутой системе, вытекало и последнее предположение (важное в практическом отношении) — концентрация промышленно ценных минералов должна была осуществляться, главным образом, в верхних частях жил.

Трудно судить о последовательности процесса формирования пегматитовых тел, представляющих окончательный результат этого сложного процесса, когда все структурные и минеральные ассоциации, образованные в ранние стадии, переработаны последующими стадиями процесса. Именно с такими случаями и сталкиваются, как известно, исследователи многих пегматитовых тел Северной Карелии, Кольского полуострова, частично — Мамского слюдоносного района, и особенно, в подавляющем числе редкоминеральных пегматитов. В этих случаях исследователю, не видящему начальных стадий преобразования жил, естественно, открывается широкая возможность для самых разнообразных предположений о возможных путях формирования пегматитов. Гораздо реже встречаются пегматитовые тела, в которых непосредственным наблюдением удается проследить действительную последовательность процесса становления.

В этом отношении одним из наиболее благоприятных для изучения районов распространения жил являются пегматитовые поля Южной Карелии. Здесь было обнаружено большое число крупных пегматитовых тел. Некоторые из них испытали очень слабо проявленные преобразования. Почти на одну треть, а иногда и больше, они составлены первичными исходными породами. Благодаря этому по ним можно с отчетливостью проследить все последовательно сменяющиеся стадии процессов преобразования жил [27].

Как сообщалось в 1948—1949 гг., имеется ряд фактических явлений, свидетельствующих о том, что письменные граниты в пегматитовых телах образовывались не путем прямой эвтектической кристаллизации из расплава, как это представляет Д. С. Коржинский, а в результате перекристаллизации обычных гранит-аплитовых пород [27, 30]. Было обнаружено, что порфиробласты микроклинового и олигоклазового письменного гранита часто располагаются в виде цепочек в олигоклаз-микроклиновом гранит-аплите (рис. 3, 4) и внутри порфиробласт иногда встречаются реликты гранит-аплита. Оказалось, что встречаются все постепенные изменения формы структур письменных гранитов, начиная с беспорядочного включения множества изометрических зерен кварца внутри разросшихся порфиробласт полевых шпатов —

своеобразных как бы пойкилобластических структур (рис. 5), затем видоизменяющихся со все большим упорядочением кварцевых включений, изменением формы (рис. 6), исчезновением произвольно ориентированных кварцевых зернышек и разрастанием, укрупнением тех из них, которые оказывались в эпитактической ориентировке с полевым шпатом, хорошо подчиняющейся законам А. Е. Ферсмана. Этот ряд постепенного видоизменения форм письменных гранитов прослеживается вплоть до классических форм графических структур с геометрической правильностью крупных ихтиоглиптов кварца и их однозначной ориентировкой по отношению к вмещающему кристаллу полевого шпата.

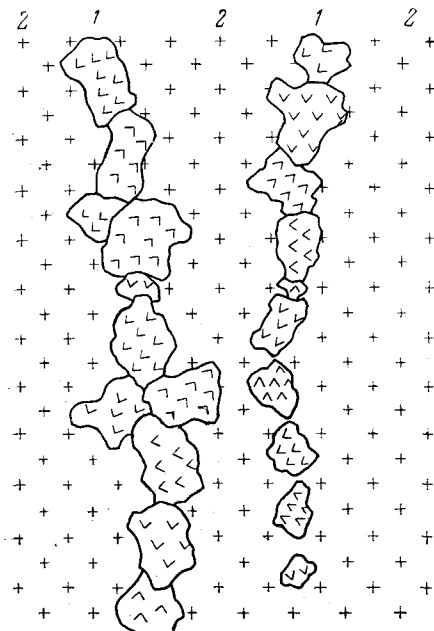


Рис. 3. Цепочки порфиробласт письменного гранита (1) в гранит-аплитовой массе (2) пегматитовой жилы

Было показано также, что фактические особенности пространственного расположения удлинённых ихтиоглиптов кварца внутри кристаллов полевых шпатов противоречат важнейшим особенностям структур кристаллизации эвтектических смесей [27].

Согласно идеям Д. С. Коржинского, В. А. Николаева и А. Н. Заварицкого было обнаружено, что в более поздние периоды процессов формирования жил письменные граниты, а в равной мере и исходные гранит-аплитовые породы, подвергались иному типу преобразования. В обоих этих типах пород развивались процессы собирательной перекристаллизации, которые приводили к полному обособлению крупных скоплений кварца и полевых шпатов (рис. 7—10), к возникновению в жилах гнезд и зон сливного кварца, с одной стороны, и мономинеральных полевых шпатов, с другой, и к созданию промежуточной между ними

зоны гиганто- и крупнокристаллических пород пегматитовой структуры. Были обнаружены все последовательные стадии развития этих процессов преобразования пород и создания основных текстурных особенностей жил. Оказалось, что в крупных пегматитовых телах, состоящих в значительной степени из гранит-аплитовых пород, участки собственно пегматитового сложения расположены в форме линз и удлинённых зон, подчиняющихся определенной ориентировке в телах пегматитов — в согласии с ориентировкой в них трещиноватости. Было обнаружено также, что наиболее интенсивно каждое последующее преобразование пород развивалось в том случае, когда предшествующие продукты преобразования оказывались более раздробленными и трещиноватыми [27, 30—32].

В пегматитовых жилах Карелии и Мамского района обнаружили явления, свидетельствующие о метасоматическом способе образования целого ряда минералов, ранее принимавшихся исследователями за продукты кристаллизации в свободной среде расплава [27, 28, 30—32]. По этой причине стала ясной ошибка прежних исследователей (геологов, разделявших идеи А. Е. Ферсмана), принимавших степень идиоморфиз-

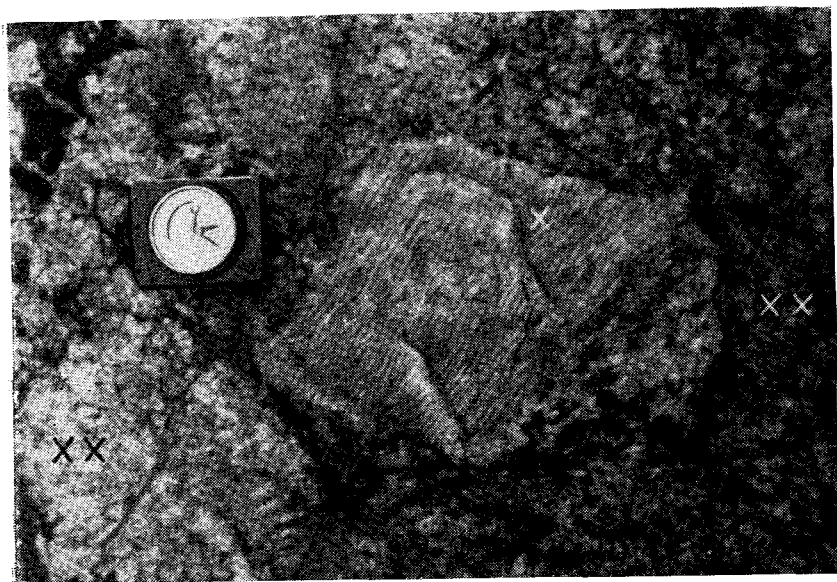
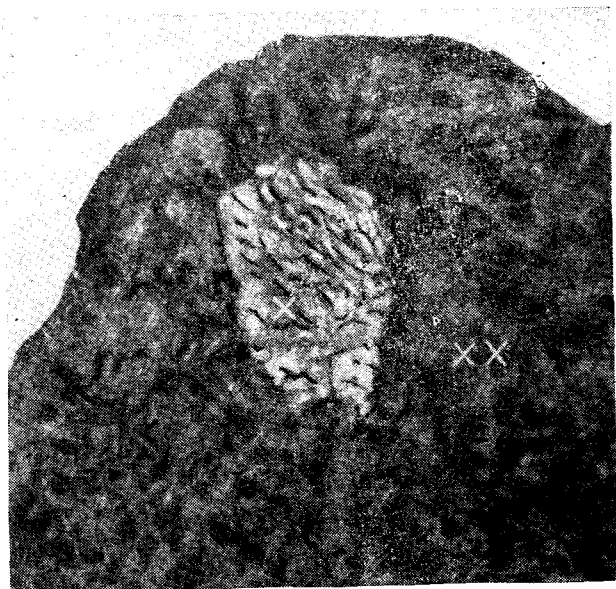


Рис. 4. Порфиробласты письменного гранита (X) в гранит-аплитовой
массе (XX) пегматитовой жилы

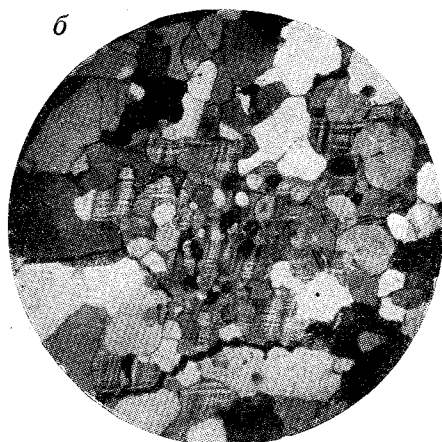
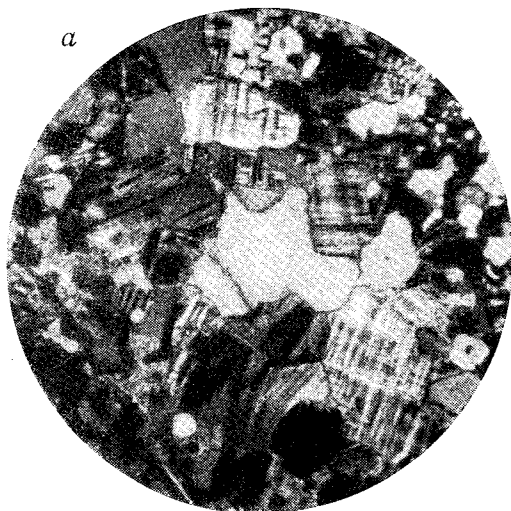


Рис. 5. Исходная гранит-аплитовая порода (*a*) пегматитовой жилы и разросшаяся в ней порфиробласта микроклина с пойкилитовыми включениями кварцевых зерен (*б*)

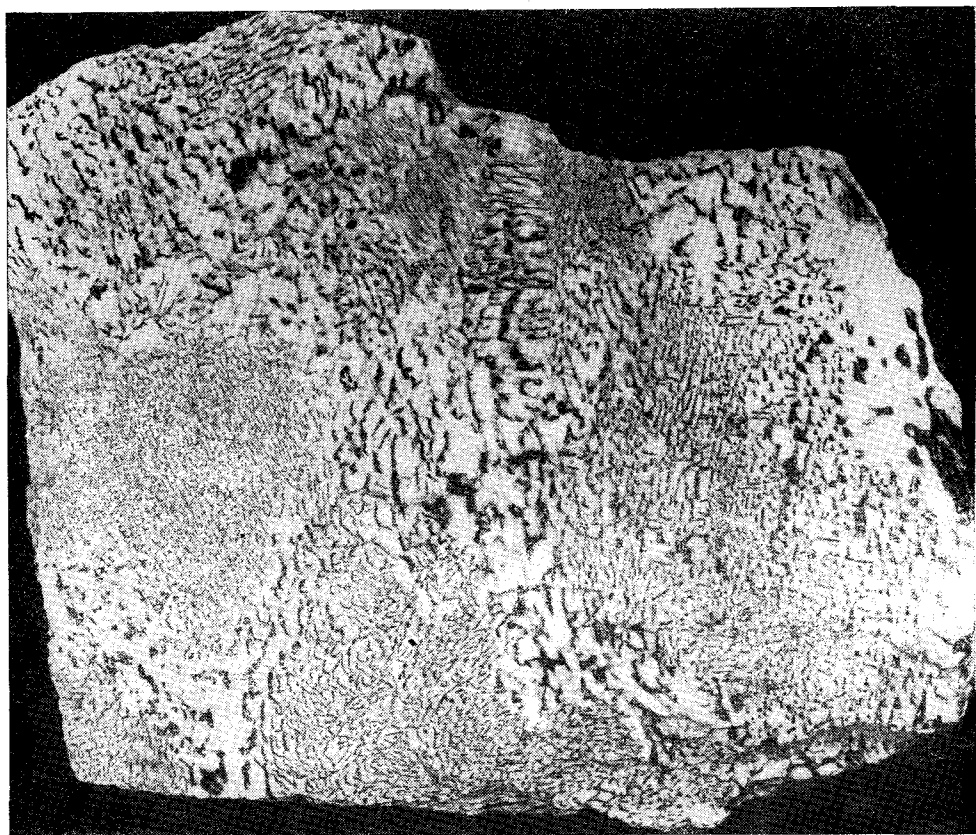


Рис. 6. Глыба микроклинового письменного гранита. Весь микроклин монокристалличен. Видно превращение мелких ихтиоглипт кварца в крупные, приуроченные к петлеобразным зонам

ма этих минералов за признак, указывающий на последовательность их образования (принцип Розенбуша). К числу наиболее показательных критериев метасоматического образования минералов относится: 1) наличие внутри метакристаллов реликтов незамещенной породы; 2) почечное или струйчатое расположение метакристаллов внутри крупных монокристаллических выделений замещаемых минералов или в породах пегматитовых жил. При этом особое внимание обращалось на то, что

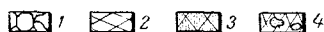
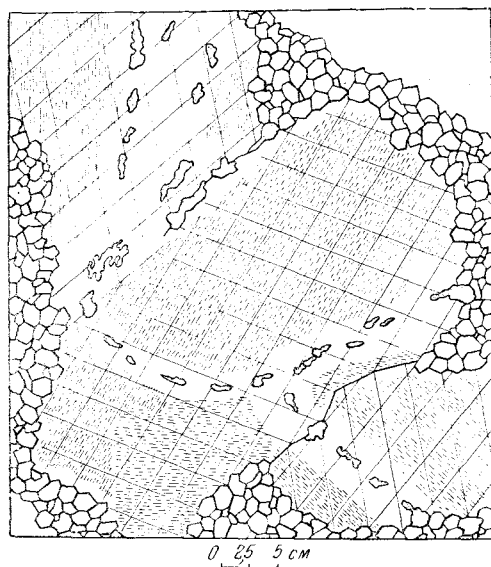


Рис. 7. Крупные обособления кварца, образованные путем сегрегации ихтиоглипт вдоль определенных зон, пересекающих письменные граниты:

1 — гранит-аплит; 2 — следы спайности в крупных кристаллах микроклина; 3 — ихтиоглипты кварца; 4 — крупные обособления кварца

оба эти критерия являются действительными только в случае совместного их наличия [32].

На основании этого было доказано, в противоположность представлениям Д. С. Коржинского, что все разновидности крупнокристаллического биотита, в том числе и биотита, встречающегося в письменных гранитах, являются позднейшими по отношению к породам, их вмещающим (рис. 11—13). Крупнокристаллический биотит всегда является продуктом метасоматического преобразования твердых, уже вполне сформированных кварцево-полевошпатовых пород пегматитов [30, 31, 32].

В противоположность представлениям А. Н. Заварицкого, выяснилось [27, 30, 32], что все редкие минералы в жилах керамических и слюдоносных пегматитов образовывались не одновременно с процессами перекристаллизации кварцево-полевошпатовых пород пегматитов, а позднее — метасоматическим путем уже во вполне сформированных породах (рис. 14—17).

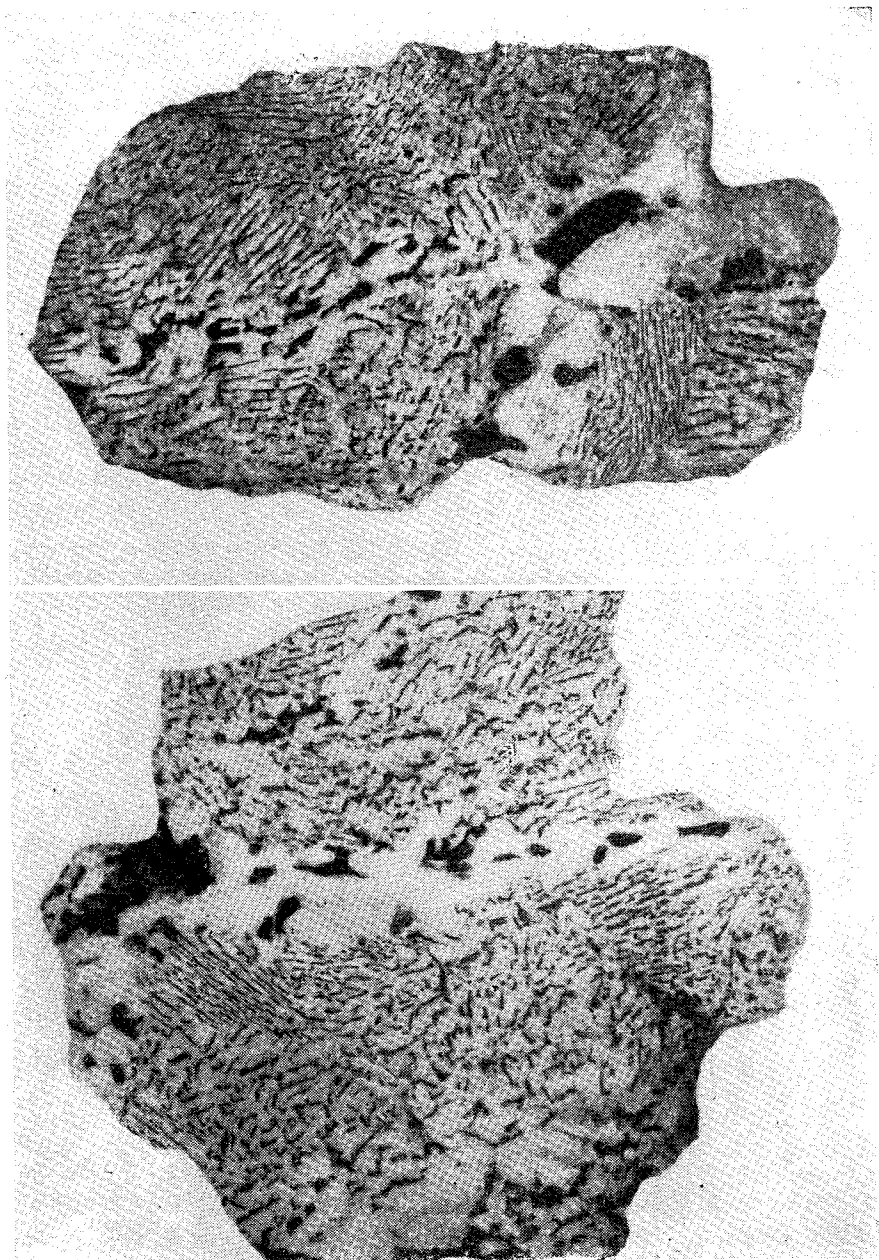


Рис. 8 Глыбы микроклинового письменного гранита. Весь микроклин в них мнокристалличен. В определенных зонах кварц ихтиоглилт сегрегирует в крупные кварцевые стяжения (черное)

Наиболее интенсивное проявление процессов метасоматического преобразования жил, накопления редких рудных минералов и слюд наблюдается как раз в тех пегматитовых телах, которые подвергались в процессе формирования наиболее интенсивным деформациям. Эта осо-

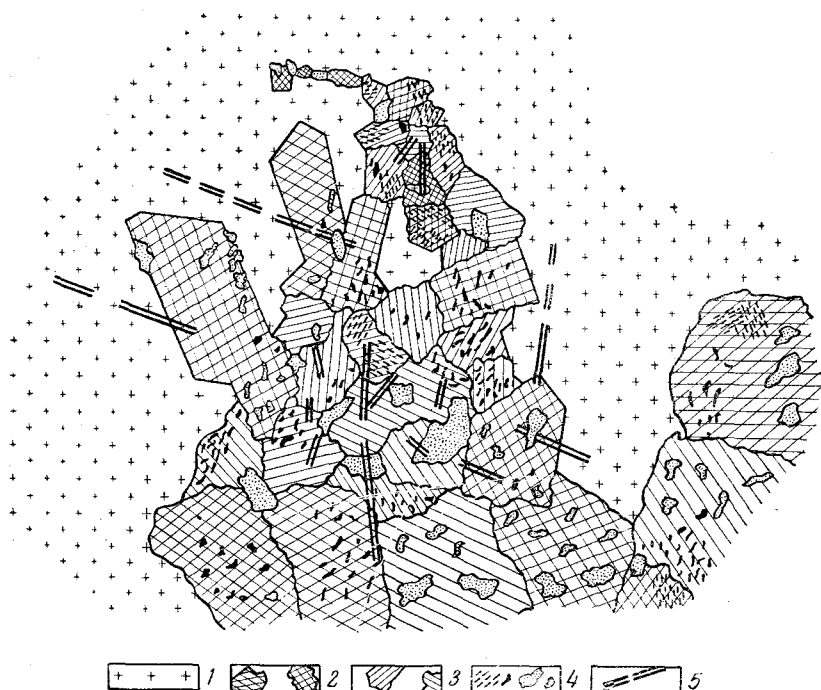


Рис. 9. Крупные кристаллы микроклина, плагиоклаза и кварца, образованные собирательной перекристаллизацией гранита в пегматитовой жиле: 1 — гранит; 2 — бластокристаллы микроклина и плагиоклаза (3); 4 — икхноглипты и крупные обособления кварца; 5 — крупнолистоватый биотит (Мамский район)

бенность, как указывалось выше, находится в резком противоречии с представлениями А. Н. Заварицкого о том, что парагенезис метасоматических минералов возникал в жилах под влиянием растворов, образующихся внутри самих пегматитовых тел по принципу замкнутой системы.

В пегматитах Карелии отчетливо наблюдается зависимость минерального состава жил от химических особенностей вмещающих и особенно подстилающих пород [28, 30].

На основании фактических явлений представилась возможность наметить общую последовательность всего хода процесса формирования пегматитов с выделением нескольких главных типичных стадий¹ и в каждой из них — ряда периодов, отвечающих созданию определенных парагенезисов минералов и пород со своими типичными для каждого периода структурными особенностями [27, 28, 30].

Имея в виду изложенное, было высказано предположение [27—32], что процессы формирования керамических и слюдоносных пегматитов протекали не в изолированной системе, как полагал А. Н. Заварицкий,

¹ В согласии со стадиями, выделяемыми Д. С. Коржинским, В. А. Николаевым и А. Н. Заварицким.



Рис. 10. Крупные бластокристаллы полевых шпатов (X) в гранитной массе (XX) пегматитовой жилы

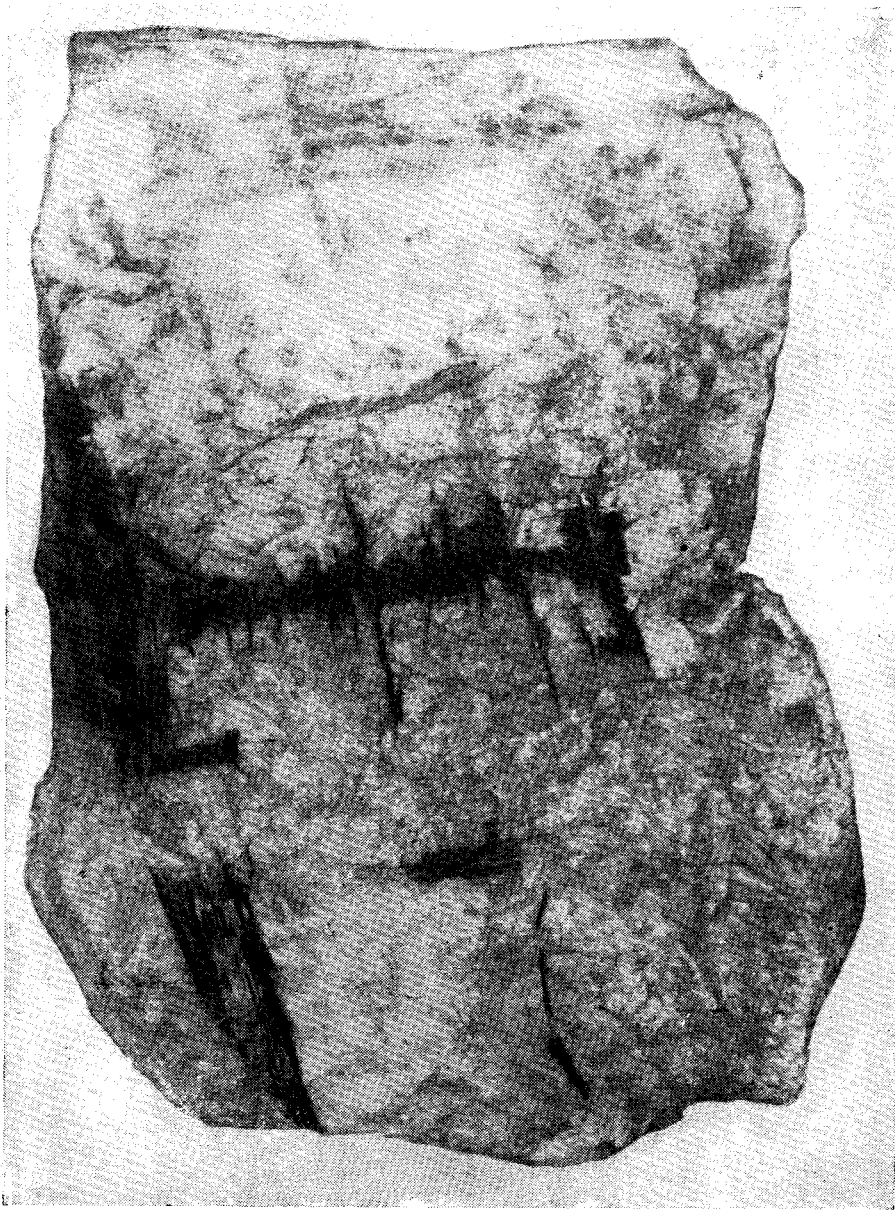


Рис. 11. Крупный листоватый метакристалл биотита (черное), заместивший, преимущественно вдоль трещин, гигантокристаллический пегматит

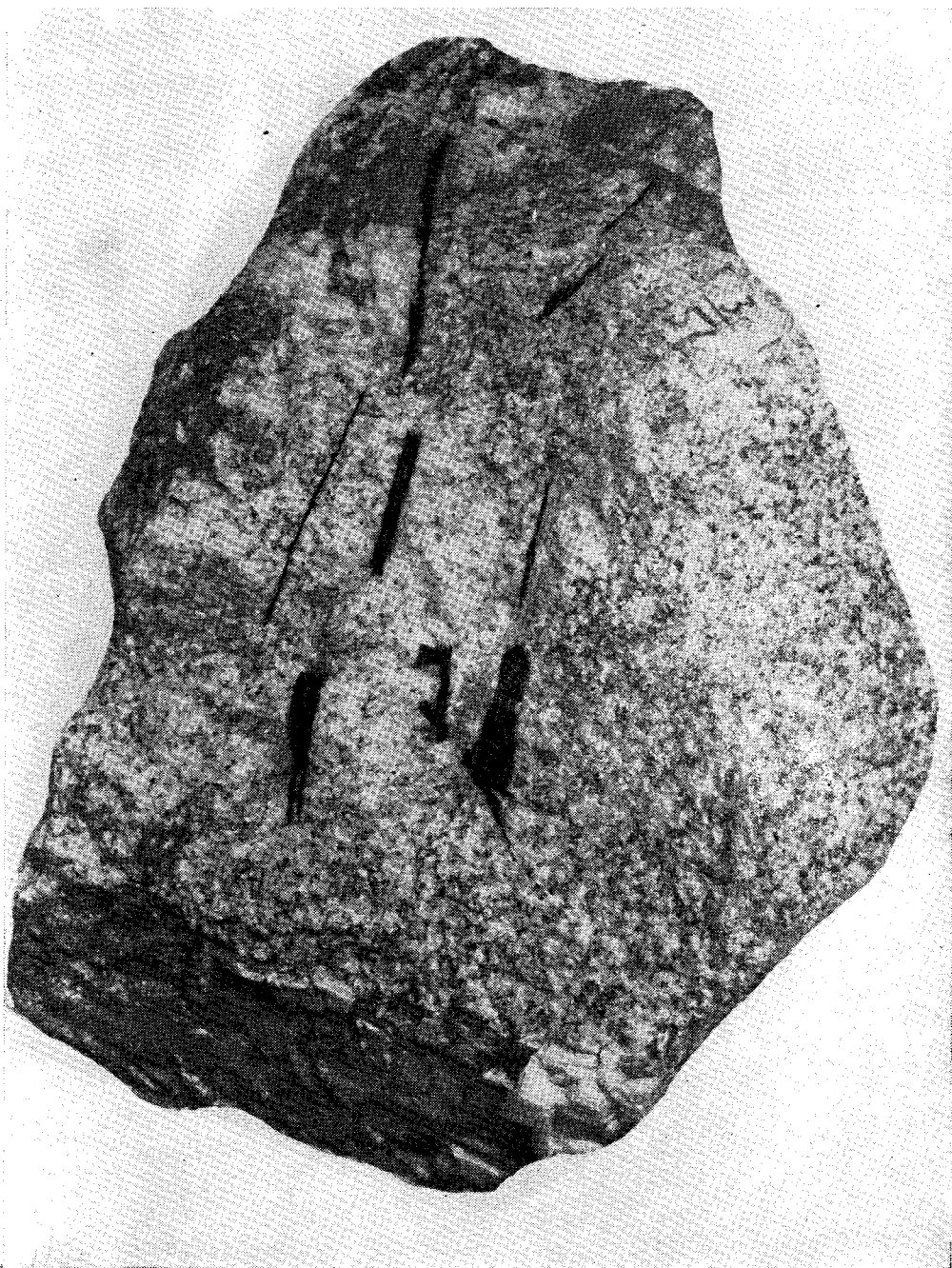


Рис. 12. Цепочка метакристаллов биотита в гранитной породе пегматитовой жилы

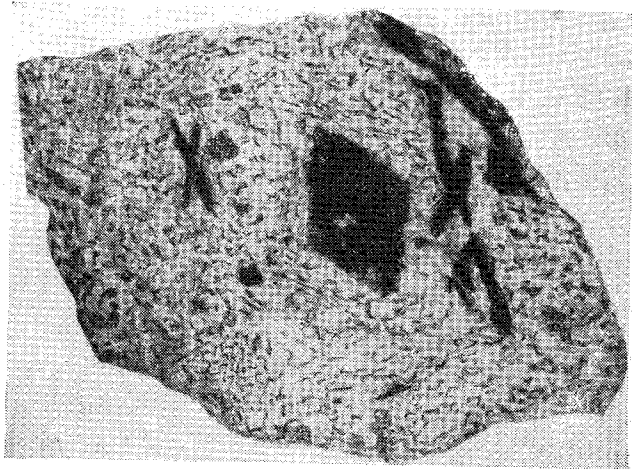


Рис. 13. Серия лейстовидных и ромбозидных метакристаллов биотита, образованных в плоскости одной трещины в письменном граните

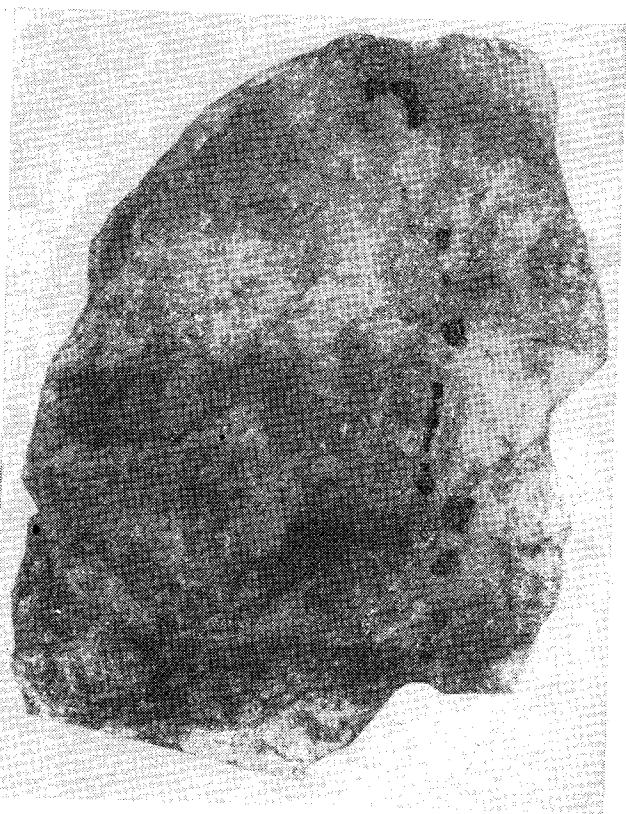


Рис. 14. Цепочка метакристаллов редкого минерала кубической сингонии в монокристаллическом полевоом шпате

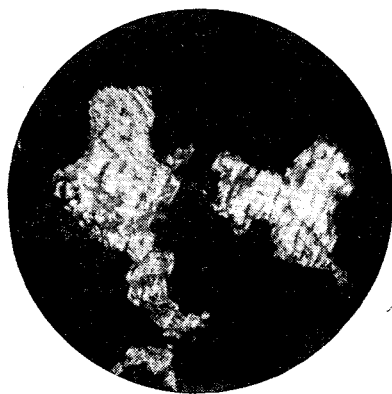


Рис. 15. Реликты полевого шпата в метакристаллах редкого минерала, взятых из образца, фотография которого приведена на рис. 14

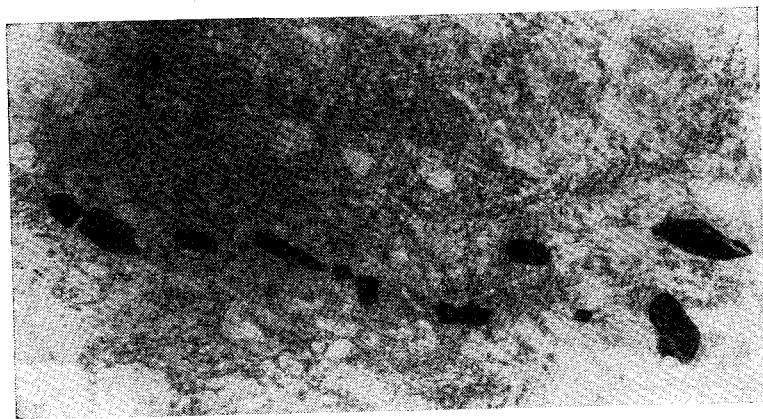


Рис. 16. Цепочка метакристаллов силикатного редкого минерала в пегматите

а под влиянием, главным образом, постмагматических растворов, проникавших в жилу с глубин, подобно тому, как это представлял себе Д. С. Коржинский. Однако отсутствие фактических данных, свидетельствующих о поступлении в жилы и выходе из них значительных объемов постмагматических растворов, затрудняет применение предположений Д. С. Коржинского о том, что создание зональных текстур жил происходило благодаря течению метасоматических процессов. Это обстоятельство заставляет принять, что процессы преобразования жил во время первой стадии развивались как явления перекристаллизации квар-

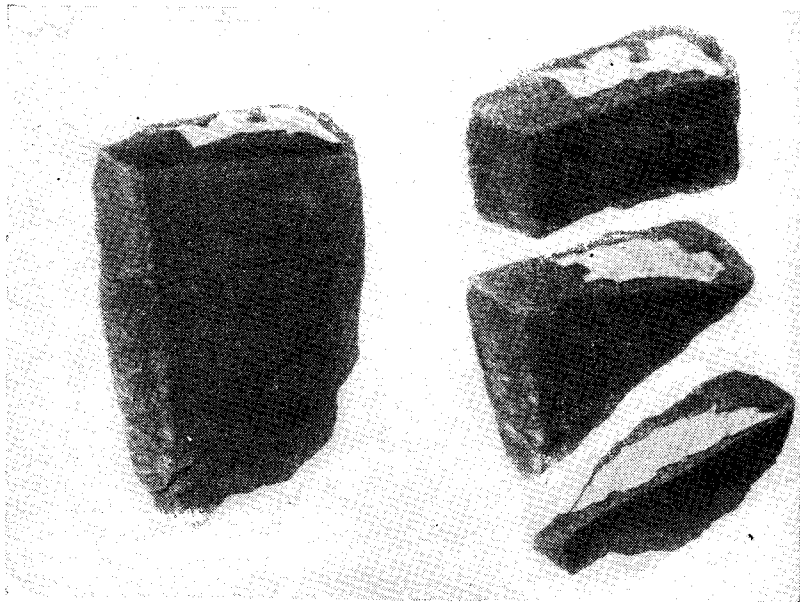


Рис. 17. Реликты плагиоклаза в метакристалле, взятом из образца, фотография которого приведена на рис. 16

цево-полевошпатовых пород, сопровождающиеся зональной дифференциацией кварца и полевых шпатов, и что эти процессы происходили под влиянием небольших объемов растворов, создававших лишь подвижную среду, необходимую для некоторого перемещения химических веществ (табл. 3), главным образом, в пределах самих жил [30].

Наблюдается явление, на первый взгляд, как будто противоречащее идее о поступлении в пегматиты постмагматических растворов. Почему, в самом деле, эти растворы поступают преимущественно в сами жилы, а не проникают по трещинам вмещающих пород и не превращают эти породы в пегматиты¹. Эти явления нашли себе объяснение в том, что пегматитовые жилы и их проводники бывают всегда наиболее слабым местом в общей геологической структуре (слабо залеченный шрам разлома), и при возникновении новых тектонических напряжений трещиноватость и расколы прежде всего естественно образуются в этих слабых местах.² Не забудем, что жильные тела только что затвердевших интрузивных пород обладают еще повышенным жаром и той разрыхлен-

¹ Преобразование вмещающих пород в пегматиты имеет место сравнительно редко. Перекристаллизация же ксенолитов гнейсов в пегматит — явление распространенное.

² Подобно тому явлению, которое известно при формировании рудных гидротермальных жил (43).

Общая схема последовательности процесса образования слюдоносных пегматитов Карелии по В. Д. Никитину [28]

Главные стадии процесса	Факторы, вызывающие процессы	Процессы	Минеральные и структурные особенности, ими образуемые
I II III IV V	Пульсирующие постмагматические растворы. Растворы в межгранулярном пространстве	ИНТРУЗИЯ подвижного магматического гранитоидного материала	
		Общая КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ	→ Гранит-аллиты, гранит-порфиры, неравнозернистые граниты (с толстолабильными слюдами и единичными кристаллами граната)
		Первая стадия ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ развивается от сети трещинок и зон с перекристаллизацией минерального материала преимущественно на месте	→ Образование кварц-полевошпатовых графических структур I типа (перекристаллизаций) в крупных блоках
	Na K Na ₂ (OH) ^{***} K	Вместе с перекристаллизацией слабый натровый метасоматоз	→ Начало образования пертитов
	Na, B K	Вторая стадия ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ с интенсивным перемещением минеральных веществ, гидролизом полевых шпатов и усилением натрового метасоматоза	→ Образование пертитов распада и начало образования пертитов замещения
		Третья стадия ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ дальнейшее развитие процесса	→ Сегрегационные структуры, мусковит первой генерации, алашит (мало), турмалин (мало) усиление пертитов замещения
	Mg, Fe, Na, P(OH) K, Si	МЕТАСОМАТОЗ Начальный период МЕТАСОМАТОЗА	→ Сегрегация полевых шпатов и кварца вплоть до образования минеральных зон и гнездобразных скопления усиление пертитов замещения турмалин, алашит, гранат (последних мало)
		Средний период МЕТАСОМАТОЗА	→ Пластинчатые, розетковые, таблитчатые слюды (мусковит второй генерации), гранат, местами усиление альбитизации с образованием торцовых пертитов замещения и альбититов, алашит
	Fe, Mg, Ca, Ti, Mn, Cu, редк. элем. P, S, CO ₂ K, Na, Si, Al	Период рудного МЕТАСОМАТОЗА	→ Листовый биотит, реже мусковит (третья генерация слюд), графиты
		Заполнение трещинок кварц-серпичитовым материалом СЕРПИЧИТИЗАЦИЯ полевых шпатов	→ Хлорит (по биотиту) гранат, магнетит, ильменит, сфен, алашит. Редкие минералы: пирит, магнетит, халькопирит и другие

* Воздействующие с последовательным изменением температуры, давления и концентрации компонентов

*** Значок $\downarrow$ показывает образование расколов, трещиноватостиИногда $\downarrow$ Mg и Fe, тогда в жилах образуется биотит и мусковит первой генерации или даже один биотит

ностью и трещиноватостью, которые создавались в них при затвердевании расплава и контракции. Эти особенности состояния жильных тел существенно отличают их от консолидированных слитных и более холодных вмещающих пород. Повидимому, благодаря всем этим причинам, растворы пульсируют при тектонических напряжениях преимущественно во всей системе пегматитовых тел, а не во вмещающих породах. Этой причиной, очевидно, объясняется и несравненно большая активность процессов преобразования пород жильных тел по сравнению с преобразованием вмещающих жилы пород.

Связь процессов формирования пегматитов с тектоническими напряжениями, имевшими место в период течения этих процессов, была особенно подчеркнута на фактических явлениях в пегматитах Южной Карелии [27], а позднее — на примере мусковитовых месторождений Северной Карелии и Мамского района [30—32] была показана зависимость текстурных особенностей жил от этих факторов [30] (рис. 18). Вместе с тем, обнаружилось, что тип трещиноватости, по которой проникали постмагматические растворы, находится в определенной зависимости от формы пегматитовых тел, и что закономерности пространственного размещения мусковита в жилах согласуются с типом трещиноватости. Последнее время вопросам изучения трещиноватости слюдоносных жил и выявления закономерностей связи формы жил с тектоническими особенностями условий их возникновения много внимания уделяет Г. Г. Родионов.

Начиная с 1948 г. автором обращалось внимание на то, что прежние представления А. Е. Ферсмана о приуроченности промышленно ценных минералов только к верхним частям жил являются ошибочными, и что при проведении разведочных работ следует считаться с возможностью оруденения и ослюденения пегматитовых тел на глубоких и нижних горизонтах жил. Позднее фактическому доказательству этого положения был посвящен ряд работ [27—31]. К настоящему времени выявляется все большее число пегматитовых тел, в которых ослюденение прослежено на очень большую глубину, иногда вплоть до полного выклинивания. Примерами этого могут служить жилы № 1 и 3 Лопатовой губы, жилы № 15 на Чуе и др.

В 1949—1950 гг. указывалось, что в слюдяных пегматитах Северной Карелии присутствует всего только три генерации промышленно ценных крупнокристаллических слюд [28]. В 1951 г. та же картина была обнаружена в слюдяных месторождениях Мамского района. Первая генерация возникла совместно с кварцем за счет разложения (гидролиза) полевых шпатов в период создания кварцево-полевошпатовых пород так называемой апографической переходной или, как называл автор, сегрегационной структуры (как это представлял себе и Д. С. Коржинский). Слюды второй генерации образовывались метасоматическим путем уже во вполне сформированных кварцево-полевошпатовых породах пегматита, замещая при этом и кварц, и полевые шпаты. Мусковит именно этой генерации в большей части месторождений представляет главную промышленную ценность (особенно в месторождениях Мамского района). Крупнокристаллическая слюда, залегающая в породах пегматита пегматоидной структуры, принадлежит как раз к этой генерации. Она была образована здесь позднее самой породы, ее заключающей, а не одновременно с породой, как это представлял себе Д. С. Коржинский и допускал А. Н. Заварицкий.¹ Крупные промыш-

¹ Никитин В. Д. Особенности образования кристаллов мусковита в пегматитовых жилах. Записки Ленинградского горного института, 1953, т. XXIX, вып. 2 (см. рис. 5—25).

ленно ценные кристаллы слюды этой генерации встречаются в породах пегматита и иных структур — сегрегационной, письменной и даже в исходных гранитах и гранит-аплитах, что зависит от степени трещиноватости всех этих пород, создававшейся к периоду метасоматического воз-

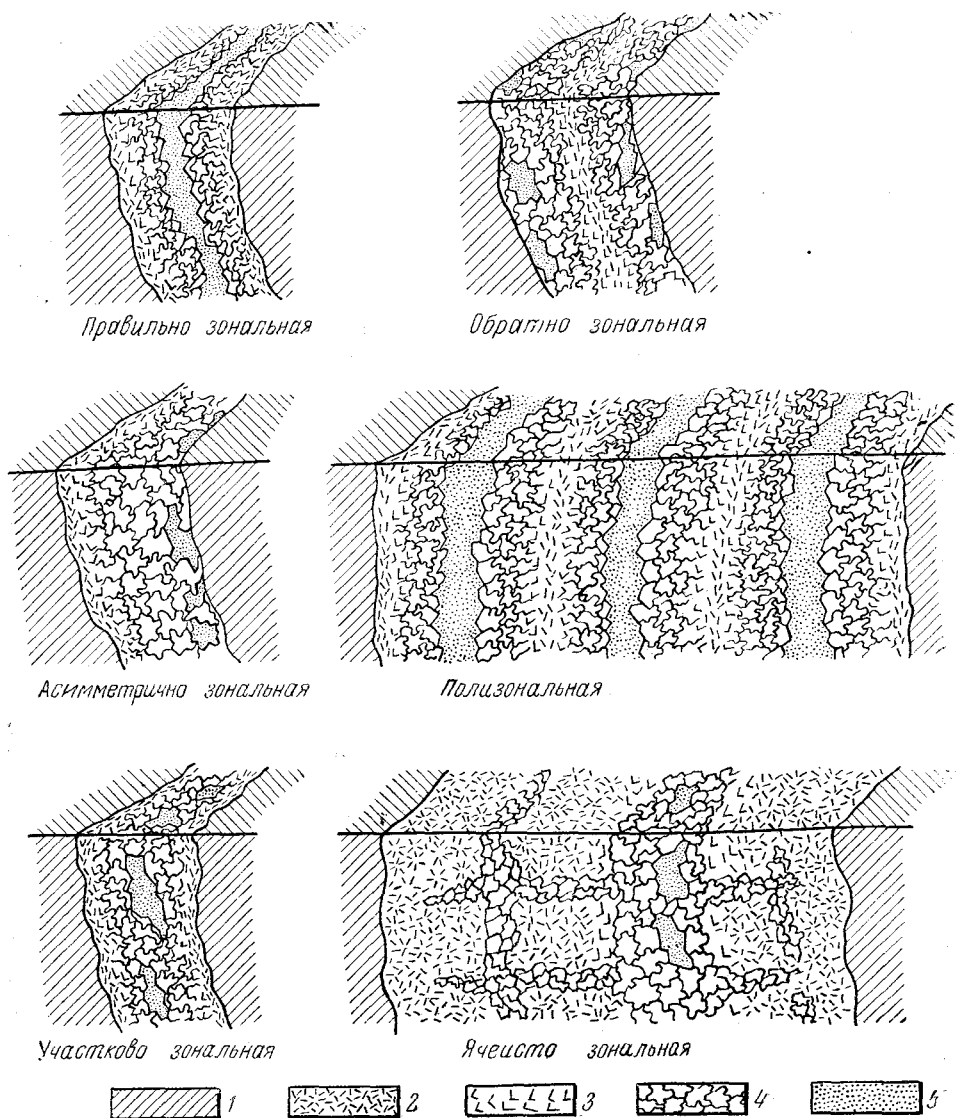


Рис. 18. Типы текстур пегматитов:

1 — вмещающие породы; 2 — гранитные, гранит-аплитовые и пегматит-гранитные породы; 3 — письменные граниты; 4 — крупнокристаллические полевошпатовые породы; 5 — сливной кварц.

никновения мусковита. Слюды третьей генерации (особенно часто они бывают представлены в мусковитовых месторождениях биотитом) возникали тем же путем, что слюды второй генерации.

На примере слюдяных месторождений Северной Карелии в 1950 г. было показано, что в глубоко справедливое в своем существовании представление Д. С. Коржинского о влиянии химического состава вмещающих:

пород на тип слюдообразования в пегматитах необходимо внести известные коррективы [28]. Во-первых, оказалось, что решающее влияние на тип слюдообразования оказывают не породы, непосредственно контактирующие с телом пегматита, как представляли себе Д. С. Коржинский и А. Н. Заварицкий, а породы, подстилающие жилы, — те породы, через которые поднимались с глубин постмагматические растворы к пегматитам (рис. 19). Во-вторых, оказалось, что присутствие дистена в этих породах совсем не обязательно, важно только, чтобы породы не содержали минералов, способных отдать калий проходящим растворам (не содержали бы микроклина), и не имели бы в своем составе большого количества железо-магнезиальных минералов. Такими породами являются раз-

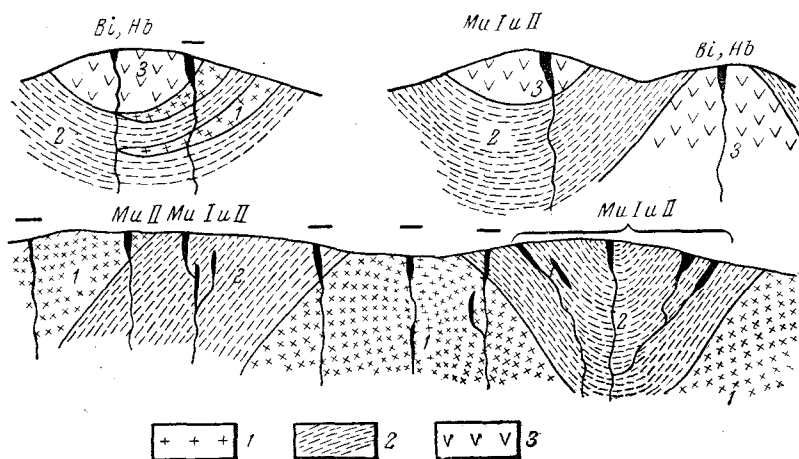


Рис. 19. Зависимость слюдообразования в пегматитовых жилах от состава подстилающих и вмещающих пород по В. Д. Никитину [30]:

1 — гнейсы с микроклином; 2 — разнообразные плагиоклазовые гнейсы; 3 — орто- и параамфиболиты; Ві и Нб — биотит и роговая обманка; Му I и II — мусковит первой или второй генераций; черта означает полное отсутствие слюды

нообразные плагиоклазовые гнейсы. Химическая сущность этих явлений была раскрыта в 1937 г. Д. С. Коржинским и рассмотрена выше. Поисковый признак мусковитовых месторождений по химическим особенностям вмещающих и подстилающих пород в настоящее время в Северной Карелии успешно используется промышленными организациями (работы треста Ленгеолслюда).

Выяснилось, что слюда, принадлежащая каждой из трех генераций, обладает своими закономерностями пространственного распределения в телах пегматитов [28, 30].

Обнаружилось также, что тонколистчатый и таблитчатый биотит, часто присутствующий в очень многих месторождениях мусковита, не срастается с мусковитом, как это представляет Д. С. Коржинский, а замещает его [29, 30]. Распределение биотита в мусковитовых месторождениях часто бывает неравномерным. Во многих случаях главная масса биотита встречается на местах выклинивания жил по простиранию, а также в верхней части пегматитовых тел. Биотит, развитый в верхней части жил, сменяется глубже мусковитом. Явление это находится в противоречии с прежними утверждениями А. Е. Ферсмана, указывавшего на обратную смену [49, стр. 172]. Между тем подмеченная особенность представляет определенный интерес в практическом отношении [31]. Знание ее позволяет переоценить ряд жил, расположенных на площадях развития продуктивных пород и содержащих в своих срезах на поверхности земли

значительное количество биотита. Более глубокие части этих жил могут оказаться мусковитоносными. Об этой особенности, впервые отмеченной автором в 1950 г., было доложено на совещании по генезису пегматитов в 1952 г. Учет этой особенности в практической деятельности привел, например, к выявлению промышленной ценности некоторых брошенных ранее жил в Карелии. Поверхность этих жил содержит большое количество биотита и почти не имеет мусковита. Мусковит в этих жилах содержится в промышленном количестве на глубине.

На примере исследования зональности и микрозональности кристаллов мусковита были обнаружены явления, свидетельствующие о пульсирующем поступлении в жилы постмагматических растворов [29—32]. Как показало изучение форм метакристаллов слюды, апатита, граната, турмалина и редких минералов, формы метакристаллов, а также химические составы минерала, принадлежащего к одной и той же генерации, в пегматитах не являются постоянными. На формировании всех этих минералов чрезвычайно сильно сказывались физические и кристаллохимические особенности сред, в которых развивались минералы [32]. Совокупность же особенностей сред метасоматического минералообразования в пегматитовых телах очень многообразна. Таким образом, становится очевидной ошибочность заключений многих предшествовавших исследователей пегматитов, принимавших признаки разнообразия форм, размеров и химических составов минералов в качестве критериев для выделения в пегматитах большего числа генераций одного и того же минерала.

На примере изучения слюды и полевых шпатов [27, 30, 31, 40—42]¹ было показано, что процессы преобразования пегматитовых тел захватывают не только кварц-полевошпатовые породы, слагающие жилы, что приводит к возникновению основных черт их текстуры, а видоизменяют также и сами уже созданные минералы (табл. 4).

Итак, после работ Д. С. Коржинского, А. Н. Заварицкого, В. А. Николаева и некоторых дополнений автора в настоящее время рассматриваемая гипотеза генезиса пегматитов состоит в следующем.

Пегматиты со всеми присущими им особенностями строения возникали из жильных тел обычных магматических пород (гранитов, гранит-аплитов) путем перекристаллизации этих пород и их метасоматического преобразования.

В первые стадии процесса формирования пегматитов преобразование пород, слагавших жилы, происходило, в основном, благодаря их перекристаллизации. Общий химический состав жилы сохранялся. В эти стадии создавались все главные, различные по структурным особенностям, кварцево-полевошпатовые породы, составляющие пегматитовые тела. Вместе с тем, происходило и дифференциальное перемещение веществ кварца и полевых шпатов внутри жил, приводившее к возникновению зональных текстур пегматитов. Химические (и минеральные) составы перекристаллизованной и исходной пород жилы заметно различаются только в тех случаях, когда состав пород вмещающих и особенно подстилающих пегматит сильно отличен от состава самой жилы [30].

В последующие стадии процесса роль метасоматических явлений возрастала и в разные периоды стадий, благодаря этому, возникали различные парагенезисы минералов, образовавшихся метасоматическим путем.

Предполагается, что превращение исходных магматических пород в пегматиты совершалось, главным образом, под влиянием постмагматических растворов, поступавших в жилы с глубин. Весь процесс

¹ Изучению постепенного видоизменения пертитового строения полевых шпатов особенно много труда посвятил С. А. Руденко [40—42].

Схематическая таблица
эволюции полевых шпатов в ходе процесса формирования интрузивных пегматитов Южной Карелии
 по В. Д. Никитину и С. А. Руденко [41]

Главные этапы процесса эволюции	Основные стадии процесса	Морфологические особенности полевых шпатов и структуры их взаимного срастания или срастания с кварцем, возникающие в процессе эволюции	Основные признаки полевых шпатов и структур полевопошатовых срастаний
Существенно перекристал- лизация	Прямая кристаллиза- ция из расплава Перекристаллизация с небольшим перемеще- нием материала	Зерна полевых шпатов ксеноморфны Образование письменных структур перекри- сталлизации (графика первого рода) Укрупнение зерен полевых шпатов с обра- зованием реликтовых структур перекристалли- зации: пойкилитовых, плагиоклаз-изопертитов перекристаллизации и др. Начало образования антипертитов перекри- сталлизации Начало образования пертитов распада	Микроклин решетчатый и непертитовый Плагиоклаз полисинтетически сдвойнико- ванный, без антипертитовых вростков Незакономерная ориентировка атомных струк- тур пойкилитовых вростков и вмещающих по- левых шпатов. Закономерная, но неоднозначная взаимная ориентировка атомных структур врост- ков и плагиоклаза „хозяина“ в плагиоклаз-изо- пертитах перекристаллизации Закономерная и однозначная взаимная ориен- тировка атомных структур плагиоклаза и микро- клина в антип-р-гитах перекристаллизации Закономерная и однозначная взаимная ориен- тировка атомных структур микроклина и аль- бита в пертитах распада Расположение пластинок альбита по закону (15-0-2)
Продолжение перекри- сталлизации и слабый натровый метасоматоз	Продолжение укрупнения зерен полевых шпатов и образования упомянутых выше сра- станий	Очертания зерен полевых шпатов изви- стые	Микроклин решетчатый и непертитовый или нерешетчатый, но пертитовый Плагиоклаз полисинтетически сдвойни- кован; иногда включает антипертитовые вростки микроклина Альбит пертитовых вростков, монокристаллен

Главные этапы процесса эволюции	Основные стадии процесса	Морфологические особенности полевых шпатов и структур их взаимного срастания или срастания с кварцем, возникающие в процессе эволюции	Основные признаки полевых шпатов и структур полевошпатовых срастаний
	Перекристаллизация с интенсивным переме- щением материала. Уси- ление натрового метасо- матоза	Начало образования сегрегационных, а затем и сегрегационно-метасоматических пертитов	Расположение пластинчатых вростков в сегре- гационных пертитах по законам (15-0-2) (100), $\pm$ (110), (201), (010) и (001). Взаимная ориенти- ровка атомных структур альбита и микроклина та же, что и в пертитах распада То же расположение пластинчатых вростков и та же взаимная ориентировка атомных струк- тур альбита и микроклина в сегрегационно- метасоматических пертитах, что и в сегрега- ционных пертитах. Вростки сегрегационно-мета- соматических пертитов могут пересекать стыки соседних зерен микроклина. Микроклин по мере укрупнения перти- товых вростков приобретает двойниковое строе- ние, а затем размеры неделимых двойниковой решетки увеличиваются
	Образование альбититов Очертания выделений полевых шпатов изви- стые	Продолжение укрупнения зерен полевых шпатов и образования упомянутых выше сра- станий Образование сегрегационных письменных структур (графика второго рода) Начало образования метасоматических пер- титов (относительно высокотемпературных; за- мещение ионного типа) Образование метасоматических кварцевых альбититов	Закономерная и однозначная взаимная ориен- тировка атомных структур альбита и микро- клина в метасоматических пертитах Приуроченность чаще всего вростков в мета- соматических пертитах к трещинам спайности и трещинам раскола Микроклин решетчатый и пертитовый Плагиоклаз полисинтетически свдвинико- ван; часто антипертитовый Альбит пертитовых вростков как моно- кристалльный, так и свдвиникованный по альби- товому закону

Существенно перекристаллизация	Завершение перекристаллизации. Дальнейшее усиление натрового метасоматоза Завершение перекристаллизации. Дальнейшее усиление натрового метасоматоза	Сегрегация полевых шпатов и кварца вплоть до образования мономинеральных зон. Продолжение образования упомянутых выше полевошпатовых сростаний Окончание процесса образования реликтовых структур перекристаллизации и антипертитов перекристаллизации Завершение процесса образования сегрегационно-метасоматических пертитов вплоть до образования грубых изометричных вростков. Завершение процесса образования метасоматических пертитов (высокотемпературных). Образование метасоматических антипертитов путем замещения плагиоклаза микроклином по трещинкам раскола	Взаимная ориентировка атомных структур микроклина и плагиоклаза закономерна и чаще однозначна
Существенно метасоматоз	Завершение перекристаллизации. Дальнейшее усиление натрового метасоматоза Метасоматическая стадия	Полевые шпаты приобретают собственные кристаллографические формы Образование метасоматических пертитов и антипертитов (среднетемпературного типа; замещение с разрушением кристаллической решетки микроклина) Образование мирмекситов Образование антипертитов, изопертитов и очень редко пертитов (низкотемпературного типа; замещение с разрушением кристаллической решетки микроклина) в процессе альбитизации Замещение полевых шпатов биотитом, мусковитом, апатитом, гранатом, а затем и рудными минералами Вторичные изменения полевых шпатов (серичитизация, пелитизация, жильбергизация)	Микрокли и грубошерстчатый и грубопертитовый Плагиоклаз полисинтетически сдвойнированный, иногда антипертитовый Альбит пертитовых вростков часто полисинтетически сдвойникован по альбитовому, а иногда и переклиновому законам Закономерная и однозначная взаимная ориентировка атомных структур микроклина и альбита (или олигоклаз-альбита) в пертитовых сростаниях среднетемпературного типа Закономерная, но неоднозначная взаимная ориентировка атомных структур вростков и вмещающего полевого шпата в пертитовых сростаниях низкотемпературного типа

формирования пегматитов от начала и до конца протекал по принципу открытой системы.

Формирование пегматитов происходило в течение длительного периода в изменяющихся со временем физико-химических условиях (табл. 5). Главные стадии преобразования жил происходили под влиянием надкритических растворов. С течением времени температура раство-

Таблица 5
Схема общей последовательности течения процесса формирования пегматитов по В. Д. Никитину [31]

Процессы	Полная кристаллизация магматического расплава	Видоизменение твердых пород пегматитовых тел					
Главные факторы, вызывающие процессы	Падение температуры 850-750°	Влияние на твердые породы жил пульсирующих постмагматических растворов, проникающих в жилы по трещиноватым зонам в условиях изменяющихся температур, давления и концентрации компонентов в растворах. В небольшой степени влияние межгранулярных растворов, оставшихся после кристаллизации расплава. 600-575° ($\alpha Q \rightarrow \beta Q$) Надкритические растворы					
Характер взаимного обмена между растворами и породами пегматита		Na ↓ K Na, OH ↓ K Na ↓ K Na, OH ↓ K, Si Fe, Mg, Mn, Ti, TR, Cu ↓ K, Na Водные растворы Редкие металлы: K, Si, Fe, Mg, Mn, Ti, TR, Cu, Na, Al, Si, Al					
Главные стадии процесса	Магматическая кристаллизация	II Метасоматоз					
Характерные периоды процесса	Образование зернистых магматических гранитных или аллитовых пород	Образование писменных гранитов	Образование пегматитовых пород	Образование пород пегматитовой структуры, зон и гнезд мономинеральных галечных шпатов и кварца	Образование преимущественно соединений B, P, OH и легких металлов	Образование преимущественно соединений тяжелых металлов	
Минералы	Микроклин						
	Плагиоклаз						
	Кварц						
	Слюды 2)						
	Турмалин						
Минералы	Апатит						
	Гранат						
	Редкие минералы						
	Окислы железа						
	Сульфиды						

→ Привнос

→ Вынос

===== Период образования минерала путем кристаллизации из расплава и раствора

~~~~~ Период образования минерала путем перекристаллизации

----- Период кристаллизации минерала метасоматическим путем

1 — характер взаимного обмена зависит от состава подстилающих жил пород и пегматита [28, 30];

2 — состав слюд зависит от химических особенностей подстилающих жил пород [28, 30]; 3 —

ранняя генерация мелколистчатых и чешуйчатых слюд; 4 — чаще биотит, чем мусковит;

5 — поздняя генерация мелколистчатых и чешуйчатых слюд (жилбертит, серицит)

ров падала. В последний период процесса минералообразования (преимущественно метасоматическое) происходило под влиянием гидротерм. В определенных физико-химических условиях, в результате преобразования жил, создавались типичные только для этих условий структурные разновидности кварцево-полевошпатовых пород, слагающих пегматиты, а при метасоматических явлениях — типичные парагенезисы минералов.

Все минералы, являющиеся рудами редких металлов, и крупнокристаллические промышленно ценные слюды образовывались в пегматитах только метасоматическим способом.

Крупнокристаллические слюды принадлежат к трем различным генерациям. Каждая из них возникла в специфических условиях и обладает своими закономерностями пространственного размещения в пегматитовых жилах.

Пути для проникновения постмагматических растворов в жилы в тот или иной период их формирования, а следовательно, и возникновение тех или иных продуктов преобразования пород, определялись тектоническими факторами и особенностями пород пегматита, подвергавшихся влиянию постмагматических растворов.

Тип трещиноватости жил, служившей путями для проникновения растворов, зависел, кроме того, от формы пегматитовых тел, особенностей их текстур, создававшихся к периоду возникновения трещиноватости, и от геологических условий залегания жил.

Все перечисленные условия, влиявшие на процессы преобразования жил, в разных случаях бывали разнообразными. Этим объясняется возникновение пегматитов с различными типами текстур (рис. 18) — нормально зональных, обратно зональных, асимметрично зональных, полизональных, пегматитов с ячеистой и участковой текстурами и др. [30]. Эта же причина существенно сказывалась на разнообразии минерализации разных жил, принадлежащих к единой системе, и на вариациях закономерностей распределения промышленно ценных минералов в телах пегматитов.

Этими положениями гипотезы устанавливается причинная зависимость особенностей текстур пегматитов и их минерализации от реальных геологических условий залегания жил и тектонических факторов, влиявших на процессы формирования пегматитов. Эта зависимость вполне доступна изучению и выявлению, в противоположность практически недоступной для реального познания причине специализации на неведомых глубинах «пегматитовой расплава», создающей разнообразие жил, по А. Е. Ферсману.

Благодаря многообразию условий процессов преобразования жил, создававшихся в различных пегматитах, концентрация промышленных минералов в них осуществлялась в разных местах жил. Закономерности пространственного распределения этих минералов в разных жилах бывают различными. Жилы, в которых ценные минералы сконцентрированы, главным образом, в верхних частях, являются лишь частными случаями. Наряду с такими жилами имеются пегматиты ослюденелые на всю глубину, вплоть до выклинивания. Есть жилы, содержащие мусковит преимущественно в нижних частях. Встречаются пегматиты, в которых ослюдование распределено спорадически — гнездами и столбами.

Приуроченность промышленно ценных минералов к участкам жил, имеющим пегматоидное сложение, является только частным, широко распространенным явлением, а не постоянной закономерностью. В этих породах пегматитов так же, как и во всех других, ценные минералы образовывались метасоматическим путем. Широко распространены жилы, в которых трещиноватость, способствовавшая течению метасоматических преобразований, была развита преимущественно в породах сегрегационной, письменной и гранит-пегматитовой структур. В таких жилах главная масса ценных минералов концентрировалась в этих трещиноватых породах, а участки пегматитов, обладающие пегматоидным сложением, остались пустыми.

Этими положениями гипотезы устанавливается определенная причинная зависимость закономерностей пространственного размещения про-



мышленно ценных минералов в жилах от вполне доступных для изучения и выявления реальных особенностей строения жил и типа трещиноватости слагающих их пород. Внимание поисковиков и геологоразведчиков мобилизуется на необходимость глубинной разведки пегматитовых тел, и даются поисковые признаки, способствующие более верной перспективной оценке жил по их выходам на поверхность.

В отличие от предыдущей гипотезы, предполагается, что постмагматические растворы проникали в жилы в небольших объемах. Поэтому они не могли в течение процессов преобразования пегматитов внести в жилы заметные количества алюмосиликатных компонентов и вынести их за пределы пегматитовых тел. Некоторое изменение общего химического состава жил по этой причине могло происходить, главным образом, за счет легкорастворимых компонентов — щелочных металлов, разнообразных минерализаторов, растворимых соединений редких и радиоактивных элементов и, в меньшей степени, щелочноземельных металлов и железа.

Состав петрогенных элементов, заключающихся в жилах, видоизменялся в течение процесса формирования пегматитов благодаря двум причинам.

1. Биметасоматическим реакциям между веществами жил и вмещающими породами. Течение этих реакций совсем не нуждалось в больших объемах постмагматических растворов, а требовалось наличие только тонких пленок межгранулярных «порových» (термин Д. С. Коржинского) растворов той подвижной среды, благодаря которой развивались медленно идущие реакции обмена компонентов между пегматитом и вмещающими породами.

2. Влиянию веществ, содержащихся в постмагматических растворах. Состав петрогенных элементов в этих растворах во многом зависел от химических особенностей пород, подстилающих пегматиты, — тех пород, с которыми реагировали медленно просачивающиеся постмагматические растворы на своем пути к пегматитовым жилам.

Из корневых частей магматических масс в пегматитовые жилы приносилась растворами только основная часть разнообразных минерализаторов и редких элементов.

Характер течения биметасоматических реакций между пегматитом и вмещающими породами, а также, что особенно важно, влияние на состав жил поступающих постмагматических растворов находились в строгой зависимости от соотношения химических составов пород и жил.

В том случае, когда ниже пегматитовых тел и вокруг них расположены породы того же химического состава, что и сами жилы, постмагматические растворы мало изменяли химический состав пегматитов; биметасоматических реакций между жилами и вмещающими ее породами почти не было. Тогда общий химический состав пегматитов в течение всех стадий их преобразования более или менее сохранялся<sup>1</sup>. Некоторое изменение состава происходило только благодаря частичному превращению (в определенных стадиях процесса) полевых шпатов в слюды, которое сопровождалось частичным выносом из пегматитов щелочных металлов и соответствующим входением в состав минералов жил гидроксила. Масштабы процессов превращения полевых шпатов стояли в зависимости от содержания калия в самих пегматитах и в породах, расположенных ниже жил и окружающих жилы (рис. 19). Препятствием для процессов превращения служило высокое содержание калия. Наиболее благоприят-

<sup>1</sup> Исключение из этого правила составляют жилы, в которые постмагматическими растворами были привнесены значительные количества редких элементов.

ные условия для слюдообразования в пегматитах создавались тогда, когда в составе жил из полевых шпатов резко преобладали плагиоклазы, а ниже пегматитов и вокруг них располагались разнообразные плагиоклазовые гнейсы и сланцы. Присутствие в породах, подстилающих жилы, больших количеств железо-магнезиальных минералов приводило к тому, что постмагматические растворы на своем пути к пегматитам обогащались этими компонентами. Благодаря этому в жилах образовывался не мусковит, а биотит.

Если ниже пегматитовых тел располагались породы, химический состав которых резко отличен от состава пегматитов, то постмагматические растворы в течение процессов преобразования заметно изменяли состав жил. Интенсивно проходили и реакции обмена компонентов между пегматитом и вмещающими его породами. В результате, в этих условиях каждый последующий продукт преобразования пегматитов по своему общему химическому составу заметно отличается от предшествующего и тем более — от исходной магматической породы.

Этими положениями гипотезы устанавливается причинная зависимость типа минерализации пегматитов, в частности слюдообразования, от химических особенностей подстилающих и окружающих жилы пород и от общего химического состава самих исходных магматических пород жил. Эта зависимость вполне доступна изучению и реальному выявлению, в противоположность практически недоступной для познания причины специализации на неведомых глубинах больших объемов постмагматических растворов, якобы приносящих в жилы целиком или в очень большой мере все новые компоненты, входящие в состав минералов (по Шаллеру, Ландесу и др.).

Привнос в жилы редких элементов при формировании типичных слюдоносных и керамических пегматитов (Карелия, Мамский район, Бирюса) невелик, так же как и соответствующий вынос веществ, замещенных этими элементами.

Выносимые из жил вещества в основном усваиваются вмещающими породами. Вследствие малого объема выходящих из жил растворов и очень небольших количеств выносимых ими веществ, над пегматитами образуется зона измененных пород только очень небольшой мощности и она быстро исчезает в толщах, покрывающих жилы.

В других типах пегматитов — редкометалльных, привнос минерализаторов и редких элементов более значителен, так же как и соответствующий вынос из жил замещаемых веществ. В них часто обнаруживаются явления, непосредственно указывающие на вынос значительных объемов веществ, составлявших ранее жилы — присутствие миарол и занорышей. Над пегматитами этих типов должны быть более интенсивно проявлены и изменения пород, покрывающих жилы.<sup>1</sup>

Общая схема последовательности хода процесса формирования пегматитов, протекающего при изменении физико-химических условий, приведена в табл. 5.

Резюмируя краткий обзор содержания разбираемой гипотезы, следует отметить.

1. Процессы формирования пегматитов этой гипотезой рассматриваются в естественной теснейшей связи с главными особенностями геологической среды их возникновения: тектоническими факторами; геологическими условиями залегания жил, определяющими форму пегматитов, а в зависимости от этого и тип трещиноватости жильного тела; влиянием

<sup>1</sup> Это явление, которое несомненно должно иметь место в природе, до последнего времени не было должным образом оценено как поисковый признак слепых редкометалльных пегматитов.

постмагматических растворов, поступающих в жилы из магматических материнских массивов; химическими и физическими особенностями пород, окружающих пегматитовые жилы, и пр. Внимание исследователей ориентируется на выявление всех этих особенностей, вполне поддающихся реальному учету, а тем самым способных служить и соответствующими поисковыми критериями. Ряд новых поисковых признаков, разработанных для слюдоносных пегматитов на основании этой гипотезы и вразрез с прежними генетическими представлениями, в настоящее время оправдался.

2. Гипотеза эта заставляет коренным образом пересмотреть принципы перспективной оценки жил, построения прогнозов о глубине ослюдоения и оруденения пегматитовых тел и ведения разведочных работ. Ею устраняется прежнее ошибочное представление о том, что промышленно ценные скопления слюды (а равно и редкометального оруденения) должны ожидать только в верхних частях пегматитов.

3. В методическом отношении гипотеза предостерегает исследователей от прежнего одностороннего увлечения формальным признаком идиоморфизма минералов в качестве критерия, во всех случаях свидетельствующего о последовательности в образовании минералов. При решении этих практически важных вопросов она ориентирует геологов на необходимость всестороннего уточнения фактов, считаясь с тем, что минералообразование в жилах протекало разнообразными путями: перекристаллизацией, метасоматозом и только в небольшой мере — путем кристаллизации в свободных средах. Вместе с тем, гипотеза предполагает теснейшую связь и зависимость форм минералов, образующихся метасоматическим путем и их химических составов от всей многообразной совокупности кристаллохимических, физических и физико-химических особенностей среды их возникновения.

4. Гипотеза намечает связь между процессами формирования пегматитовых тел, метасоматическим накоплением в них промышленно ценных минералов и общим развитием в соответствующий период всей геологической структуры вмещающей толщи пород. Путь этот еще только намечен. Он открывает известные перспективы для будущего, вразрез с прежними представлениями о пегматитах, как о телах, развивающихся в замкнутой системе, в значительной мере как бы изолированно от всей окружающей геологической природы, т. е. вразрез с тем путем, движение по которому в основном уже закончилось два десятилетия назад.

Следовательно, рассматриваемая гипотеза вернее отражает истинные особенности процессов формирования пегматитов, несмотря на то, что далеко не все еще стороны ее доведены до исчерпывающей ясности.<sup>1</sup>

Заканчивая краткий обзор главнейших генетических представлений, необходимо подчеркнуть, что ошибочные взгляды некоторых исследователей явились следствием односторонних логических умозаключений. Эти исследователи формулировали свои представления, не учитывая в должной мере тех фактических явлений, которые свидетельствуют об истинных взаимоотношениях минералов в жилах, о самой последовательности развития процессов формирования пегматитов — не выявляя той основы, знание которой вообще совершенно необходимо для построения сколько-нибудь достоверной гипотезы. В связи с этим, не забывая всей важности изыскания общей физико-химической

<sup>1</sup> Например, не все еще ясно в представлениях об истинных причинах и путях развития процессов сегрегации минералов при создании основных текстур жил.

трактовки процесса формирования пегматитовых тел, нельзя не вспомнить справедливое выражение А. Н. Заварицкого, которым он закончил свою классическую работу по физико-химическому обоснованию представлений о генезисе пегматитов.

«Мы видели, как термодинамические представления помогают в определенной постановке вопроса, но решение его дедуктивным путем сейчас невозможно. Надо в тщательном изучении самих пегматитовых тел, в их форме, составе, структуре и отношениях к окружающим горным породам найти такие признаки, которые заставили бы выбрать одно из возможных предположений. Надо объяснить с точки зрения выбранного предположения как можно больше конкретных фактов, наблюдавшихся в пегматитовых телах, а чтобы доказать правильность именно этого предположения, надо показать несоответствие конкретных фактов другим предположениям» [13, стр. 39].

Автор приносит свою искреннюю признательность А. Н. Заварицкому, П. М. Татаринovu, Д. С. Коржинскому, В. А. Николаеву, И. И. Шафрановскому, П. П. Боровикову, П. Н. Маркову и С. А. Руденко за неоднократный обмен мнениями по затрагиваемым в статье вопросам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беус А. А. О зональности гранитных пегматитов. Известия АН СССР, серия геологическая, 1951, № 6.
2. Борисов П. А. Керамические пегматиты КФ ССР. Петрозаводск, 1948.
3. Бунтин Г. Н. О структурах замещения в Чупицких пегматитах. Записки Ленинградского государственного университета, серия геологоразведочная, 1936, № 2.
4. Бунтин Г. Н. О генезисе мусковитовых пегматитов Северной Карелии. Записки Ленинградского государственного университета, 1939, № 49.
5. Власов К. А. Значение форм пегматитов. Доклады АН СССР, 1943, № 9.
6. Власов К. А. Тектурно-генетическая классификация гранитных пегматитов. Доклады АН СССР, 1946, т. 53, № 9.
7. Власов К. А. К вопросу о генезисе пегматитов. Доклады АН СССР, 1951, т. 78, № 2.
8. Власов К. А. Тектурно-парагенетическая классификация гранитных пегматитов. Известия АН СССР, серия геологическая, 1952, № 2.
9. Гинзбург А. И. О монографии американских геологов «Внутреннее строение пегматитовых тел». Известия АН СССР, серия геологическая, 1952, № 3.
10. Гинзбург А. И. О некоторых группах гранитных пегматитов, образовавшихся в различных геологических условиях, и их оценке. «Разведка недр», 1952, № 2.
11. Григорьев П. К. Слюдяные пегматиты Северной Карелии. Сб. «Слюды СССР», изд. ЦНИГРИ, 1937.
12. Заварицкий А. Н. Геологический и петрографический очерк Ильменского заповедника. Изд. Главного управления заповедника, 1939.
13. Заварицкий А. Н. Основной вопрос физической химии процесса образования пегматитов. Известия АН СССР, серия геологическая, 1944, № 5.
14. Заварицкий А. Н. О пегматитах как образованиях промежуточных между изверженными горными породами и рудными жилами. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1947, № 1.
15. Заварицкий А. Н. Об амазоните. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1943, № 1.
16. Комлев Л. В. Некоторые вопросы геохимии урана и радия в гранитных магмах. Сборник памяти В. И. Вернадского, изд. АН СССР, 1936.
17. Коржинский Д. С. Петрологический анализ флогопитовых и мусковитовых месторождений Восточной Сибири. Сб. «Слюды СССР», изд. ЦНИГРИ, 1937.
18. Коржинский Д. С. Фильтрационный эффект в растворах и его значение в геологии. Известия АН СССР. Серия геологическая, 1947, № 2.
19. Коржинский Д. С. Биметасоматические флогопитовые и лазуритовые месторождения архея Прибайкалья. Труды Геологического института АН СССР, 1947, вып. 2.
20. Коржинский Д. С. Инфильтрационная метасоматическая зональность и образование жил. Известия АН СССР, серия геологическая, 1951, № 6.
21. Коржинский Д. С. Инфильтрационный метасоматоз при наличии температурного градиента и приконтактовое метасоматическое выщелачивание. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1953, № 3.

22. Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов. Сб. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях», изд. АН СССР, 1953.
23. Лабунцов А. Н. Пегматиты Северной Карелии и их минералы. Пегматиты СССР. Изд. АН СССР, 1939, т. 2.
24. Марков П. Н. Ионское месторождение мусковита (Северная Карелия). Труды Московского геологоразведочного института. 1936, т. 3.
25. Марков П. Н. и Лашев Е. К. Слюдя (оценка месторождений при поисках и разведках, руководство для геологов). Госгеолиздат, 1948.
26. Мишарев Д. Т. Мамско-Витимско-Чуйские месторождения слюды. Труды Всесоюзного геологоразведочного объединения ВСНХ СССР, 1932, вып. 154.
27. Никитин В. Д. Основные черты генезиса пегматитов Южной Карелии. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1949, № 3.
28. Никитин В. Д. К генезису мусковитовых пегматитов Северной Карелии. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1950, № 4.
29. Никитин В. Д. Зональность и микрозональность в мусковите. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1952, № 2.
30. Никитин В. Д. Процессы перекристаллизации и метасоматоза в слюдоносных и керамических пегматитах. Записки Ленинградского горного института, 1952, т. XXVII, вып. 2.
31. Никитин В. Д. Особенности образования кристаллов мусковита в пегматитовых жилах. Записки Ленинградского горного института, 1953, т. XXIX, вып. 2.
32. Никитин В. Д. Особенности процессов формирования минералов при метасоматических явлениях. Кристаллография (Труды Федоровской научной сессии 1953 г.), 1954, вып. 4.
33. Николаев В. А. О процессах отделения летучих соединений магмы. Известия АН СССР, серия геологическая, 1944, № 5.
34. Николаев В. А. Диаграмма равновесия бинарной системы типа силикат-вода. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1945, № 2.
35. Николаев В. А. О тройных системах с летучими компонентами и принцип ограниченной растворимости летучих в силикатных расплавах. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1946, № 4.
36. Николаев В. А. О тройных системах с летучими компонентами и этапах глубинного магматического процесса. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1947, № 1.
37. Николаев В. А. К вопросу о генезисе гидротермальных растворов и этапах глубинного магматического процесса. Сб. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». Изд. АН СССР, 1953.
38. Петровская Н. В. Пегматиты Мамско-Витимского слюдоносного района. Раздел в монографии А. Е. Ферсмана. «Пегматиты». Изд. АН СССР, 1940.
39. Петровская Н. В. Гиганто-магматитовый тип пегматитов Мамско-Витимского района. ОНТИ, 1937.
40. Руденко С. А. К вопросу о морфологии пертитовых сростаний полевых шпатов. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1949, № 4.
41. Руденко С. А. Полевые шпаты керамических пегматитов Южной Карелии. Записки Ленинградского горного института, 1952, т. XXVII, вып. 2.
42. Руденко С. А. Морфолого-генетическая классификация пертитовых сростаний. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1954, № 1.
43. Смирнов С. С. О современном состоянии теории образования магматогенных рудных месторождений. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1947, № 1.
44. Стулов Н. Н. К минералогии пегматитовых жил Гиссарского хребта. Записки Ленинградского горного института, 1939, т. XXII, вып. 2.
45. Судовиков Н. Г. Структура будинаж в гранитизированных областях. Доклады АН СССР, 1947, № 8.
46. Ферсман А. Е. Материалы к минералогии острова Эльбы. Bull. Socnat Moscou, 1909, т. XXII. Переиздано в «Избранных трудах» академика А. Е. Ферсмана. Изд. АН СССР, 1952.
47. Ферсман А. Е. Письменная структура пегматитов и ее возникновение. Известия АН СССР, серия 6, 1915, т. IX, № 12.
48. Ферсман А. Е. Успехи изучения пегматитов гранитных магм. Известия АН СССР, серия геологическая, 1939, № 2.
49. Ферсман А. Е. Пегматиты. Изд. АН СССР, 1940.
50. Uspensky N. M. The genesis of the granitic Pegmatit. American Mineralogist 1943, № 28.
51. De Beaumont. Elie. Note sur les emanations volcaniques et metallifères. Bull. Soc. Geol. Fr. Ser. II, Paris. 1846—1847, 4 pp. 1254, 1291—1296, 1309, 1314, 1316.
52. Brögger V. C. Die Mineralien der svenitpegmatitgänge der Südnorwegischen Augit und Nephelinsyenite, Zeitschr. f. Krist. 16, 1890.

53. Cameron E. N., Johns, R. H., Mc Nair A. H. and Page I. R. Internal structure of granitic pegmatites. *Econ. Geol. Mon.* 2. 1949. Перевод под ред. А. Н. Заварицкого. Изд. иностр. лит., 1951.
  54. Delesse, A. Memoire sur la construction mineralogique et chimique des roches des Vesges: sur la pegmatite avec tourmaline de Saint Etienne. *Ann. des mines* (4). 1849.
  55. Gevers T. W. Phases of mineralization in Namaqualand pegmatites. *Geol. Soc. South. Africa Trans. and Proc.* 1937.
  56. Goranson R. W. The solubility of water in granite magmass. *Am. Journ. of Sci.*, 1931, № 132.
  57. Goranson R. W. Silicate-water systems: phase equilibria in the  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$  and  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$  systems at high temperatures and pressures. *Am. Journ. of Sci.*, 1938, 35, A.
  58. Jahns R. H. The genesis of pegmatites. *American Mineralogist*, 1953, № 7—8.
  59. Landes K. K. Paragenesis of the granite pegmatites of central Maine. *Amer. Mineralogist*, 1925, № II.
  60. Landes K. K. The Baringer Hill, Texas, pegmatite. *Amer. Mineralogist*, 1932, № 8.
  61. Niggly P. Versuch einer natürlichen Klassifikation magmatischer Erzlagerstätten. *Abh. prakt. Geol.* 1925. I.
  62. Roy, S. K., Sharma N. L., Chattapadhyay G. G. The Micapegmatites of Kodarma, India. *Geol. Mag.* 1939. № 4.
  63. Schaller W. T. Genesis of lithium pegmatites. *Am. Journ. Sci.*, 1925, 10.
  64. Schaller, W. T. Pegmatites: ore deposits of the Western States (Lindgreen Volume). Chap. III, 1933.
  65. Vogt J. The physical Chemistry of the Magmatic Differentiation of Igneous Rocks, *Det. Norsk. Vid. — Akad. Skr. J — Mat, naturvidke*, 1930, № 3.
  66. Wahlstrom E. E. Graphic Granite: *Am. Mineral.* 1939, № 11.
-