

Е. Н. КАМЕРОН, Р. Г. ДЖАНС,
А. Г. МАК НЕЙР и Л. Р. ПЕЙДЖ

ВНУТРЕННЕЕ
СТРОЕНИЕ
ГРАНИТНЫХ
ПЕГМАТИТОВ

Б. Н. КАМЕРОВ И Д. П. ДУДИН
А. Г. ВОЛКОВ - Л. А. ВОЛКОВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО

И. И. ВОЛКОВ И Д. П. ДУДИН
ЗНАКИ И СЛОВА

И*Л

Издательство
иностранной
литературы

и *

1951

INTERNAL STRUCTURE
of
GRANITIC PEGMATITES

by

E. N. CAMERON, R. H. JAHNS,
A. H. McNAIR and L. R. PAGE

Monograph 2
Economic Geology

URBANA, ILLINOIS

1949

Е. Н. КАМЕРОН, Р. Г. ДЖАНС,
А. Г. МАК-НЕЙР и Л. Р. ПЕЙДЖ

552.32

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ГРАНИТНЫХ ПЕГМАТИТОВ

Перевод с английского
М. А. ЗАВАРИЦКОЙ

Под редакцией и с предисловием
акад. А. Н. ЗАВАРИЦКОГО

1951

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва



268

АННОТАЦИЯ

Книга представляет монографию, посвященную вопросам внутреннего строения зональных пегматитов. Для советских геологов книга представляет интерес прежде всего тем, что в ней сведен обширный фактический материал, полученный в результате длительных работ многих американских геологов по изучению строения гранитных пегматитов. Главным образом отражены результаты работ, произведенных в военные годы (1939—1945), когда резко возросла нужда в стратегическом сырье, извлекаемом из пегматитов. Структурные особенности зональных пегматитов рассматриваются в монографии главным образом с морфологической точки зрения, но обсуждается также и происхождение структурных единиц пегматита. Книга рассчитана на широкий круг геологов, занимающихся изучением пегматитов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга «Внутреннее строение гранитных пегматитов» представляет интерес прежде всего тем обширным фактическим материалом, который в ней собран. В ней сведены результаты работ по изучению строения пегматитов. Работы эти производились сотрудниками Геологического учреждения США в военные, 1939—1945, годы, когда нужда в стратегическом сырье, которое извлекается из пегматитов, заставила разведывать и разрабатывать в США такие пегматитовые месторождения, какие при других условиях, вероятно, не были бы вскрыты и изучены; точно так же не были бы так освещены, как это сделано в данной книге, и некоторые стороны строения пегматитов. Как указывают авторы, их книга подводит итоги работ по изучению строения пегматитов, охватывая в целом 68 «геолого-лет», и понятно, что насыщенность книги фактическим материалом очень велика. С этой стороны она является весьма интересной.

Но не следует рассматривать эту книгу как монографию о пегматитах вообще. В ней говорится лишь об одной из особенностей пегматитов, именно о строении очень важных в практическом отношении расслоенных пегматитов. Если вспомнить то обстоятельство, что гораздо чаще, чем последние, встречаются пегматиты нерасслоенные, то надо признать, что и относительно строения пегматитов книга не охватывает эти образования полностью.

Советский читатель, вероятно, увидит еще недостаток предлагаемой книги в том, что структурные особенности расслоенных пегматитов рассматриваются в ней главным образом с морфологической точки зрения и что мало уделено внимания вопросам генезиса, которые у нас привлекали главное внимание.

В советской литературе мы имеем превосходные работы по пегматитам; особенно можно указать обширную монографию акад. А. Е. Ферсмана. В теоретическом отношении образование пегматитов рассматривалось у нас с разных точек зрения и более углубленно, чем это имеет место в предлагаемой книге американских авторов. Они не могли, однако, уклониться от основного вопроса — о происхождении структурных единиц пегматитов и, прежде всего, выделяемых ими зон. Ответ на этот вопрос они дают лишь в виде общей схемы, рассматривая зоны как последовательные продукты кристаллизации. Аргументация их в пользу этой схемы ссылкой на аналогию с кристаллизацией интрузивных тел

изверженных пород является слишком упрощенной. В советской науке такое представление является по существу уже пройденным этапом в развитии теории пегматитов, хотя оно еще поддерживается некоторыми нашими исследователями.

Таким образом, книга Камерона, Джанса, Мак-Нейра и Пейджа не лишена ряда недостатков, но тем не менее она дает много нового, достаточно полно и систематически излагая такие факты, с которыми нельзя не считаться при исследовании пегматитов; при этом она захватывает такие стороны, которые сравнительно мало освещались ранее. Эти факты могут быть пробным камнем для различных предлагавшихся и вновь строящихся теорий. Они могут быть использованы как обоснование одних положений, могут заставить внести существенные поправки и дополнения в другие и вообще быть полезными при изучении столь интересных и в теоретическом и в практическом отношении образований, какими являются пегматиты.

Тот интерес к пегматитам, который существует в настоящее время у советских геологов, позволяет быть уверенным, что настоящая сводка обширного фактического материала по этому вопросу найдет широкий круг читателей.

А. Заварицкий.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Изучение стратегических минеральных месторождений в главных округах пегматитов США Геологическим учреждением этой страны с 1939 по 1945 г., первоначально в целях увеличения добычи слюды и минералов бериллия, лития и тантала, привело к разъяснению многих проблем, касающихся общих признаков внутренней структуры, минералогии и происхождения гранитных пегматитов. Настоящий отчет подводит итоги результатов примерно 68 человеко-лет работы в пегматитовых районах Новой Англии, юго-восточных штатов, Южной Дакоты, Айдахо, Монтаны, Вайоминга, Колорадо и Нью-Мексико.

Пегматиты востока Соединенных Штатов палеозойского возраста и пегматиты района Скалистых гор, главным образом докембрийского возраста, заключены в метаморфических образованиях и тесно связаны с массивами гранита, кварцевого монзонита или гранодиорита. В некоторых округах, где пегматиты связаны со всеми тремя типами этих изверженных горных пород, состав плагиоклаза в трех отдельных группах пегматитов указывает на их генетическую связь с этими тремя типами изверженных пород. В других округах распределение пегматитов указывает на определенную генетическую связь с соседней изверженной массой. Вследствие этого минералогический состав, структура и текстура пегматитов в деталях изменяются при переходе от одного округа к другому, но и в одном и том же округе в такой же или еще большей степени можно обнаружить эти вариации при приближении к родоначальной породе.

Размеры пегматитовых тел колеблются от нескольких сантиметров до более чем полутора километров в длину и от долей сантиметра до более чем 150 м в ширину. Большинство из них имеет форму плоских пластобразных тел или тонких линз; другие разветвляются, имеют неправильные очертания или форму гигантских капель. Трубообразные, дугообразные и корытообразные формы менее обычны. Форма пегматитовых тел обычно сильно зависит от характера и структуры боковых пород. Многие пегматиты в сланцеватых породах залегают согласно с региональной сланцеватостью и погружаются параллельно линейной структуре сланца. Погружение несогласных тел обычно контролируется пересечением трещин. Вторичная сланцеватость и плйчатость указывают на деформацию боковых пород во время внедрения пегматита. Изменение сланцеватых боковых пород в гранулиты чаще всего встречается вдоль контактов несогласно залегающих тел.

Можно выделить следующие структурные и литологические единицы, различаемые по минералогическому составу и строению: 1) *трещинные заполнения*—жирообразные плоские тела, заполняющие трещины в ранее затвердевшем пегматите; 2) *метасоматические тела*—структурные единицы, образовавшиеся первично путем замещения существовавшего до них пегматита; 3) *зоны*—последовательные полные или неполные оболочки, располагающиеся вокруг самой внутренней структурной единицы или ядра и отражающие в той или иной степени форму и строение пегматитового тела.

Зоны наиболее важны в количественном и экономическом отношении, и могут быть подразделены на: 1) краевые зоны, 2) боковые зоны, 3) промежуточные зоны и 4) ядро. Краевые зоны представляют собой тонкозернистые краевые оторочки, редко превышающие по толщине несколько сантиметров. Боковые зоны, примыкающие (с внутренней стороны) к краевым

зонам, обычно более грубозернисты и имеют значительно большую толщину. Боковую зону от ядра отделяет одна или несколько промежуточных зон, которые, как правило, более грубозернисты, чем внешние зоны. Промежуточные зоны обычно являются неполными оболочками. Ядра представляют собой структурные единицы неправильной линзообразной формы, занимающие более или менее центральное положение в наиболее мощных частях пегматита. Нормально в состав ядра входят очень грубозернистые минералы. Пегматиты, в которых зональная структура плохо развита, могут содержать небольшие неравномерно распределенные массы грубозернистых минералов в форме линз и гнезд, напоминающих ядра.

Последовательность минеральных ассоциаций, изученная в различных округах, указывает на общую закономерную смену структурных единиц (устанавливаемых на основании существенных минералов) по направлению от боковой породы к центральным частям пегматита. Последовательность эта такова: 1) плагиоклаз, кварц, мусковит; 2) плагиоклаз, кварц; 3) кварц, пертит, плагиоклаз с мусковитом и (или) биотитом или без них; 4) пертит, кварц; 5) пертит, кварц, плагиоклаз, амблигонит, сподумен; 6) плагиоклаз, кварц, сподумен; 7) кварц, сподумен; 8) лепидолит, плагиоклаз, кварц; 9) кварц, микроклин; 10) микроклин, плагиоклаз, литиевая слюда, кварц и 11) кварц. Не многие пегматиты, если вообще имеются такие, содержат все одиннадцать зон, но те из зон, которые присутствуют, находятся в указанной последовательности.

Многие структурные единицы трещинных заполнений явно одновременны с единицами внутренних зон и имеют такую же зональную последовательность, как и внутренние зоны. Эти единицы редко представляют существенное значение в экономическом или количественном отношении.

Метасоматические тела колеблются от тонких прерывистых жилок до единиц в несколько десятков метров мощностью и более 150 м в длину. Им свойственна неправильная, плоская, линзообразная или листообразная форма. Распределение их контролируется в общем трещинами, различиями в литологии или комбинацией этих факторов. Метасоматические тела особенно распространены в пегматитах Нью-Мексико и Новой Англии и менее обычны в Южной Дакоте, Колорадо и других районах.

Наиболее распространенным типом структурных единиц пегматита являются зоны, образующиеся непосредственно от стенок пегматитового тела внутрь его при кристаллизации пегматитовой магмы, особенно фракционной кристаллизации и неполной реакции в ограниченно замкнутой системе. Некоторые трещинные заполнения являются отпрысками зон, следовательно, образовались при кристаллизации пегматитовой магмы; другие образовались из жидкостей, которые дали начало метасоматическим телам.

Приложение техники, которая использовалась при этих исследованиях, было с успехом проверено при поисках, разведке и подготовке к эксплуатации некоторых месторождений. Установленная тесная зависимость между структурными особенностями и последовательностью минералогических единиц, в особенности связь этих единиц с контактом пегматита и боковых пород, если ее надлежащим образом учитывать, может уменьшить случайности при разработке месторождений.

ВВЕДЕНИЕ

Новейшие исследования пегматитовых минеральных месторождений стратегического значения были начаты Геологическим учреждением США (U. S. Geological Survey) в 1939 г. и продолжались в различных округах до середины 1942 г. Так как в военное время потребность в тантале, слюде и берилле все возрастала, размеры этих исследований значительно увеличились. С осени 1942 г. и до весны 1945 г. работы производились в большинстве главных пегматитовых горных округов страны, а именно: в юго-восточных штатах, в Новой Англии, Айдахо, Монтане, Южной Дакоте, Колорадо и Нью-Мексико (фиг. 1).

Большая часть этих работ производилась совместно с Колониальной слюдяной корпорацией, Компанией металлических рудных запасов, Федеральным горным бюро и другими правительственными учреждениями. Эти учреждения разведали много пегматитов, содержащих слюду, бериллий, литий, тантал и олово, алмазным бурением, канавами, шурфами, бороздами и даже подземными выработками. До начала разведок к геологам из Геологического учреждения США была обращена просьба о прогнозе строения пегматитовых тел и распределения в них искомым минералов. Разведочная работа явилась проверкой теоретических данных, а следовательно, и представлений о строении, на которых основывались заключения.

Основная геологическая работа при этих исследованиях состояла в детальном картировании и структурном анализе пегматитовых тел. Потребности войны вынуждали к систематическому приложению этих методов к пегматитам как раз в то время, когда разрабатывалось исключительно много пегматитовых месторождений, и условия для геологического изучения были поэтому очень благоприятны. Возникла необходимость периодически посещать наиболее значительные рудники для оказания помощи при разрешении практических проблем, и, таким образом, многие пегматиты были картированы и изучены на различных стадиях их обнажения. Некоторые пегматитовые тела прослеживались буквально от одного конца до другого, а некоторые также и от кровли до почвы. Поэтому оказалось возможным для многих пегматитов дать картину их строения и распределения в них минералов в трех измерениях.

К концу 1944 г. и началу 1945 г. потребность в минеральном сырье несколько сократилась, и исследователи, все еще занятые

изучением пегматитов, получили возможность сравнивать данные, собранные в различных районах. Скоро стало очевидным, что многие черты являются общими для пегматитов всех крупнейших округов, особенно в отношении структуры. Классификация структурных и литологических единиц пегматитов, полученная в результате всех этих работ, и предлагается в этой книге. Практика показала, что эта классификация может быть широко применима к пегматитовым телам и является ценным пособием при разрешении многих проблем, возникающих при исследовании пегматитовых минеральных месторождений.

Исследования, на которых основана эта книга, составляют приблизительно 68 человеко-лет работы следующих геологов:

В Новой Англии: Баннерман (1942), Камерон (1942—1945), Хэдли (1944), Хэнли (1942), Лэрраби (1942—1943, 1945), Мак-Нейр (1942—1945), Морис (1942), Олсон (1940), Дж. Дж. Пейдж (1943—1945), Л. Р. Пейдж (1942), Шайнин (1943—1945), Стьюарт (1943—1945). Исследованиями Пейджа и Хэнли в начале 1942 года руководили Хьюэтт и Смит. Позже исследования велись под наблюдением Баннермана (1942—1943), Камерона (1943—1944) и Мак-Нейра (1944—1945).

В Виргинии, Северной и Южной Каролине, Джорджии и Алабаме: Фрикленд (1943), Голдтуэйт (1944), Гриффитс (1943—1945), Хейнрих (1943—1945), Хэстед (1944—1945), Ирвин (1944—1945), Джанс (1944—1946), Кеслер (1939—1941), Клеппер (1943—1944), Лэрраби (1943—1944), Лемке (1943—1945), Р. Миллер 3-й (1944), Нортон (1942—1943), Олсон (1939—1945), Дж. Дж. Пейдж (1942—1943), Л. Р. Пейдж (1942), Дж. М. Паркер 3-й (1943—1945), Прей (1944), Столл (1943) и Вольф (1943—1945). Исследования велись под наблюдением Кеслера (1939—1941), Олсона (1941—1944) и Джанса (1944—1946).

В Айдахо, Монтане, Вайоминге, Южной Дакоте и Колорадо: Адамс (1944—1945), Эриксон (1944—1945), Холл (1942), Хэнли (1942—1946), Хейнрих (1942—1943), Джоралемон (1943—1944), Нортон (1943—1944), Л. Р. Пейдж (1939, 1940, 1942—1946), Прей (1943), Смит (1939), Стивенс (1944—1945), Стоппер (1943—1944) и Уэйленд (1939). Исследованиями в этих районах руководил, часть 1942 г. и с 1943 по 1946 г., Л. Р. Пейдж. В 1943 г. и в начале 1944 г. исследования в Колорадо велись под наблюдением Хэнли, в Айдахо и Монтане—под наблюдением Столла. Исследования в Блэк-Хиллесе в некоторый период 1942 г. также производились под наблюдением Столла.

В Нью-Мексико и Аризоне: Хейнрих (1943), Ирвин (1942—1944), Джанс (1942—1944) и Райт (1943—1944). Исследованиями руководил Джанс.

На ранних стадиях осуществление общей программы исследований пегматитов производилось частью под наблюдением Манфилда (1939—1942), частью—Хьюэтта и Смита (1942). Позже всеми исследованиями руководили Смит (1942), Баннерман (1942—1944) и Камерон (1944—1946).

Эта книга, следовательно, суммирует итоги работ многих геологов по изучению внутренней структуры пегматитовых тел. Каждый из этих геологов сообщил существенные данные, полученные им при детальном изучении пегматитовых месторождений, и в той или иной мере способствовал непрерывному развитию техники разведки, характерному для работ военного времени. Получением результатов, нашедших отражение в этой книге, мы в значитель-

ной степени обязаны Баннерману, возглавлявшему изучение пегматитов в это время. Происходило широкое обсуждение и обмен сведениями, что и привело к формированию изложенных здесь представлений. Кроме того, ученые, продолжавшие исследования пегматитов в 1944 и 1945 гг., применяли данные, полученные во время практических работ, к теоретическому изучению пегматитов. Следовательно, рассматриваемые ниже результаты являются в любом смысле плодом коллективной работы, но поскольку на долю авторов выпало сопоставление и объяснение фактов, они и должны быть ответственны за предлагаемые здесь выводы.

Географические и местные названия, которые добавляются к термину «пегматит», ни в коем случае не следует считать официальными географическими наименованиями; они употребляются авторами только для удобства.

ОБЩИЕ ЧЕРТЫ ГРАНИТНЫХ ПЕГМАТИТОВ

Распределение и возраст

Гранитные пегматиты в Соединенных Штатах широко распространены в районах кристаллических горных пород. Они встречаются в породах разного геологического возраста и наиболее часты по окраинам гранитных интрузивов. Большинство важных пегматитовых округов включается в три широких географических пояса, которые в этой книге названы Аппалачским поясом, поясом Скалистых гор и Западным поясом (фиг. 1). Распределение и возраст пегматитов детально рассмотрены Ландесом [65]¹.

Аппалачский пояс прослеживается на юго-запад от штата Мэн до штата Алабама на протяжении 2000 км. Он охватывает разрабатываемые сейчас или разрабатывавшиеся прежде округа в штатах Мэн, Нью-Гемпшир, Массачусетс, Коннектикут, Нью-Йорк, Пенсильвания, Мэриленд, Виргиния, Северная и Южная Каролина, Джорджия и Алабама. В этом поясе пегматиты встречаются в метаморфических и изверженных породах нижнего, среднего и верхнего палеозоя. Соотношения в поле и определения возраста по радиоактивности [110, стр. 339] приводят к выводу, что пегматиты Нью-Гемпшира и восточного Коннектикута относятся к верхнедевонскому возрасту. Удовлетворительных определений возраста пегматитов Мэна не было в нашем распоряжении. Повидимому, пегматиты этого штата связаны с верхнедевонскими и миссисипскими породами, а анализ самарскита из пегматита около Топсхема [32, стр. 59] определяет возраст этого пегматита как каменноугольный. Пегматиты в Брэнчвилле, Коннектикут, и в Бедфорде, Нью-Йорк, могут быть верхнеордовичского возраста [76]. В юго-восточных штатах пегматиты, повидимому, относятся к верхнепалеозойскому возрасту как в Пидмонте, так и в провинции Блу-Ридж. Подсчеты возраста уранинита в некоторых пегматитах в округе Спрус-Пайн, Северная Каролина, дают, однако, различные результаты: 251 млн. лет [46, стр. 342—344] и 358—382 млн. лет [1, стр. 213], т. е. возраст этих пегматитов распределяется между каменноугольным и ордовичским периодами. Подсчет другим способом [11] по монациту дает 600 млн. лет, т. е. докембрий.

Пояс Скалистых гор включает пегматитовые районы Техаса, Нью-Мексико, Колорадо, Юты, Монтаны, Вайоминга и Айдахо.

¹ Цифры в прямых скобках указывают порядковый номер в библиографии, помещенной в конце книги.

Пегматиты из округа Блэк-Хиллс (Северная Дакота) и Центрального рудного округа Техаса для удобства сгруппированы с пегматитами Скалистых гор, несмотря на то, что эти районы представляют изолированные поднятия. Большинство пегматитов этого пояса докембрийского возраста и встречается в метаморфических и изверженных породах, образующих ядра цепей Скалистых гор и связанных с ними поднятий.

Западный пояс включает пегматитовые округа Аризоны, Невады, Калифорнии, Орегона и Вашингтона. Большинство пегматитов этого пояса генетически связано с интрузивными породами мезозоя, палеозоя или докембрия, и лишь некоторые из них третичного возраста. Они встречаются в ядрах хребтов, в куполообразных поднятиях, как, например, в Блю-Маунтене, Орегон, в кристаллических породах хребтов побережья Тихого океана и в докембрийских породах Большого каньона.

Связь пегматитов с гранитными интрузивами

Большинство пегматитов, в которых обнаружены ценные минералы, встречаются в метаморфических породах, главным образом в слюдяном сланце и гнейсе, в роговообманковом сланце и гнейсе и в кварците. Некоторые встречаются в изверженных породах, где они связаны с многочисленными небольшими пегматитами простого минералогического состава и несложной структуры. В некоторых округах, как, например, в округе Тинтон, Южная Дакота, и в округе Томастон-Барнесвилл в графствах Апсон, Монро и Ламар, Джорджия, крупные гранитные интрузивы неизвестны. В большинстве округов, однако, пегматиты географически связаны с интрузивами, варьирующими по составу от гранита до гранодиорита. Так, пегматиты Мэна связаны с гранитами и кварцевыми монцонитами, большая часть пегматитов Колорадо и Нью-Мексико — с гранитными телами, а пегматиты Айдахо — с гранодиоритовым батолитом Татуна.

Тела гранитных пород варьируют от штоков и батолитов в одних районах до небольших интрузивных залежей и дайк в других. Некоторые пегматиты округа Франклин-Силва, Северная Каролина, имеют ядро из несколько более молодой гранитной породы. Гранитные интрузивные залежи и дайки обычны вблизи некоторых более крупных пегматитов в поясах Аппалач и Скалистых гор. Иногда они пересекают пегматиты, но чаще встречаются в виде включений в пегматитах или пересекаются пегматитовыми телами.

Несмотря на то что географическая связь пегматитов с гранитами и связанными с ними интрузивами очевидна, генетические соотношения между двумя группами пород во многих округах определены далеко не полно. Особенно это касается тех округов, где присутствует несколько типов гранита или соответственного

интрузива. Большинство продуктивных пегматитов в Нью-Гемпшире географически связано с горными породами нью-гемпширской магматической серии—бетলেখемским гнейсом, кинсманским кварцевым монцонитом и гранитом Хитчкок-Конкорд, описанными Биллингсом [7], Чапменом [13], Пейджем [86], Фаулер-Лани [26], Хэнли [37] и Крюгером [56]. Другие пегматиты встречаются в интрузивах или около интрузивов биллингсовой магматической серии раннего Оливьера и вблизи интрузивов магматической серии позднего Нью-Гемпшира, но очень немногие из них имеют промышленное значение. Гнейс Бетলেখем и кварцевый монцонит Кинсман встречаются в виде больших падающих на восток пластообразных масс, согласных в основном с региональной сланцеватостью. В округе Графтон большинство более крупных пегматитов встречается в кварцево-слюдяных сланцах литтлтонской формации и налегает на бетলেখемский гнейс. Пегматиты округа Кин встречаются в горных породах литтлтонской формации, которая подстилает бетলেখемский гнейс. Некоторые пегматиты встречаются в бетলেখемском гнейсе, главным образом в верхних частях пластообразных масс, и те, которые изучены, содержат олигоклаз, варьирующий по составу от № 14 до № 22. Пегматиты в сланцах биллингсовой литтлтонской формации, партриджской формации и в вулканических породах Аммонусук и пегматиты в гнейсе Кинсман и в граните Хитчкок-Конкорд содержат альбит или натровый олигоклаз (от № 2 до № 12). Это отвечает плагиоклазу горных пород Кинсман и Конкорд, что дает возможность предполагать генетическую зависимость, но решить этот вопрос нельзя за недостатком фактов. Пегматиты, родственные небольшому неправильному штоку гранита Конкорд, содержат альбит (от № 2 до № 9) и обычно тесно связаны с аплитовыми горными породами того же возраста.

В округе Миддлтаун, графства Хартфорд и Миддлсекс, Коннектикут, многие пегматиты залегают в сланце Болтон и гранито-гнейсе Маромас около западного контакта тела гранитового до гранодиоритового гнейса Монсон, а некоторые встречаются в самом гнейсе Монсон. Однако, за исключением этих пространственных соотношений, имеется мало доказательств, что гнейс Монсон в большей степени, чем другие гранитные интрузивы этого района, является источником пегматитов. Соотношения пересечений дают возможность предполагать, что в данном месте могут находиться несколько генетических групп пегматитов.

В округе Франклин-Силва, Северная Каролина и Джорджия, многие пегматиты являются сателлитами большой неправильной интрузивной массы кварцевого диорита и гранодиорита. Их больше всего около всячего бока и около его гребня, который слегка погружается на северо-восток.

Пегматиты из округа Спрус-Пайн, Северная Каролина, располагаются во внешних частях и по краям нескольких неправильных

гел лейко-гранодиорита и кварцевого диорита. Тщательные полевые исследования в районе Кребтри, графства Митчелл и Янси, показали, что большинство пегматитов внутри лейко-гранодиорита залегает параллельно главному напластованию вмещающей горной породы, а контакты пегматитов дают возможность считать, что эти тела образовались вскоре после образования лейко-гранодиорита. В округе Петака, Нью-Мексико, пегматиты располагаются во внешних частях крупного гранитового тела, а еще чаще в налегающих на него сланце и кварците. Подобные же соотношения можно предполагать в расположении пегматитов около гранитных тел в Колорадо, Вайоминге, Южной Дакоте, Монтане, Айдахо и других частях Нью-Мексико.

Различия между группами пегматитов, связанных с различными интрузивными породами

Все гранитные пегматиты имеют сходство в том, что они состоят существенно из кварца и полевых шпатов, вместе с которыми могут присутствовать в большем или меньшем количестве мусковит, турмалин, гранат и другие более редкие минералы. Кроме того, для них характерна неравномерная структура, вообще грубозернистая.

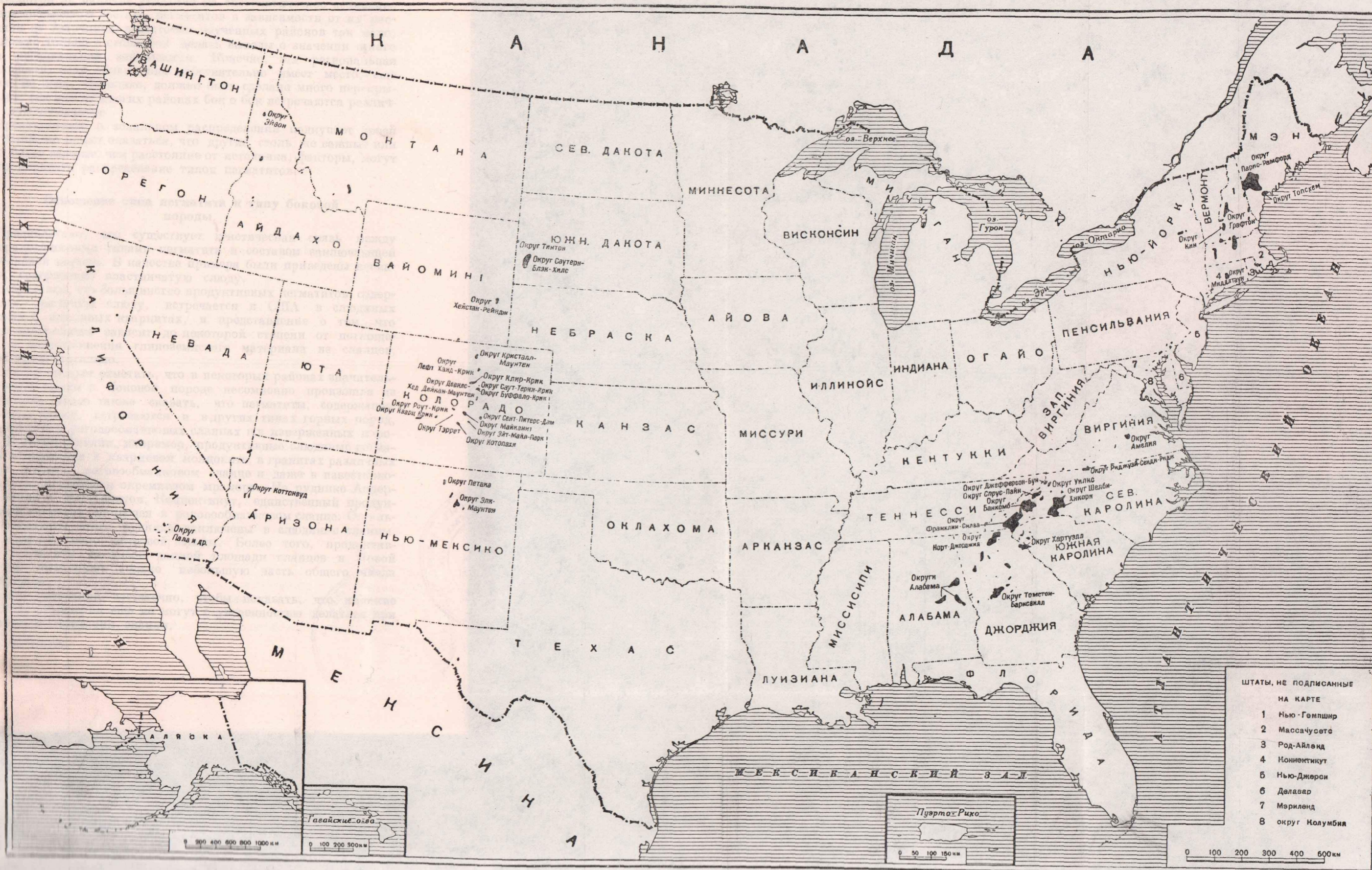
Однако наблюдается много различий в минералогии, текстуре и структуре разных групп пегматитов в различных районах и даже пегматитов одного района, но связанных с различными интрузивами. Как это давно уже отметил Брэггер [12], последний факт является одним из сильнейших доказательств генетической связи пегматитов с интрузивами. Различия в физических условиях образования пегматитов и различия в степени взаимодействия пегматитовых растворов с боковой породой, безусловно, определяют наличие некоторых различий в группах пегматитов, но очевидно, что главную роль при этом играли внутренние различия в составе пегматитовых растворов, выделявшихся из различных магм.

В олово-сподуменовом поясе Северной и Южной Каролины [54, стр. 245—269] почти все пегматиты содержат сподумен, но западнее этого пояса сподумен встречается редко. Эти пегматиты отличаются от пегматитов Блэк-Хиллса, Южная Дакота, главным образом тем, что берилл и амблигонит встречаются в них очень редко. Микролит, топаз и апатит являются обычными акцессорными минералами в различных докембрийских пегматитах хребта Сангре-де-Кристо, Нью-Мексико, но они отсутствуют в докембрийских же пегматитах округа Петака, немного западнее этой области. Далее, пегматиты округа Амелия, Виргиния, образуемые топазом и микролитом, содержат очень мало апатита. Графтонит и трифилит имеются в ряде пегматитов в Нью-Гемпшире и в некоторых пегматитах Мэна, но их совершенно нет в пегматитах округа

Миддлтаун, Коннектикут. Можно привести очень много таких различий для пегматитов из разных округов или даже для пегматитов из разных частей одного и того же округа.

Наиболее обычны различия между группами пегматитов, связанных с интрузиями различного возраста, но они также имеют место и между пегматитами, связанными с различными интрузивными массами одного и того же возраста. Например, слюдяные пегматиты округа Майканит, графства Фримонт и Парк, бериллсодержащие пегматиты округа Кристалл-Маунтен, графство Лаример, флюоритовые пегматиты округа Сент-Петерс-Дом, графство Эль-Пасо, и лепидолит-микрелин-топазовые пегматиты округа Кварц-Крик, графство Ганнисон, связаны с различными докембрийскими гранитовыми интрузивными породами в Колорадо.

Внутри групп пегматитов наблюдается большое разнообразие в минералогическом составе, а в некоторых округах обнаруживается наличие систематического изменения в составе пегматитов с расстоянием от интрузива, с которым они, вероятно, находятся в генетической связи. Жеверс [30] заметил, что в оловянных месторождениях Эронго в юго-западной Африке нахождение некоторых минералов имеет определенную связь с расстоянием от родоначальных гранитных тел. Хэнли [39] заметил, что на планшете Поланд, Мэн, пегматиты, содержащие берилл и калиевый полевопшпат, встречаются ближе к контакту смежного гранита, чем пегматиты, содержащие литий. Пегматиты, богатые слюдой и турмалином, встречаются на площади, отстоящей от контакта с гранитом еще дальше, чем площади распространения пегматитов, содержащих литий. В округе Петака, Нью-Мексико, большинство пегматитов, богатых монацитом и танталово-ниобиевыми минералами, расположено в стороне от гранитного контакта, а пегматиты внутри гранитного тела почти не содержат этих минералов. В округе Франклин-Силва, Северная Каролина и Джорджия, берилл и зеленый мусковит встречаются в пегматитах, наиболее близко расположенных к основной массе генетически связанного с ними гранодиорита, а оливково-буроватый и бурый мусковит встречается в более удаленных пегматитах. В округе Спрус-Пайн, Северная Каролина, зеленый мусковит встречается в наибольших количествах в пегматитах, расположенных внутри гранодиоритовых интрузивов или вблизи их, а оливково-буроватый и бурый мусковит встречаются в более удаленных пегматитах. Морис [73, стр. 173—179] отмечает, что грубозернистый микроклин встречается в наибольшем количестве в пегматитах, расположенных внутри или вблизи гранодиоритов, и что вообще известковистость плагиоклазов увеличивается с удалением от гранодиоритов. Этих примеров достаточно, чтобы показать, что подобные изменения представляют обширное поле для дальнейших и более систематических исследований.



Фиг. 1. Карта Соединенных Штатов, показывающая распределение главных пегматитовых горных округов.

рабатываемых в разных районах США, варьирует от 30 до 300 м в длину и от 1,5 до 30 м по мощности. Многие из них пластообразны или имеют форму уплощенных линз, другие—разветвляются, имеют неправильную форму или форму редьки. Трубообразные, сигарообразные, дугообразные, корытообразные и извилистые формы пегматитов встречаются реже. Многие из более мощных линз имеют один тупой край, чаще всего гребень (верхний); другой край обычно менее тупой или выклинивается. Многие более правильно пластообразные пегматиты имеют два выклинивающихся конца; линзы такой формы особенно часто встречаются в северной и северо-восточной части округа Спрус-Пайн, Северная Каролина (фиг. 2). Нередки кулисообразно расположенные линзы пегматита вдоль определенных структурных зон. Примером может служить мусковитовый пегматит в графстве Лейта, Айдахо, который был описан Столлом [115]. Иногда наблюдаются массивные тела горной породы, состоящей из пегматитовых линз, разделенных только тонкими прослойками сланца. Тип боковой породы сильно влияет на форму многих пегматитов. Некоторые пегматиты, заключенные в граните, имеют совсем неправильную форму, но большинство из них представляет собой пластообразные или разветвляющиеся тела, очевидно образованные вдоль трещин отдельности и разломов. Пластообразные и разветвляющиеся тела наиболее многочисленны на площадях развития гранита и других неподатливых горных пород, таких как кварцит, амфиболовый сланец и гнейс. Сети пегматитов более часты в горных породах с сильно развитой отдельностью. В сланцах с более развитой сланцеватостью обычны пегматиты линзообразной формы, а пегматиты в виде редьки, труб, а также дугообразной или извилистой формы встречаются в районах с более развитой складчатостью.

Отношение пегматитов к структурам боковых пород

Соотношение пегматитовых тел с вмещающими породами бывает от согласного до явно несогласного. Между характером залегания пегматита и структурными особенностями заключающей пегматит горной породы существует определенная зависимость. В неподатливых горных породах, как, например, в слабо сланцеватом граните, гнейсе и кварците, пегматиты заполняют трещины, которые обычно секут сланцеватость или напластование. С другой стороны, несмотря на ряд исключений, в сланцах пегматиты, как правило, залегают согласно со сланцеватостью. В горных породах с хорошо развитыми во времени образованиями пегматита как сланцеватостью или слоистостью, так и трещинами контакты многих пегматитовых тел с боковой породой частью согласны, частью несогласны. В пегматите Эшли из Рамней, Нью-Гемпшир, эта особенность выявляется поразительно отчетливо. Кон-

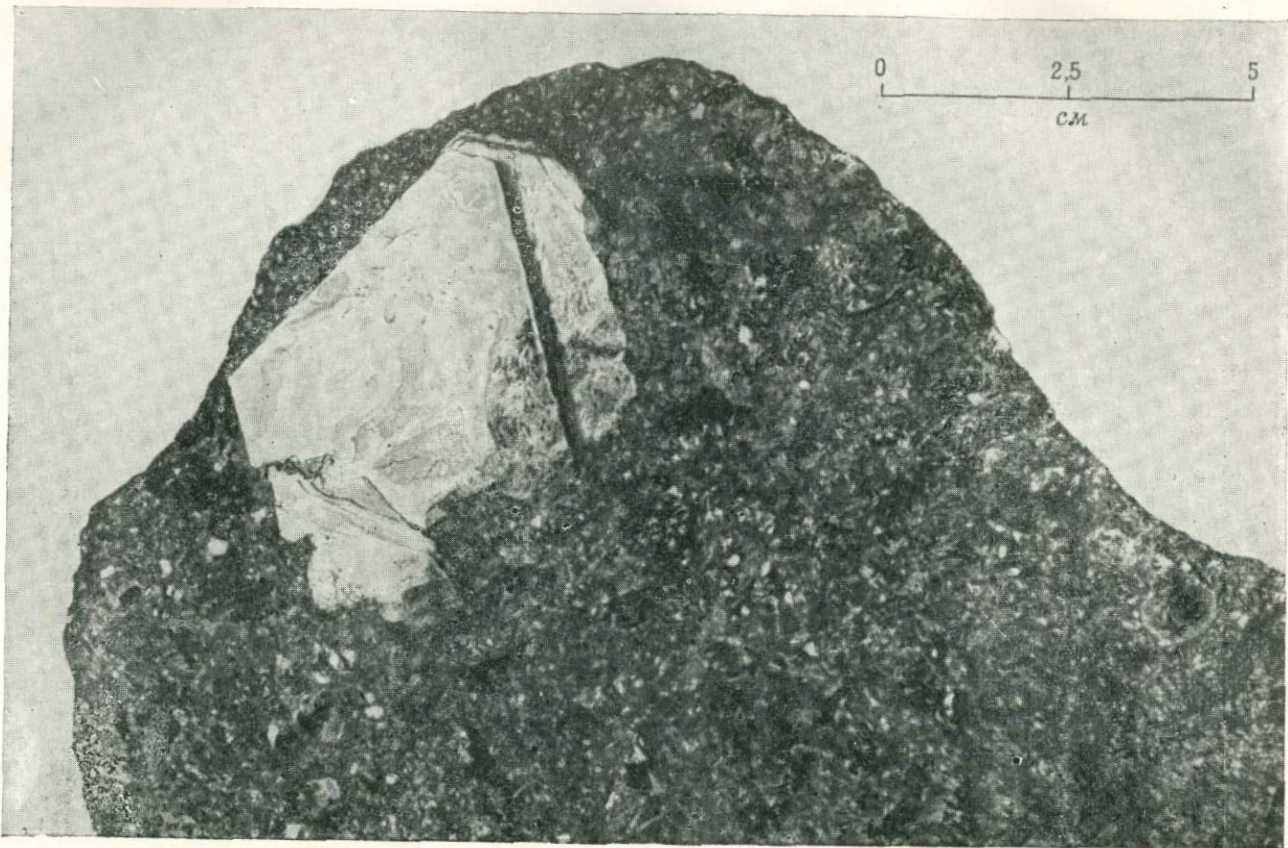
такты между переслаивающимися слюдяным сланцем и слюдяным кварцитом в общем являются согласными, но местами контакты совпадают с крупными трещинами, секущими под острым углом и слоистость и сланцеватость. Пегматит Эни в графстве Кастер, Южная Дакота, залегает в переслаивающихся сланце и кварците. В некоторых местах контакт пегматита с боковой породой идет неправильными ступенями из последовательно согласных и несогласных отрезков. Во многих пегматитах, в сланцеватых горных породах, структурные элементы параллельны структурам метаморфических пород. В Блэк-Хиллсе, Южная Дакота, большинство пегматитов, согласных с региональной сланцеватостью, погружается параллельно погружению линейной структуры прилегающего сланца, но несогласные пегматиты там же обычно погружаются параллельно пересечениям трещин, вдоль которых они залегают. В округе Петака наблюдается заметное соответствие между погружением складок волочения (плёчатости) и более мелкой волнистости в кварцитовой и сланцевой боковой породе и погружением продуктивных пегматитовых тел. Некоторые пегматиты Новой Англии, залегающие в сланце, также погружаются параллельно линейным структурам вмещающих сланцев.

Вдоль контакта с пегматитом в сланце обычно возникает вторичная сланцеватость. В легко деформируемых горных породах эта сланцеватость простирается на несколько метров в глубь боковой породы и до мельчайших деталей следует всем неправильностям контакта, причем это касается также и гребня и килевой части пегматита. В округе Гинтон, Южная Дакота, такого рода сланцеватость параллельна также гнейсовой структуре самого пегматитового тела. Вторичная сланцеватость в боковых породах встречается как вдоль согласных, так и несогласных тел.

Во время внедрения некоторых пегматитовых тел боковые породы были деформированы, и существовавшие ранее сланцеватость, слоистость и складчатость в прилегающих к контактам сланцах деформировались и сминались. Некоторые из этих складок показывают, что оба бока пегматита перемещались вверх в том же самом направлении.

Изменения боковых пород вблизи пегматитовых тел

Изменение боковых пород вследствие внедрения пегматитовых веществ—обычное явление, особенно по краям несогласно залегающих пегматитов. Иногда оно выражается в образовании слоев полевошпатового гранулита. Порой оно приводит к развитию турмалина, берилла, слюды или полевого шпата. В руднике Нанси №1, Гротон, Нью-Гемпшир, пластинчатая слюда, состоящая главным образом из кристаллов мусковита, образовалась вместе с кварцем и полевым шпатом в перекристаллизованном кварцево-слюдяном сланце (фиг. 3), окаймляющем пегматитовое тело.



Фиг. 3. Кристалл слюды в перекристаллизованном кварцево-сланцевом сланце. Рудник Нанси № 1, Гротон, Нью-Гемпшир.

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Многие пегматиты представляют собой такие простые агрегаты кварца, полевого шпата и акцессорных минералов, что их не так просто подразделять на структурные единицы, различающиеся по минералогическому составу или структуре. Они, повидимому, состоят только из одного ясно различимого литологического типа пегматита и в некоторых округах могут образовывать основную массу большинства пегматитов. В общем, однако, им уделялось гораздо меньше внимания, чем пегматитам с более сложными литологией и структурой. В последнюю группу входят почти все пегматиты, содержащие редкие минералы, и пегматиты, содержащие промышленные концентрации полевого шпата, слюды, берилла и других минералов.

Несмотря на то, что некоторые исследователи подчеркивали отсутствие правильности в распределении минералов в пегматитах, многие из них подмечали более или менее определенные структурные и литологические единицы, которые они определяли как прожилки, ленты, жилы, слои, отпрыски, линзы или зоны. Несмотря на проделанную работу, до 1942 г. было мало детальных картировок и структурных анализов пегматитов. При обсуждении происхождения пегматитов большинство авторов рассматривало каждое пегматитовое тело как целое. Хотя часто замечали определенные типы структурных единиц пегматита, но их соотношения, последовательность в различных типах пегматитов и общее строение пегматитовых тел детально не описывали и не объясняли.

Первым американским геологом, который обратил внимание на внутреннее строение пегматитов, повидимому, был Хэнт [47, стр. 89, 182—186]; он заметил, что во многих «гранитовых жильных породах» в Брансуике, Топсхеме и Ньюри, Мэн, наблюдается замечательное ленточное распределение, «являющееся результатом последовательных отложений минерального вещества». Ньютон и Дженни [82, стр. 71] отмечают грубоконцентрическое расположение минералов вокруг кварцевых ядер пегматита в Кастер-Парк, графство Кастер, Южная Дакота. Блейк [10, стр. 606—607] установил концентрическую структуру пегматита Этта в Кейстоне, Южная Дакота, и описал три зоны вокруг центрального ядра. Он опубликовал карту, отражающую эту зональную структуру пегматита. Брэггер [12] установил, что в некоторых пегматитах имеется зональная структура, и пришел к выводу, что они

образовались последовательно в магматическую и гидротермальную стадии. Взгляд Брёггера на строение и генезис пегматитов был подтвержден многими последующими исследователями и представлял существенную основу для более поздних работ в этой области.

Кросби и Фуллер [18, стр. 157] описали «полосы» альбита по бокам и «полосу» дымчатого кварца в центре тонкого пегматита в Честерфилде, Массачусетс, и указали, что отчетливая полосчатость свидетельствует о последовательном отложении этих минералов. Спурр [113, стр. 231] и Джулиен [52, стр. 508] описали пегматиты с краевыми зонами и центральными кварцевыми ядрами. Уоррен и Пэлач [119, стр. 125—171] описали концентрически зональное расположение минералов в трубообразных пегматитах в Куинси, Массачусетс, и установили, что структура и состав каждой зоны указывают на последовательное выделение минеральных компонентов. На одной из их карт изображены три различные зоны вокруг ядра. Гроут [33, стр. 185—197] описал зональные пегматиты, ассоциированные с габбро Дьюлут. Кемп [53, стр. 708, 709, 722] рассмотрел зональные структуры пегматитов и пришел к выводу, что дифференциация этого пегматита *in situ* привела к образованию в пегматите последовательных слоев различного состава от краев внутрь.

Мякинен [71, стр. 22], Цейглер [121, стр. 264—277], Джалпин [29, стр. 27], Лаубманн и Штейнметц [70, стр. 584], Лакруа [57, стр. 310, 355—356], Фойе [27, стр. 7—12] и другие внесли свой вклад в изучение структур замещения в пегматитах, но особенно мы обязаны Ферсману [22, 22а] за его исследование роли поздних гидротермальных растворов. Стерретт [114, стр. 609] определил, что слюда встречается в «жилах» вдоль одного или обоих боков некоторых пегматитов и что она чаще встречается с одной или с обеих сторон центральных кварцевых «шлир» (ядер).

В 1925 г. Кук [17, стр. 185—188], Хесс и Уэлле [44, стр. 289—298], Ландес [58, стр. 355—411], Мюльбауер [81, стр. 318—336] и Шаллер [101, стр. 269—279] описали структуры замещения в пегматитах и подчеркнули значение гидротермальной деятельности на более поздних стадиях образования пегматитов. Андерсен [2, стр. 1—55] детально описал резко разграниченные зоны в некоторых пегматитах южной Норвегии. Он относил зональную структуру за счет последовательных стадий кристаллизации по направлению от боковой породы к центру пегматитового тела и отсутствие минерального замещения (кроме широко распространенной мусковитизации и альбитизации) объяснял отсутствием поздней литиевой фазы. Дэрри [20, стр. 454—475] также определил концентрически зональные структуры и закартировал структурные единицы литиевого пегматита в Силвер-Лиф в районе

озера Виннипег в Канаде. Другие зональные пегматиты отмечались Гроутом [34, стр. 258], Ландесом [62, стр. 382; 66, стр. 326] и Хитченом [45, стр. 9].

Рой, Шарма и Чаттопадхи [99, стр. 145—164] описали концентрические зональные пегматиты района Кодарма, Индия, и в виде диаграмм представили общую последовательность структурных единиц в пегматитах, содержащих слюду. Наличие мусковита в единицах, прилегающих к стенкам и кварцевым ядрам пегматитов в районе Кодарма, объяснялось десилисификацией микроклина растворами, которые внесли вещество альбит-олигоклаза.

Другие зональные пегматиты были описаны Мак-Лафлином [74, стр. 46—68] и Шаубом [111, стр. 675—678]. Смит и Пейдж [112, стр. 595—630] описали слоистые структуры в оловосодержащих пегматитах округа Тинтон, Южная Дакота, и перечислили слои в порядке возраста. Олсон [85, стр. 374—375] довольно подробно описал общую зональную структуру пегматитов Нью-Гемпшира. Недавние статьи Пекоры [94, стр. 406], Баннермана [3, стр. 9], Успенского [118, стр. 437—447], де Алмейда, Джонстона, Леонардоса и Скорца [19, стр. 209], Нормана [83] и Джонстона [51] содержат описания пегматитов с упорядоченными зональными структурами. Камерон, Ларраби, Мак-Нейр и Стюарт [15] и те же авторы вместе с Пейджем и Шайниным [16] описали зоны и другие литологические и структурные единицы в слюдоносных пегматитах Новой Англии и использовали эти признаки как основу для классификации слюдяных месторождений на пять главных типов. Подобные же исследования бериллсодержащих пегматитов были проведены Пейджем, Хэнли и Хейнрихом [92], пегматитов со сложной минералогией—Джансом и Райтом [50], Пейджем [91] и Хэнли [38] и слюдоносных пегматитов—Олсоном [85], Олсоном, Паркером и Пейджем [84], Хейнрихом [41] и Гриффитсом, Хейнрихом, Джансом, Олсоном и Паркером [36]. Джонстон [51, стр. 1024—1068] описал зональность бериллово-танталитовых пегматитов северо-восточной Бразилии и указал, что зоны отражают собой в общем доминирующий порядок кристаллизации пегматитовых минералов. Джанс [49, стр. 39—51] подробно описал внутренние структуры пегматитов в округе Петака, Нью-Мексико.

С 1925 г. многие ученые сообщили данные о замещении в пегматитах. Среди них надо упомянуть Бьёрликке [8], Дэрри [20], Ферсмана [24], Фрейзера [28], Жеверса [31], Хесса [42], Ландеса [59, 61, 63, 65, 67], Пэлача [93], Пего [95—97], Шаллера [102, 105, 107] и Свитцера [116].

СТРУКТУРНЫЕ ЕДИНИЦЫ ПЕГМАТИТА

Общие положения

Несмотря на то, что отчетливые литологические и структурные единицы в пегматитовых телах были отмечены уже много лет тому назад, попыток дать определения этих единиц в отдельности или по типам или даже рассмотреть их систематически было сделано очень мало. Это объяснялось тем, что лишь немногие пегматиты были картированы детально, большинство же пегматитов недостаточно хорошо обнажено, и во многих прежних исследованиях пегматитов основное внимание уделялось минералогии и генезису. Недавние полевые работы показали насущную необходимость в устойчивой, но гибкой классификации и терминологии структурных единиц пегматитов, чтобы описания были возможно яснее и чтобы было легче рассматривать генезис пегматитов и другие проблемы. Определения таких единиц и их рассмотрение в последующих разделах имеют целью пополнить этот пробел. Хотя они основаны на детальном исследовании и картировании сотен пегматитов, эти определения и классификацию нужно рассматривать не как совершенно точные и вполне установленные, а всего лишь как основу, которую можно расширять и изменять по мере накопления более исчерпывающих основных данных.

Структурные и литологические единицы в одних пегматитах известны лучше, чем в других, так как отношения между этими единицами в некоторых пегматитах лучше видны и сами они лучше обнажены или их единицы полнее изучены. Поэтому представляется желательным классифицировать и определять такие единицы как можно проще, т. е. главным образом по структурным отношениям. Генетическая классификация их неосуществима, так как нет общего согласия относительно происхождения пегматитов и, конечно, нельзя применять какую-нибудь одну теорию происхождения ко всем известным пегматитам. Однако оказалось, что нельзя совершенно не учитывать происхождения структурных единиц при классификации пегматитов—здесь пришлось допустить компромисс. Мы предлагаем анализировать пегматитовые тела главным образом с точки зрения их структурных признаков, но учитывать при этом, что некоторые из этих признаков тесно связаны с происхождением. Те пегматиты, происхождение которых менее ясно, рассматриваются только с описательной стороны;

возможно, что новые данные о них потребуют изменения их положения в классификации.

Литологические и структурные единицы пегматитовых тел различаются по минералогическому составу и структуре. В пегматитах можно выделить следующие три основных типа структурных единиц:

1. *Трещинные заполнения*—структурные единицы, обычно жилкообразные, заполняющие трещины в уже затвердевшем пегматите.

2. *Метасоматические тела*—структурные единицы, обычно образующиеся преимущественно замещением ранее существовавших пегматитов, при условии очевидного структурного контроля или без него.

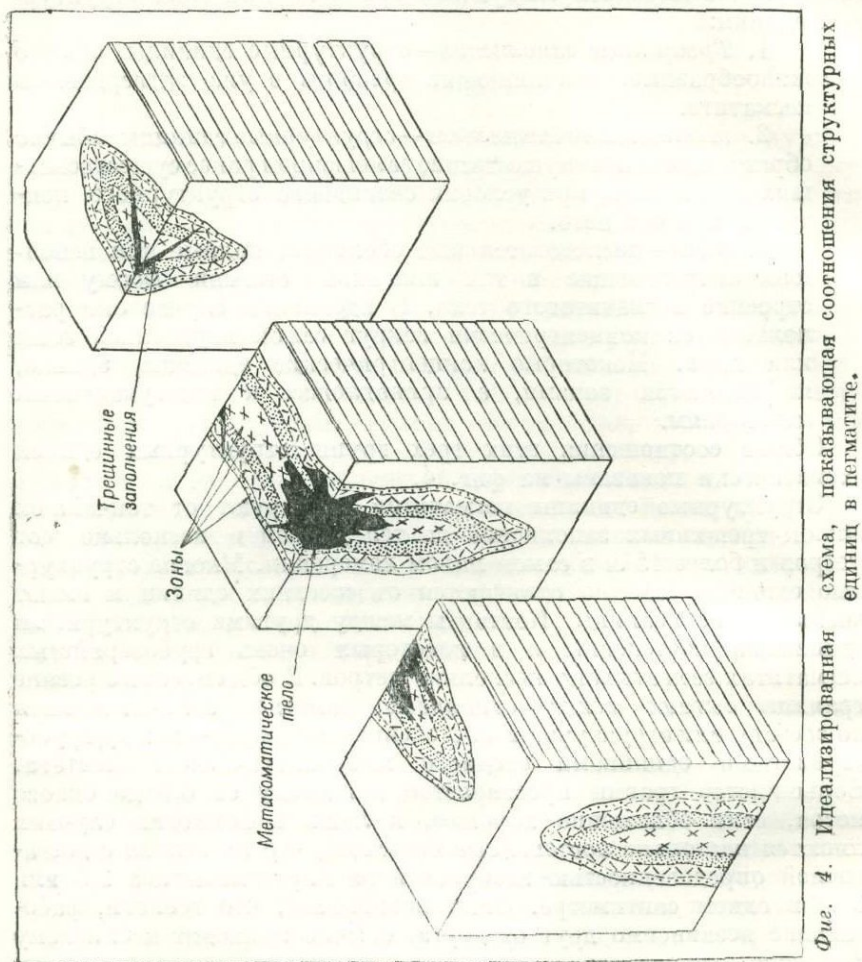
3. *Зоны*—последовательные оболочки, полные или неполные, отражающие в той или иной степени форму или строение пегматитового тела. В идеальном случае они располагаются концентрически вокруг самой внутренней зоны или ядра. Некоторые концентрические единицы, однако, не являются зонами, а принадлежат к вышеуказанным категориям.

Общие соотношения этих трех групп структурных единиц схематически показаны на фиг. 4.

Структурные единицы пегматитов варьируют от тончайших жилок трещинных заполнений до тел длиной в несколько сот метров и более 15 м в самом малом измерении. Многие структурные единицы заметно отличаются от соседних единиц и имеют очень резкие границы. Контакты между другими структурными единицами постепенны и в некоторых очень грубозернистых пегматитах захватывают несколько метров. В общем, самые резкие границы бывают между единицами, заметно различающимися по составу или структуре, и постепенные переходы—между грубозернистыми единицами сходного минералогического состава. Большинство границ простирается в ширину от 0,5 до одного метра, если обнажение хорошее, и лишь в немногих случаях имеются настолько постепенные переходы, что их нельзя с достаточной определенностью изобразить на карте масштаба 2,5 или 3 м в одном сантиметре. Опыт показывает, что геологи, работающие независимо друг от друга, обычно приходят к близкому согласию относительно того, где проходят контакты, если только они пользуются одной и той же диагностикой минералогического состава и структур для различения структурных единиц пегматитов.

Различные типы структурных единиц развиты в неодинаковой степени в разных округах. Так, метасоматические тела сильно развиты в округе Петака, Нью-Мексико; и во многих пегматитах эти единицы важны как в количественном, так и в промышленном

отношениях. В этом же округе многочисленны и трещинные заполнения, хотя они и не имеют количественного и промышленного значения; они также сильно развиты в Блэк-Хиллсе, Новой Англии и в других округах. Однако во всех главных округах



пегматитов, исследованных во время войны, зоны количественно являются наиболее важным типом структурных единиц, составляющих основную массу изученных пегматитов, и они поэтому рассматриваются в первую очередь. Кроме того, почти во всех пегматитовых округах зоны являются основным источником промышленных минералов.

Структуры отдельных единиц пегматитов широко варьируют, и для описательных целей термин «пегматитовый» оказывается недостаточным. Поэтому здесь мы употребляем следующую классификацию структуры пегматитов по размеру зерна¹:

Структура	Размер зерна
Тонкозернистая	менее 2,5 см
Среднезернистая	от 2,5 до 10 см
Грубозернистая	от 10 до 30 см
Очень грубозернистая .	более 30 см

Неправильность структуры большинства пегматитов хорошо известна, и обычно размер зерна сильно колеблется даже в наиболее однородных структурных единицах. Кроме того, некоторые структурные единицы содержат кристаллы или массы минералов очень большого размера по сравнению с размерами кристаллов остальной породы; эти структуры являются порфировыми структурами в гигантском масштабе.

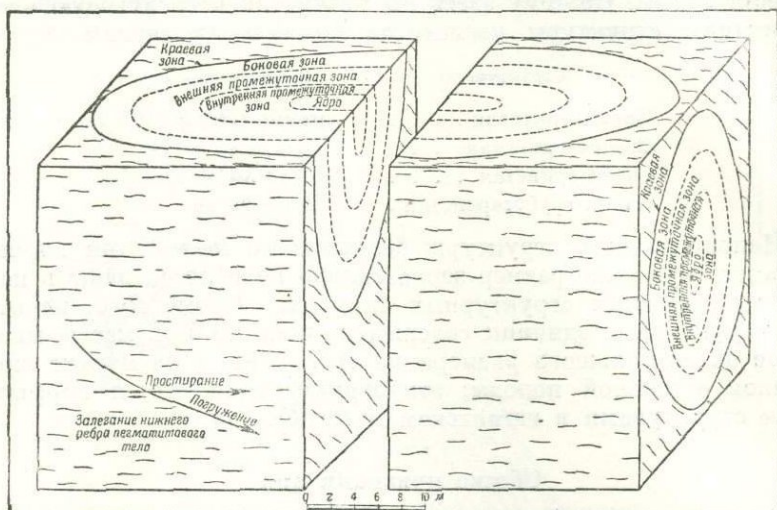
Общие признаки зон

Зоны отражают форму или строение данного пегматитового тела, и в идеальном случае развития в пегматите, имеющем форму удлиненной линзы (челнокообразную), они представляют концентрические оболочки вокруг самой внутренней зоны или ядра (фигуры 5, 23, 49). Однако в большинстве пегматитов одна или более зон могут быть неполными или прерывистыми; зоны встречаются в форме челноков, прямых или изгибающихся слоев и линз, трубообразных, корытообразных или седловидных тел, цепочек линз или еще более неправильных тел (фиг. 6). Между полностью развитыми зонами и зонами, развитыми только с одной стороны или у одного конца пегматитового тела, имеются все переходы, но независимо от полноты развития они обычно довольно детально отражают форму и строение данного пегматитового тела. Отдельные зоны вообще гораздо хуже развиты, чем это изображено на фиг. 5 (см., например, фигуры 28, 35, 38, 41, 42), но тем не менее большинство зон легко устанавливается по их изгибам и соотношениям с другими зонами и контактами с боковой породой.

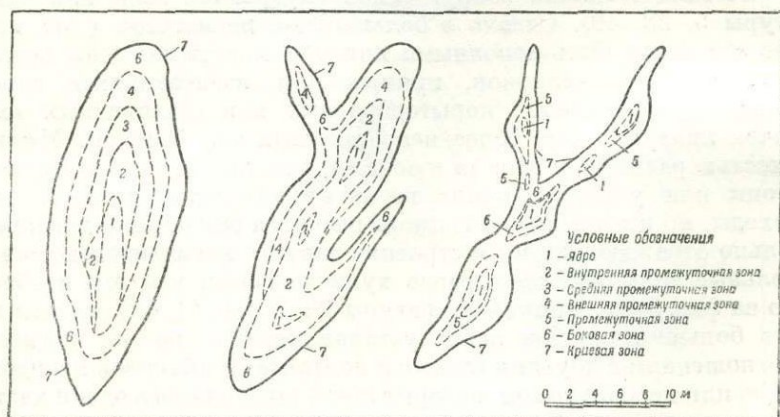
Две или несколько зон, которые легко выделяются в одной части данного пегматита, могут проявиться в другом месте переходящими по падению или простиранию в одну структурную единицу, с составом, соответствующим валовому составу объединенных зон. Положение такой структурной единицы по отношению к примыкающим зонам совпадает с положением, занимаемым этими соседними зонами в других частях пегматита, в которых

¹ Подразумевается максимальный размер зерна.

эта структурная единица может быть прослежена. Такое «телескопирование» зон наиболее часто встречается в челнокообразных



Фиг. 5. Изометрическая блок-диаграмма, показывающая идеализированное челнокообразное пегматитовое тело с концентрически зональной структурой.

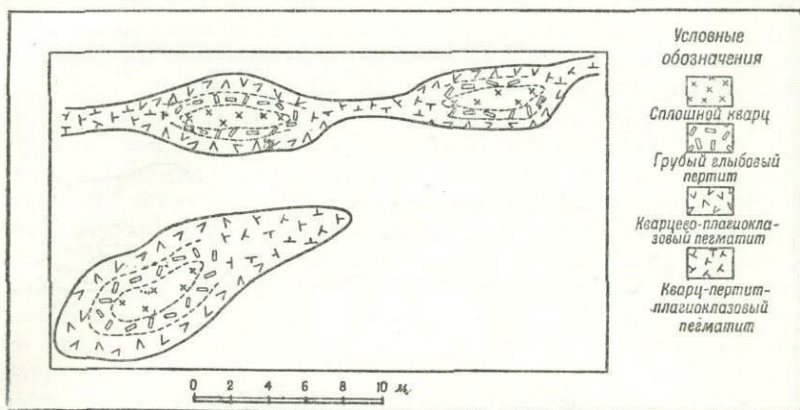


Фиг. 6. Идеализированные планы пегматитовых тел с типичными зональными структурами.

и в некоторых удлинённых пегматитах с местными раздувами или более неправильными выступами (фиг. 7); несколько примеров приведено в связи с последующим детальным рассмотрением зон. Эту особенность не нужно путать с простым выклиниванием одной

зоны между двумя более протяженными структурными единицами.

Зоны сильно варьируют по отчетливости. В некоторых пегматитах (фиг. 8, верхняя; фиг. 9) минералогические или структурные различия между зонами так резко обозначены, что зональная структура видна даже при беглом осмотре. В других—зональная структура становится очевидной только после детального изучения, крупномасштабной съемки и тщательного структурного анализа.



Фиг. 7. Идеализированные планы челнокообразного пегматита и пегматита с утоньшениями и раздувами, показывающие типичное наложение зон по простиранию.

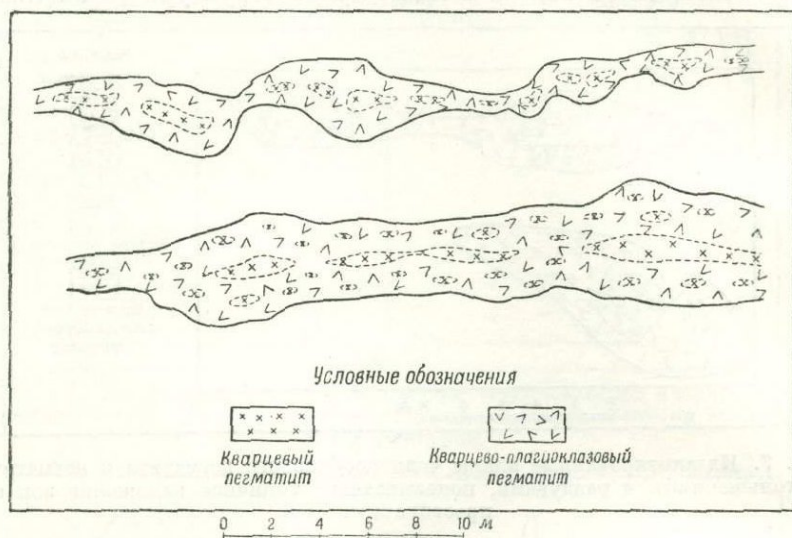
Хотя при определении зон исключаются структурные единицы, развившиеся в результате метасоматизма ранее существовавшего пегматита, однако самые внешние зоны некоторых пегматитов могут быть хорошо развиты, полностью или частично, в результате метасоматизма боковой породы. Различие между зонами и метасоматическими телами, как они здесь определены, не всегда легко провести, даже если оба рода структурных единиц сильно различаются по генезису и значению. Некоторые метасоматические тела, особенно контролируемые зональным строением пегматита, располагаются концентрически вокруг его ядра. Таким образом, определение некоторых структурных единиц как зон нужно делать очень осторожно, основываясь на окончательном выяснении их происхождения.

Мы предлагаем следующую классификацию зон¹:

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| 1. Краевые зоны | 3. Промежуточные зоны |
| 2. Боковые зоны | 4. Ядра |

¹ Геологи из Геологического учреждения США, исследовавшие слюдяносные пегматиты в Минас-Жераис, Бразилия, в 1942—1945 гг. к «краевой

Краевая, или самая внешняя, зона представляет относительно тонкозернистую оторочку, в большинстве пегматитов не превышающую по мощности несколько сантиметров. Боковая зона, следующая за краевой, обычно более грубозернистая и имеет значительно большую толщину. Хотя она является второй от края, она называется «боковой», считаясь с терминологией, прочно установившейся при разработке пегматитов в США.



Фиг. 10. Идеализированные планы пегматитовых тел, показывающие типичное распределение богатых кварцем сегментов ядра в извилистой то расширяющейся, то сужающейся кварцево-плагиоклазовой дайке (вверху) и большое количество разбросанных, богатых кварцем чешуек в более мощной и более правильной по форме дайке (внизу).

Большая часть краевых зон имеет очень небольшое промышленное значение, и поэтому они не различаются в промышленности от прилегающих боковых зон. Самая внутренняя зона, или ядро, обычно встречается в центре или вблизи центра пегматитового тела, часто в виде удлиненной линзы или ряда разобщенных сегментов (фиг. 10, наверху). Любая зона между ядром и боковой зоной оказывается промежуточной. Теоретически число промежуточных зон не ограничено, но только немногие пегматиты содержат больше трех промежуточных зон, которые возможно изобразить на плане. Если их две или больше, их можно обозначать буквами, цифрами

зоне» относят и краевую и боковую зоны, как они понимаются в этой работе (См. Pesson W. T., Klepper M. R. и Larrabee D. M., Mica Deposits in Minas Gerais; U. S. Geol. Survey Bull. 864).

или терминами: «внешняя», «средняя» и «внутренняя». Термин «оболочка ядра» употребляется для обозначения в некоторых пегматитах самой внутренней промежуточной зоны. Зоны, так же как и другие структурные единицы, обозначаются названиями существенных минералов, составляющих данную зону, например кварцево-пертитовый пегматит, пертит-кварц-плагиоклазовый пегматит и т. п. Порядок названий минералов в обозначении принят в соответствии с их относительным количеством¹.

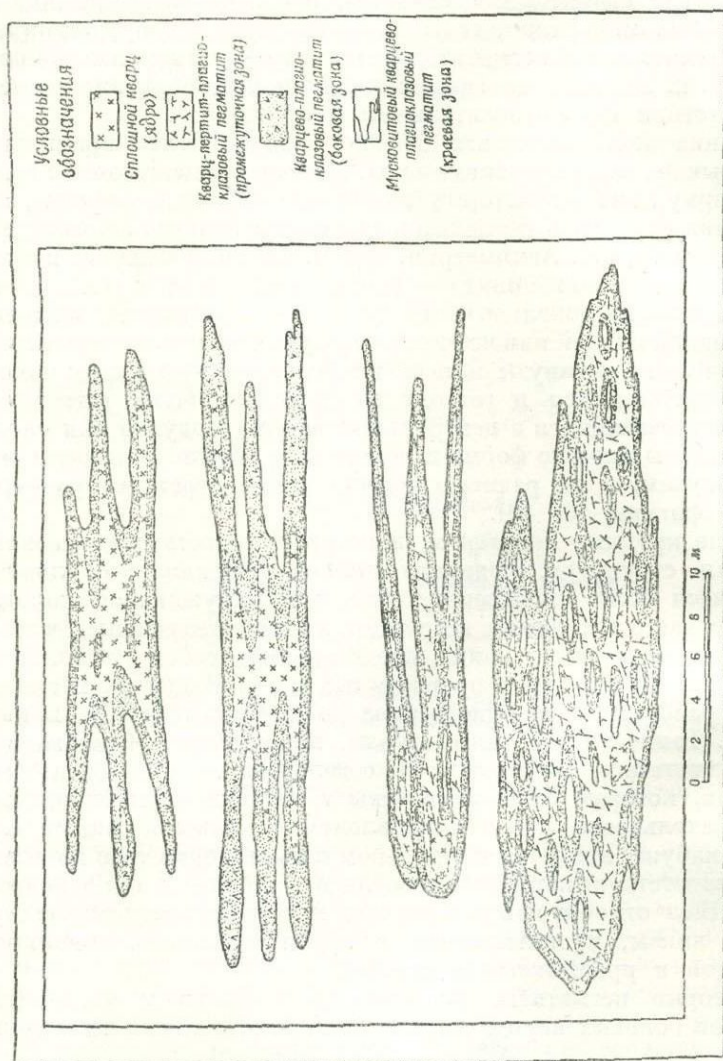
Внешние зоны пегматита обычно гораздо более правильны и непрерывны, чем внутренние зоны. Многие промежуточные зоны имеют форму линз, а некоторые так неровно и неполно развиты, что внутренняя структура пегматитов становится заметно асимметричной (фигуры 11, 67). Асимметрия, прерывность или другие неправильности зон, ближайших к бокам, наблюдаются реже, хотя также встречаются довольно часто. В некоторых пегматитах ядра выражены одной линзой или челноком, в других же аналогичные линзы значительно вытянуты или имеют неправильную форму и ядра заметно прерываются и состоят из двух или более сегментов, обычно встречающихся в центральных частях раздувов или около них. Сегменты ядра по форме и положению обычно соответствуют этим раздувам, и их размеры обычно также отражают размеры раздува (фигуры 10, 46).

Многие крупные пегматиты, в которых недостаточно развита зональная структура, содержат только неправильные линзы, являющиеся более грубозернистыми, чем окружающая порода. Наиболее часто эти линзы встречаются близ центральных частей некоторых пегматитов; они представляют собой небольшие сегменты плохо развитых прерывистых ядер. В других пегматитах они разбросаны от одного бока до другого (фиг. 10, внизу; фиг. 51). Такие разбросанные линзы, повидимому, образовались путем сегрегации, возможно, из отдельных масс пегматитовых растворов, которые были захвачены в затвердевшем пегматите. Последовательность зон в направлении от каждой линзы или челнока наружу является в отдельном пегматитовом теле постоянной и соответствует нормальной последовательности зон в данном округе. Был отмечен каждый переход между пегматитами, содержащими линзы, и пегматитами с хорошо развитой зональной структурой и прерывистыми ядрами.

Некоторые пегматиты, содержащие в большом количестве включения боковых пород, очень сложны в отношении их зональ-

¹ Согласно особенностям русского языка, минералы, входящие в названия, перечисляются в порядке количественного возрастания их содержания в пегматите; например, название «биотитово-кварцево-полевошпатовый пегматит» указывает на то, что преобладающим минералом здесь является полевой шпат, на втором месте стоит кварц и, далее, как цветной минерал—биотит. (Прим. ред.)

ности (фиг. 11). Очевидно, они обладают неправильным строением, главным образом вследствие того, что на развитие зон влияли не только стенки пегматита, но и некоторые включения.



Фиг. 11. Идеализированные планы пегматитовых тел с большим количеством перегородок и включений сланца боковой породы, показывающие соотношения между этими нарушениями правильности и зональной структурой.

Подобные неправильности встречаются в некоторых пегматитах с более сложным строением вследствие перегородок из боковой породы (фиг. 11). Распределение зон, особенно краевой и боковой, хорошо отражает положение этих перегородок, независимо от того,



Фиг. 8. Пегматит Хардинг в графстве Таос, Нью-Мексико.

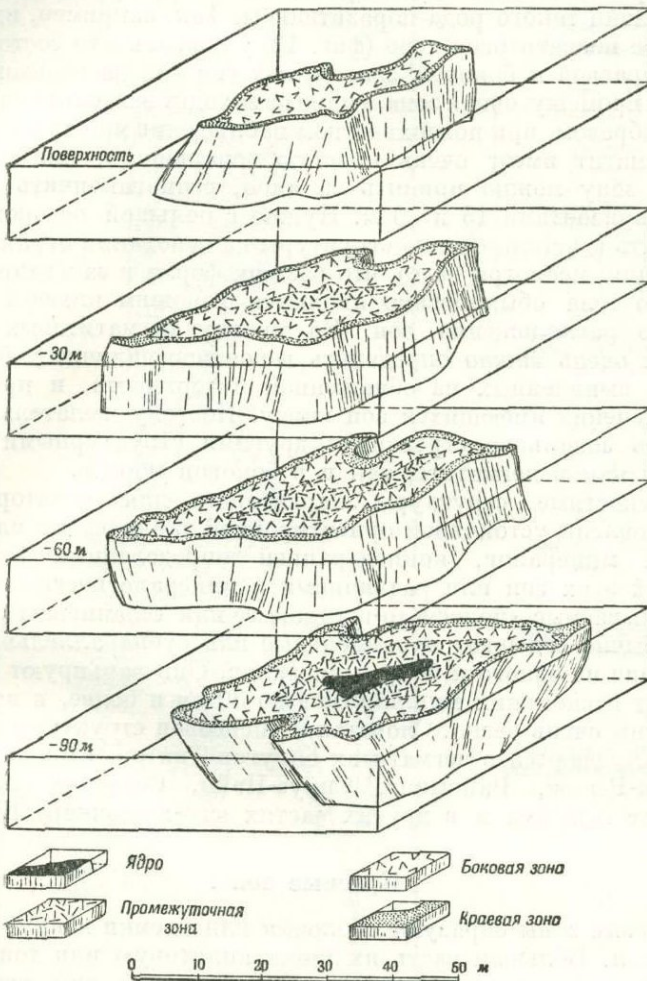
Вверху: верхняя часть дайки в главной открытой выработке. На внешне-сплошной кварц (темное) налагает бериллово-полевошпатовая зона, а подстилает его внутренняя зона из кварца и листовидного сподумена. Микроклиново-сподуменовое ядро ниже горизонта выработки. *Внизу:* пегматит из клеветандита и розового мусковита, часть замещенной внутренней промежуточной зоны. Тонкие пластинчатые агрегаты мусковитовых чешуек (темные) представляют замещенные сподуменовые лейсты.



Фиг. 9. Зональная структура пегматита Кепт-Мац, рудник Элк-Маунтен, графство Сан-Мигуэль, Нью-Мексико.

Главная стенка карьера образована грубозернистым кварцево-пертитовым пегматитом боковой зоны. Под стоящими людьми—сплошное кварцевое ядро; метасоматическое тело, образующее кайму ядра, богатую столпами мусковита (в забое за людьми); видно, что это тело уже выработано.

являются ли они мощными выступами или относительно длинными полосками сланца. В некоторых пегматитах первоначальное положение других перегородок, полностью растворенных пегма-



Фиг. 12. Идеализированная блок-диаграмма зонального пегматита, показывающая видимые зоны на различных горизонтах.

титом, может быть обнаружено по аномальному расположению зон (фиг. 11).

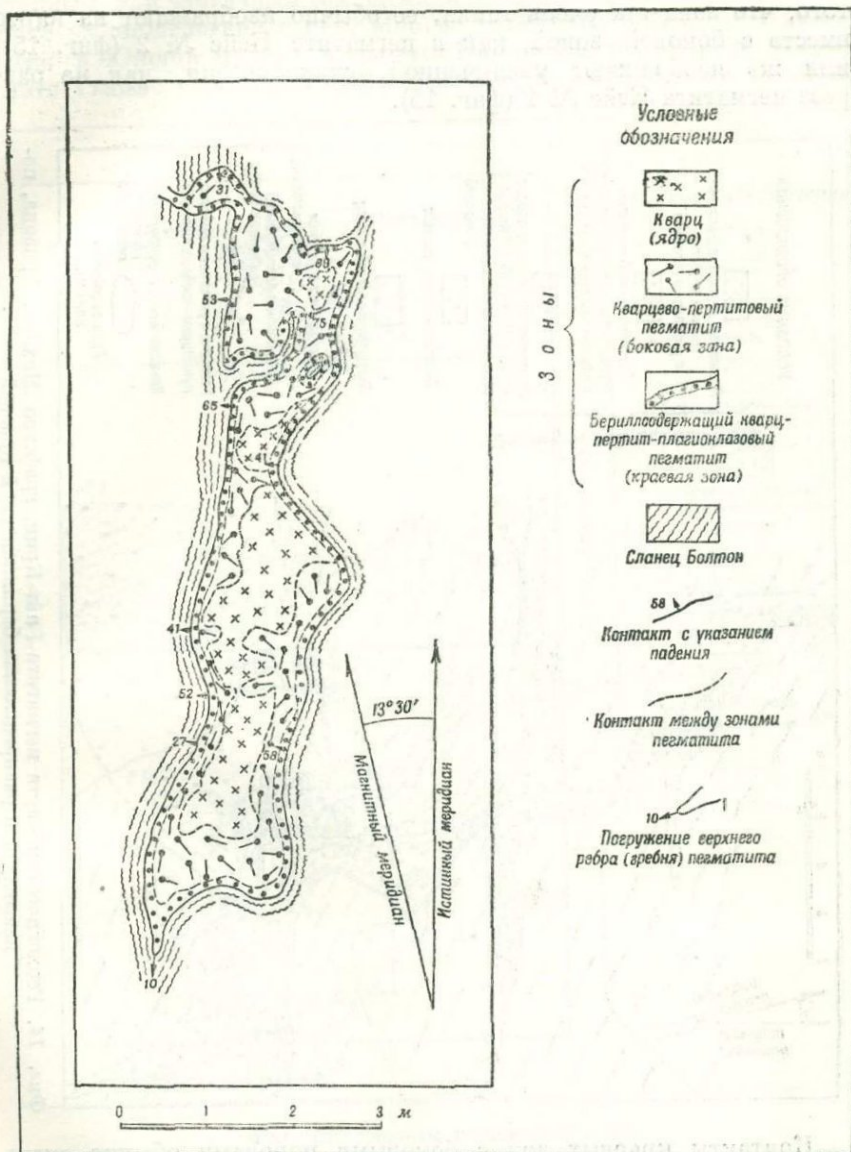
Внутреннюю структуру зонального пегматита невозможно понять на обнажении, где он виден лишь в двух измерениях.

Последовательные горизонтальные или вертикальные разрезы обычно обнаруживают неодинаковую картину зональности даже в месторождениях с очень правильной структурой. Некоторые из различий такого рода поразительны. Так, например, идеализированное пегматитовое тело (фиг. 12) у поверхности состоит только из краевой и боковой зон, между тем как на горизонте 15 м имеется промежуточная зона, а ядро не заходит выше горизонта 45 м. Таким образом, при поверхностном наблюдении может показаться, что пегматит имеет очень простую зональность, или промежуточную зону можно принять за ядро, если закончить исследование горизонтами 15 и 30 м. Нужно с большой осторожностью подходить к истолкованию структуры на основании ограниченных обнажений, несмотря на то, что размер, форма и залегание пегматитового тела обыкновенно являются хорошим ключом к определению расположения зон. Во многих пегматитовых горных округах очень важно определить вероятное наличие добавочных зон, не выявленных на обнаженной поверхности, и предвидеть распределение имеющих зон книзу. Поэтому желательно сопоставлять зональное строение с другими структурными особенностями как в пегматите, так и в боковой породе.

Плоскостные структуры характерны для некоторых зон и обусловлены устойчивой ориентировкой таблитчатых или уплощенных минералов, концентрацией определенных минералов в частях этих зон или различиями в минералогическом составе. Так называемые «полосчато-шлировые» или «сланцеватые» пегматиты обычно содержат параллельные или субпараллельные слои, состоящие из одного и более минералов. Они варьируют по мощности от нескольких миллиметров до 30 см и более, и некоторые выражены очень резко. Слоистая и гнейсовая структуры особенно часто встречаются в пегматитах округов Тинтон, Южная Дакота, Хэйстэк-Рендж, Вайоминг, Спрус-Пайн, Северная Каролина, в округе Алабама и в других частях юго-восточного Пидмонта.

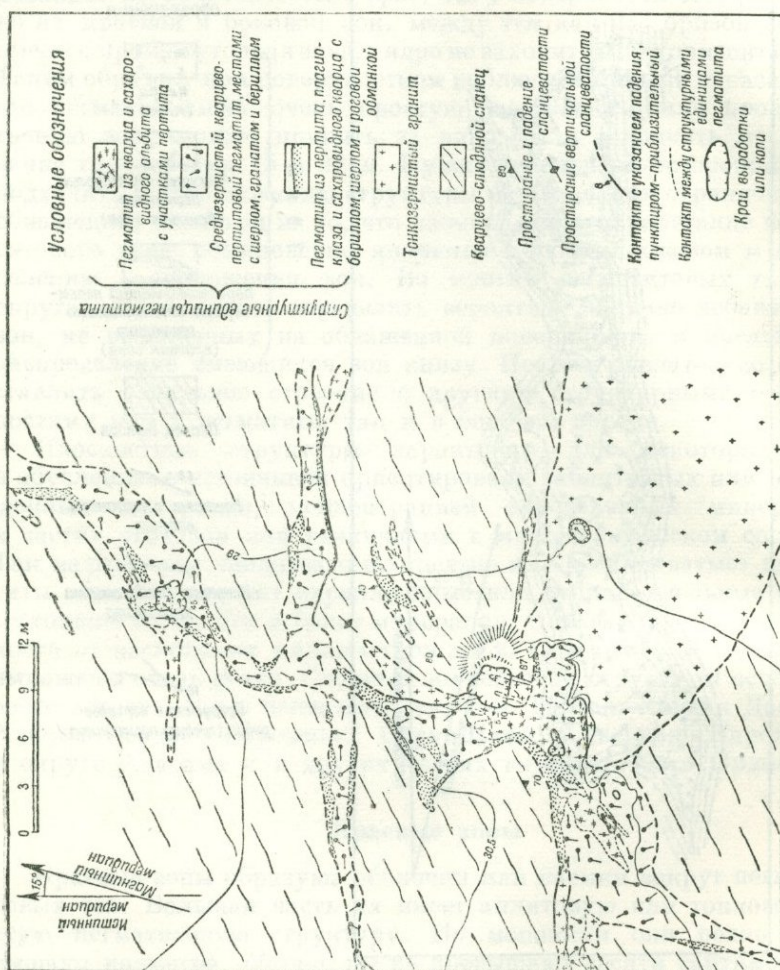
Краевые зоны

Краевые зоны образуют оболочки или каемки вокруг пегматитовых тел. Большая часть их имеет аплитовую или тонкозернистую пегматитовую структуру. По мощности они редко превышают полметра, обычно же не превышают десяти сантиметров. Вообще, мощность краевой зоны в данном пегматитовом теле почти всегда постоянна, как, например, в пегматите Бордонаро в Портленде, Коннектикут (фиг. 13), но во многих пегматитах, как, например, в пегматите Райт-Крик в графстве Мохаве, Аризона (фиг. 14), в пегматите Хербб № 1 в графстве Паухаттан, Виргиния, и в пегматите Палермо № 1, Рамни, Нью-Гемпшир, краевая зона имеет неправильную форму или даже прерывиста. Вследствие



Фиг. 13. План южной части пегматита Бордона, Портленд, Коннектикут.

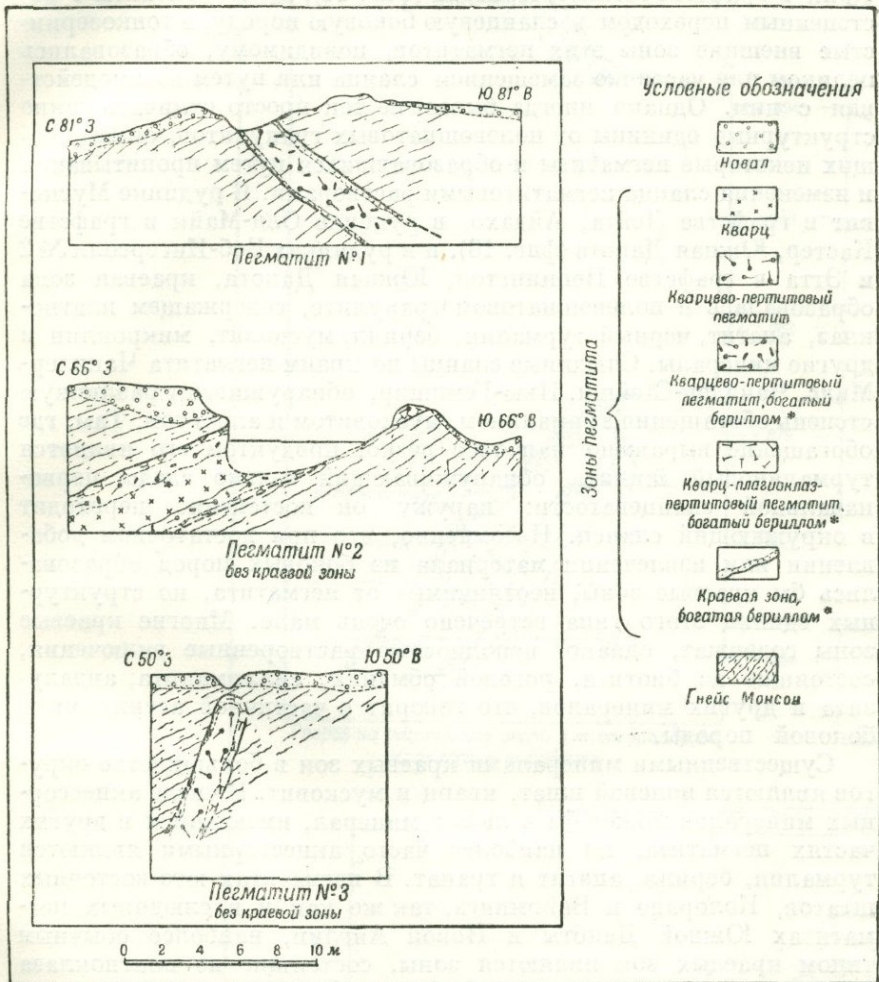
того, что зона эта очень тонка, ее обычно изображают на карте вместе с боковой зоной, как в пегматите Кейс № 2 (фиг. 15), или же изображают увеличенной, схематически, как на разрезе пегматита Кейс № 1 (фиг. 15).



Фиг. 14. Геологическая карта пегматита Райт-Крик, графство Мохаве, Аризона, показывающая распределение бериллоносной краевой зоны.

Контакты краевых зон с боковыми породами обычно очень резки, но для них характерны и постепенные переходы, например для краевых зон некоторых пегматитов, образовавшихся в гранитных породах в последние стадии их кристаллизации, для краевых зон пегматитов, образовавшихся в слоистых инфицированных (lit-par-lit) гнейсах, или для зон пегматитов, образованных

полным или частичным замещением боковой породы или в результате взаимодействия с ней. Многие пегматиты в граните Харни-Пик в Южной Дакоте, в граните Пайкс-Пик в Колорадо, в граните Тьюзас в северной части Нью-Мексико и в гранодиоритовых



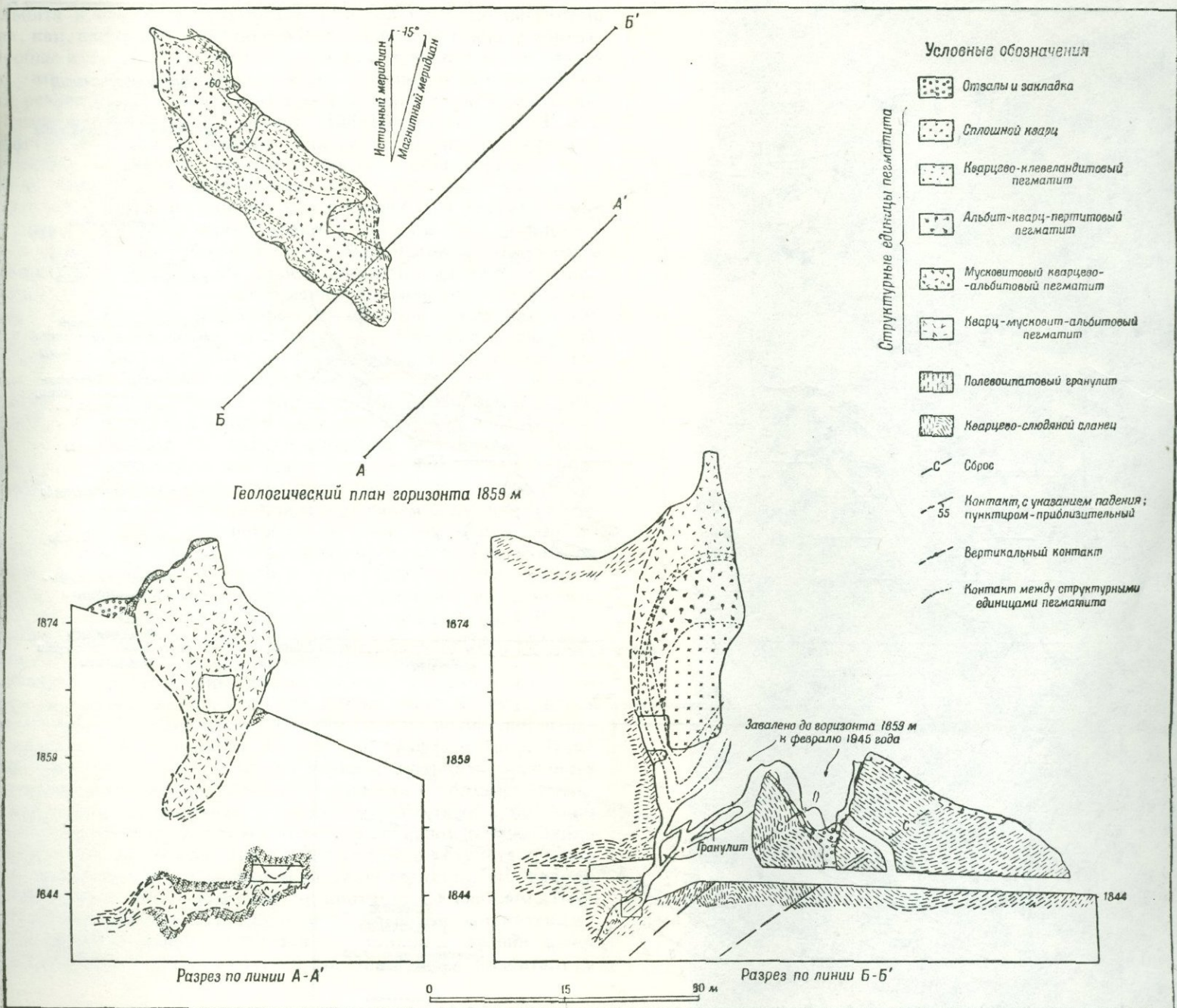
Фиг. 15. Разрезы пегматитов Кейс.

* Здесь выражение «богатый бериллом» употреблено только в относительном смысле.

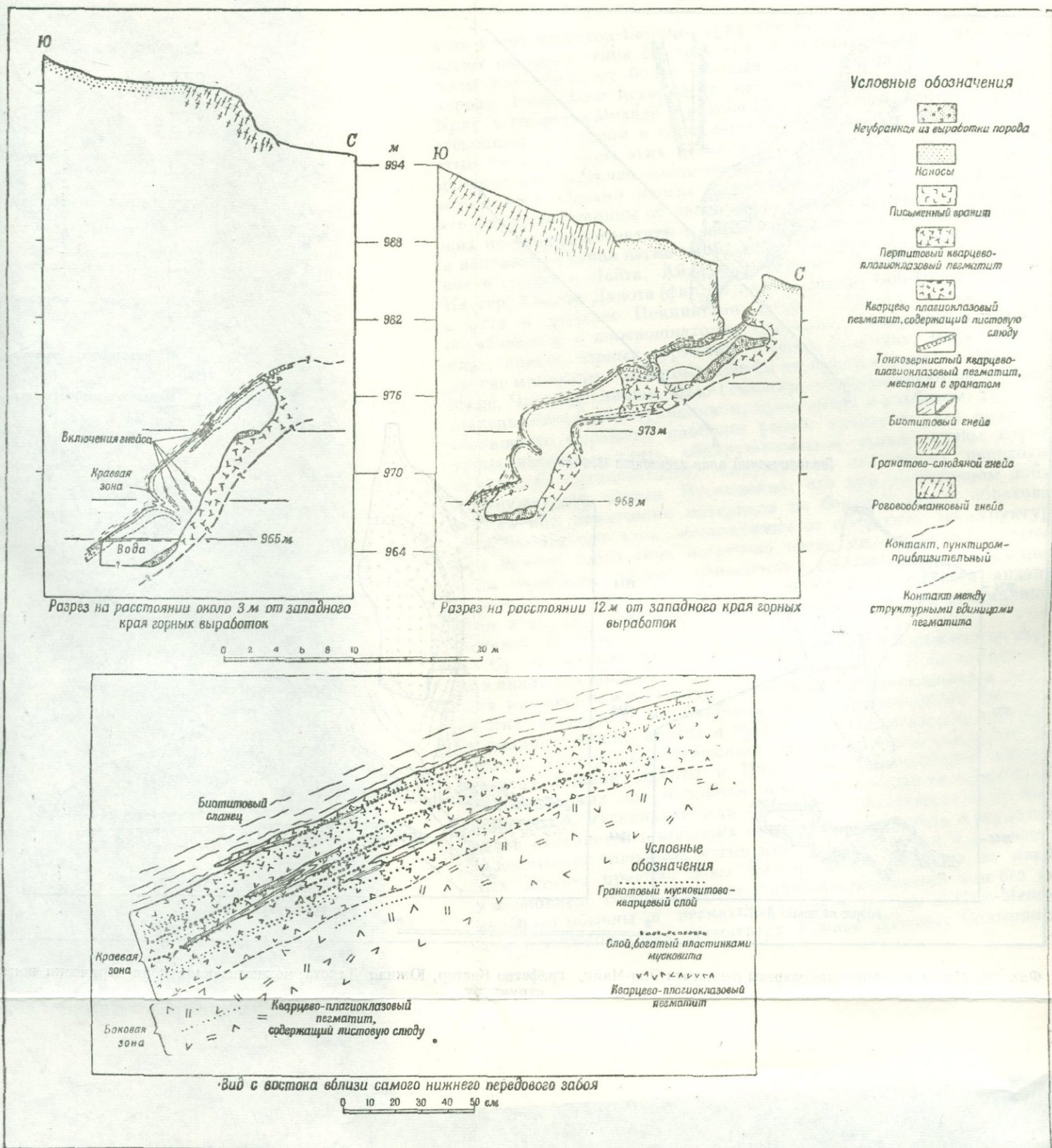
интрузивах в западной части Северной Каролины незаметно переходят во включающую их изверженную породу. Другие, как, например, пегматит Девилс-Хол в графстве Фримонт, Колорадо,

и пегматит Маунтен-Берил в графстве Кастер, Северная Дакота, имеют контакты типа lit—rag—lit, в которых тонкие отпрыски пегматита образуют более светлые ленты в гнейсовой боковой породе. Несколько пегматитов, как, например, в области Райт-Крик в графстве Мохаве, Аризона (фиг. 14), имеют контакты с постепенным переходом в сланцевую боковую породу, и тонкозернистые внешние зоны этих пегматитов, повидимому, образовались целиком или частично замещением сланца или путем взаимодействия с ним. Однако иногда бывает не так просто отличать такие структурные единицы от полевошпатовых гранулитов, окаймляющих некоторые пегматиты и образовавшихся путем пропитывания и изменения сланца пегматитовыми растворами. В руднике Мусковит в графстве Лейта, Айдахо, в руднике Олд-Майк в графстве Кастер, Южная Дакота (фиг. 16), и в рудниках Боб-Ингерсолл № 2 и Этта в графстве Пеннингтон, Южная Дакота, краевая зона образовалась в полевошпатовом гранулите, содержащем плагиоклаз, апатит, черный турмалин, берилл, мусковит, микроклин и другие минералы. Слюдяные сланцы по краям пегматита Чандлер-Милс, Чандлер-Стейнш, Нью-Гемпшир, обнаруживают различную степень обогащения турмалином, мусковитом и альбитом. Там, где обогащение выражено наиболее резко, продуктом его является турмалиновый «аплит», обнаруживающий только следы первоначальной сланцеватости; наружу он постепенно переходит в окружающий сланец. Несомненно, что при достаточном добавлении или извлечении материала из боковых пород образовались бы краевые зоны, неотличимые от пегматита, но структурных единиц этого типа встречено очень мало. Многие краевые зоны содержат, однако, неполностью растворенные включения, состоящие из биотита, роговой обманки, силлиманита, андалузита и других минералов, что говорит о частичной ассимиляции боковой породы.

Существенными минералами краевых зон в большинстве округов являются полевой шпат, кварц и мусковит. В числе аксессуарных минералов может быть любой минерал, имеющийся в других частях пегматита, но наиболее часто аксессуарными являются турмалин, берилл, апатит и гранат. В пегматитах юго-восточных штатов, Колорадо и Вайоминга, так же как и в слюдяных пегматитах Южной Дакоты и Новой Англии, наиболее обычным типом краевых зон являются зоны, состоящие из плагиоклаза и кварца с мусковитом или без него. Соотношение этих минералов изменяется в широких пределах от пегматита к пегматиту. В некоторых слюдяных пегматитах Новой Англии и юго-восточных штатов краевые зоны состоят почти целиком из кварца и мусковита. Кварц и пертит с альбит-олигоклазом или без него наиболее обычны в пегматитах округа Петака в Нью-Мексико и в полевошпатовых пегматитах Южной Дакоты. Большинство



Фиг. 16. Карта и поперечные разрезы пегматита Олд-Майк, графство Кастер, Южная Дакота, показывающие концентрически зональную структуру.

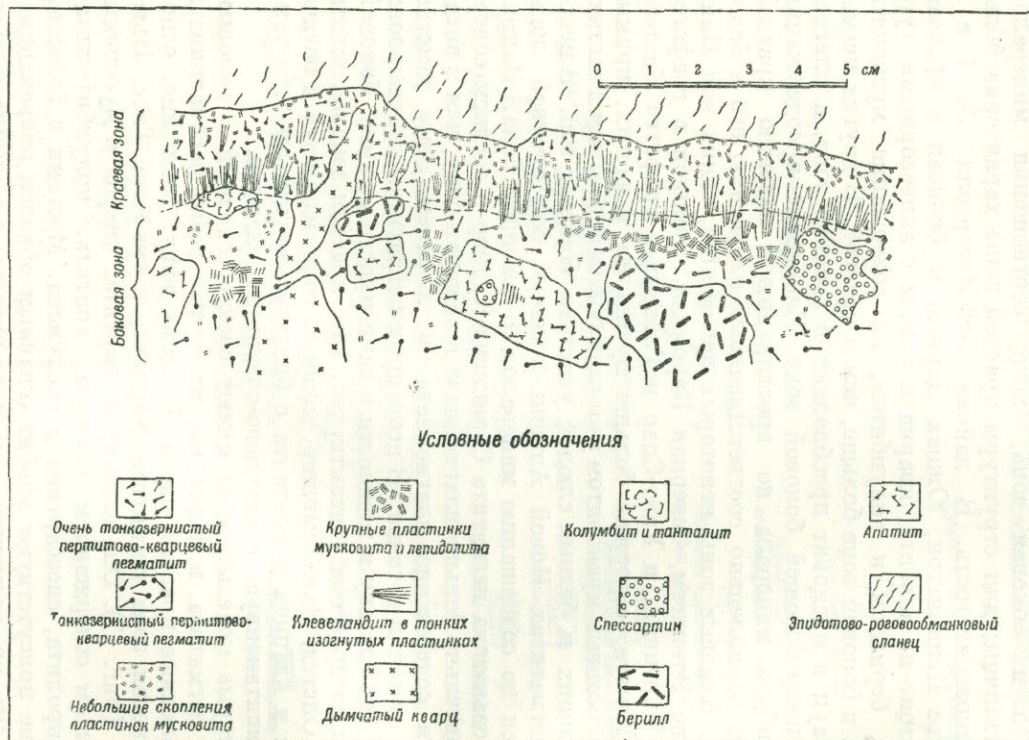


Фиг. 18. Разрез пегматита Барлон, графство Митчелл, Северная Каролина, и детальная зарисовка слоистой краевой зоны вдоль висячего бока.

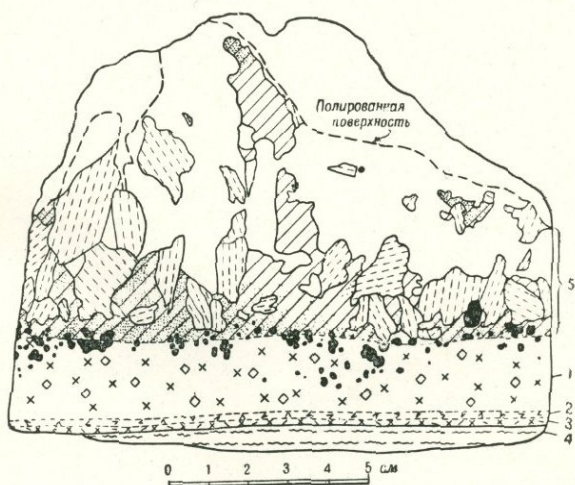
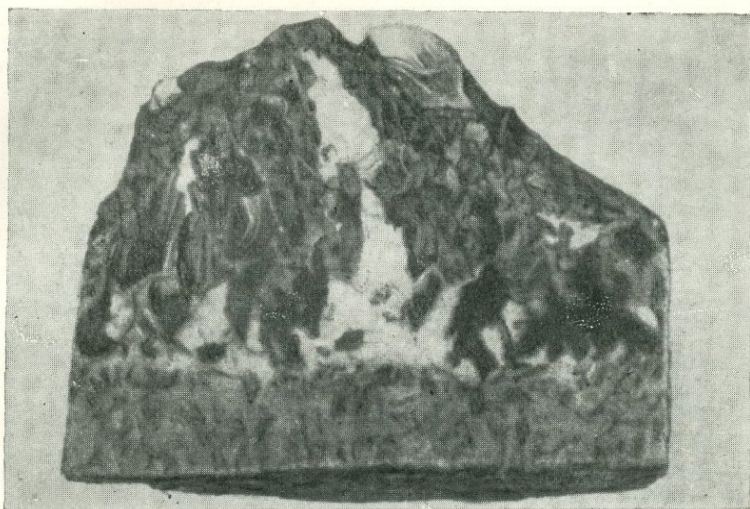
краевых зон литиевых пегматитов в Южной Дакоте состоит из альбита и кварца с мусковитом или без него, но некоторые из них, как, например, в пегматите Этта, содержат также и пертит.

Вообще крайевая зона любого пегматита содержит те же минералы, что и боковая зона, хотя соотношения минералов в них различны; для структуры краевой зоны характерна большая тонкозернистость. В дайках Боб-Ингерсолл № 1 и 2 в графстве Пеннингтон, Южная Дакота, и боковая и крайевая зоны состоят из альбита, кварца и слюды с аксессуарными турмалином, бериллом и колумбитом, но содержание мусковита и кварца в боковой зоне больше, чем в краевой. В других пегматитах кварц и мусковит преобладают в краевой зоне, а плагиоклаз—в примыкающей боковой зоне. Изменение в содержании какого-нибудь минерала по простиранию и падению краевой зоны идет параллельно соответственному изменению его в боковой зоне. Краевые зоны некоторых пегматитов, таких как Найт в графстве Рокингем, Северная Каролина, Чэмпин в графстве Амелия, Виргиния, и Уайт-Спар и Гленвуд в графстве Кастер, Южная Дакота, содержат больше мусковита в частях, примыкающих к богатым мусковитом участкам боковых зон, чем в частях, примыкающих к бедным слюдой участкам боковых зон. В некоторых пегматитах Новой Англии лежащий бок краевой зоны отличается по содержанию минералов от всякого бока. Например, крайевая зона пегматита Стрикленд-Крамер в среднем содержит значительно больше плагиоклаза в лежащем боку, чем в всячем, хотя содержание плагиоклаза в лежащем боку заметно меняется от точки к точке. В некоторых пегматитах крайевая зона варьирует по составу и мощности в зависимости от типа боковой породы, с которой она контактирует. Так, крайевая зона пегматита Колони, Олстед, Нью-Гемпшир, мощнее, тонкозернистее и богаче альбитом и кварцем у контакта с биотитовым гнейсом, чем там, где она контактирует с кварцево-слюдяным сланцем.

Некоторые крайевые зоны имеют состав, сходный с валовым составом пегматита, и, вероятно, их лучше всего рассматривать как закаленные крайевые части. К этому типу, возможно, относится крайевая зона пегматита Хардинг, в графстве Таос, Нью-Мексико (фиг. 17). Она состоит из пертита, кварца и мусковита с небольшим содержанием берилла, апатита, колумбит-танталита, микролита, спессартина и сподумена. Местами в большом количестве присутствуют альбит (главным образом клевеландит) и лепидолит, но, возможно, они были внесены в результате позднейшего метасоматизма. Краевая зона тонкозерниста, но размер зерна увеличивается с удалением от контакта со сланцем. Пегматит Хардинг достигает в среднем 15-метровой мощности, но мощность краевой зоны колеблется от толщины лезвия ножа до 5 см, составляя в среднем около 1 см. Она почти горизонтальна



Фиг. 17. Детальная зарисовка частично альбитизированной краевой зоны и самой верхней части боковой зоны пегматита Хардинг, графство Таос, Нью-Мексико,



Фиг. 19. Отполированный образец краевой зоны пегматита Атвуд, Рамни, Нью-Гемпшир, показывающий слоистость, параллельную контакту; 1—кварцево-сланцевой сланец; 2—тонкозернистый кварц с акцессорным мусковитом, 3—тонкозернистый кварц и плагиоклаз, 4—тонкозернистый кварц с подчиненным плагиоклазом, акцессорным мусковитом и гранатом; 5—тонкозернистый кварц (чистое), мусковит (черточки для каждого кристаллика приблизительно параллельно направлению спайности), плагиоклаз (косые—прорастания кварцем) и акцессорный гранат. Следует обратить внимание на скопление граната (сплошное черное) по границе между слоями 4 и 5.

и имеет резкий контакт с прилегающими круто падающими роговообманковым сланцем, кварцитом и эпидозитом. Многие крайевые зоны в округах Блэк-Хиллс, Южная Дакота, повидимому, сходны в том отношении, что они содержат много минералов или все минералы, имеющиеся в других структурных единицах пегматита, но чтобы показать, что крайевые зоны действительно эквивалентны по составу всему пегматиту, необходимы валовое опробование и детальные химические анализы. В большинстве слюдяных пегматитов Новой Англии минеральный состав крайевых зон явно отличается от валового состава пегматитов.

Крайевая зона обычно более тонкозерниста к внешнему краю и грубее к внутреннему (у боковой зоны). В некоторых крайевых зонах минералы располагаются слоями параллельно контакту с боковой породой. В пегматите Барлсон из округа Спрус-Пайн, Северная Каролина (фиг. 18), крайевая зона мощностью 30—50 см состоит из большого количества слоев тонкозернистого мусковита, кварца и граната, чередующихся с плагиоклазом и кварцем. Многие из этих слоев можно проследить на протяжении 10 м и больше по простиранию, а некоторые богатые слюдой слои прослеживаются и в частично растворенные включения боковой породы. Пегматит Уилхелм в графстве Кастер, Южная Дакота, пегматиты Ньюри и Блэк-Маунтен в Мэне и многие другие слюдяные пегматиты Новой Англии обнаруживают в краевой зоне аналогичное слоистое расположение минералов. Крайевая зона пегматита Атвуд, Рамни, Нью-Гемпшир, имеет мощность 10—30 см и состоит из кварца, плагиоклаза, мусковита и граната (фиг. 19). На протяжении 13 см обнаружено по крайней мере 7 слоев. На изображенном образце гранат концентрируется по границе между этими слоями. Во многих пегматитах района Кребтри и других частей округа Спрус-Пайн, Северная Каролина, имеются крайевые зоны, содержащие перемежающиеся слои богатого и бедного гранатом мусковитового кварцево-плагиоклазового пегматита. Во многих богатых слюдой пегматитах Южной Дакоты, Мэна и Вайоминга на внутренней стороне краевой зоны имеется малозаметный слой черного турмалина.

Для крайевых зон многих пегматитов характерна ориентировка образующих минералов, перпендикулярная или субперпендикулярная к поверхностям контакта. Даже полевой шпат и кварц в удлиненных зернах и группах зерен принимают подобное расположение в некоторых крайевых зонах, но такое расположение гораздо более обычно и, как правило, более заметно для стопок мусковита¹, турмалина, берилла и кристаллов апатита.

¹ Здесь термином «стопки мусковита» (англ. «Book muscovite») названы сростания кристаллов мусковита, напоминающие стопки книг. В русской геологической литературе эти же образования встречаются иногда под названиями «пачки мусковита» и «книжки мусковита». (Прим. ред.)

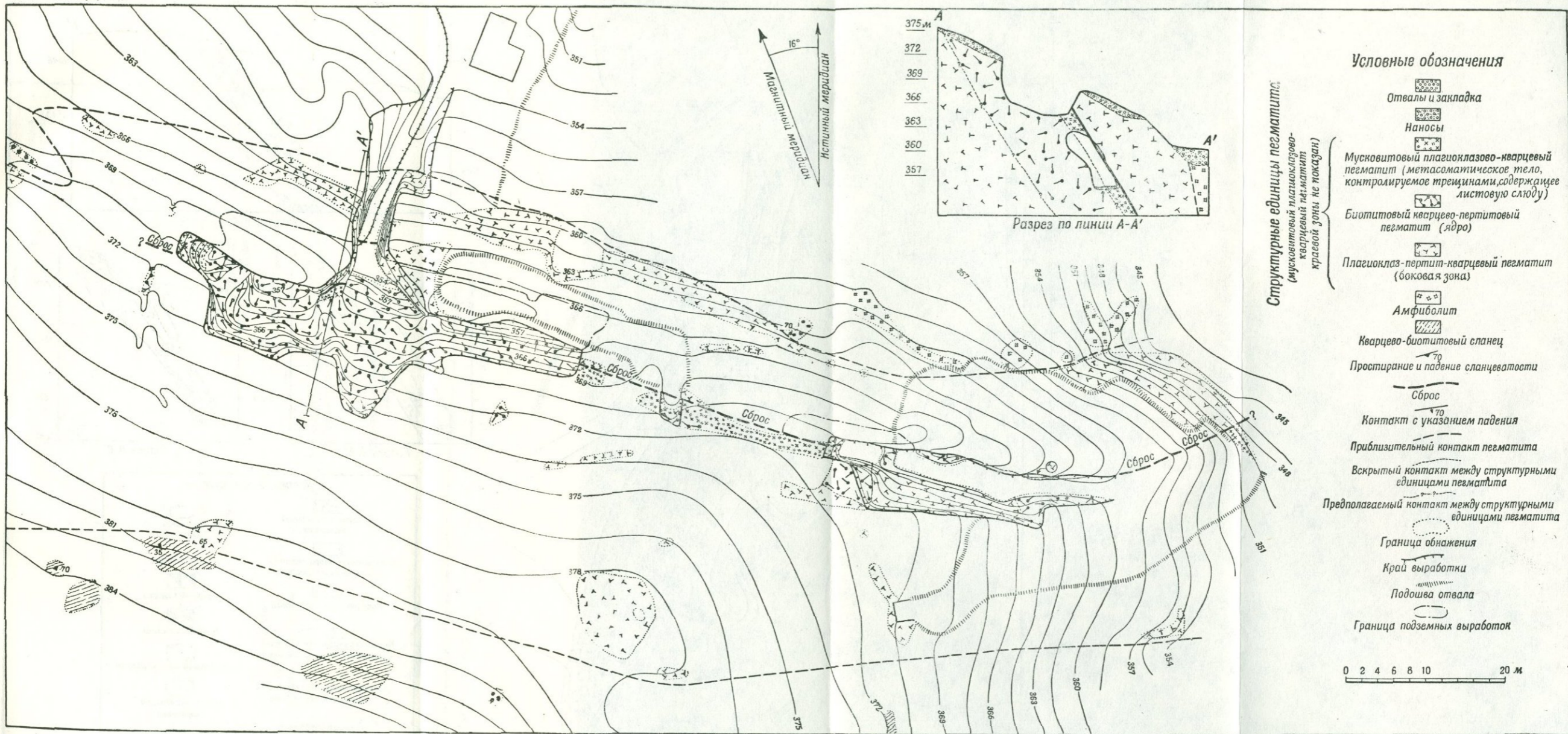
В таких пегматитах краевые зоны вокруг включений обнаруживают точно такое же расположение кристаллов по отношению к поверхности включений. В краевых зонах пегматитов Кейс (фиг. 15) и пегматита Слокум в Ист-Хемптоне, Коннектикут, бросается в глаза субперпендикулярное расположение кристаллов берилла и черного турмалина по отношению к поверхностям контакта. Это обнаруживается как у стенок пегматита (Кейс № 2), так и вокруг рассеянных включений. Ориентированные таким образом кристаллы берилла сужены к одному концу, и этот конец направлен к поверхностям контакта. В пегматитах Кейс обнаруживается такое же, но менее ярко выраженное положение кристаллов, а расширение их внутрь также можно видеть на кристаллах микроклина в краевой зоне.

Некоторые краевые зоны или участки краевых зон содержат кристаллы или группы кристаллов, ориентированных параллельно контакту пегматита. Группы листочков мусковита, образующие в некоторых местах мелкую волнистость, вытянутую параллельно погружению пегматита, наблюдались в пегматитах Краун и Уайт-Кэп в Южной Дакоте и в некоторых пегматитах Новой Англии. В некоторых пегматитах Мэна Лорраби наблюдал (личное сообщение, 1945 г.) такое же расположение кристаллов берилла.

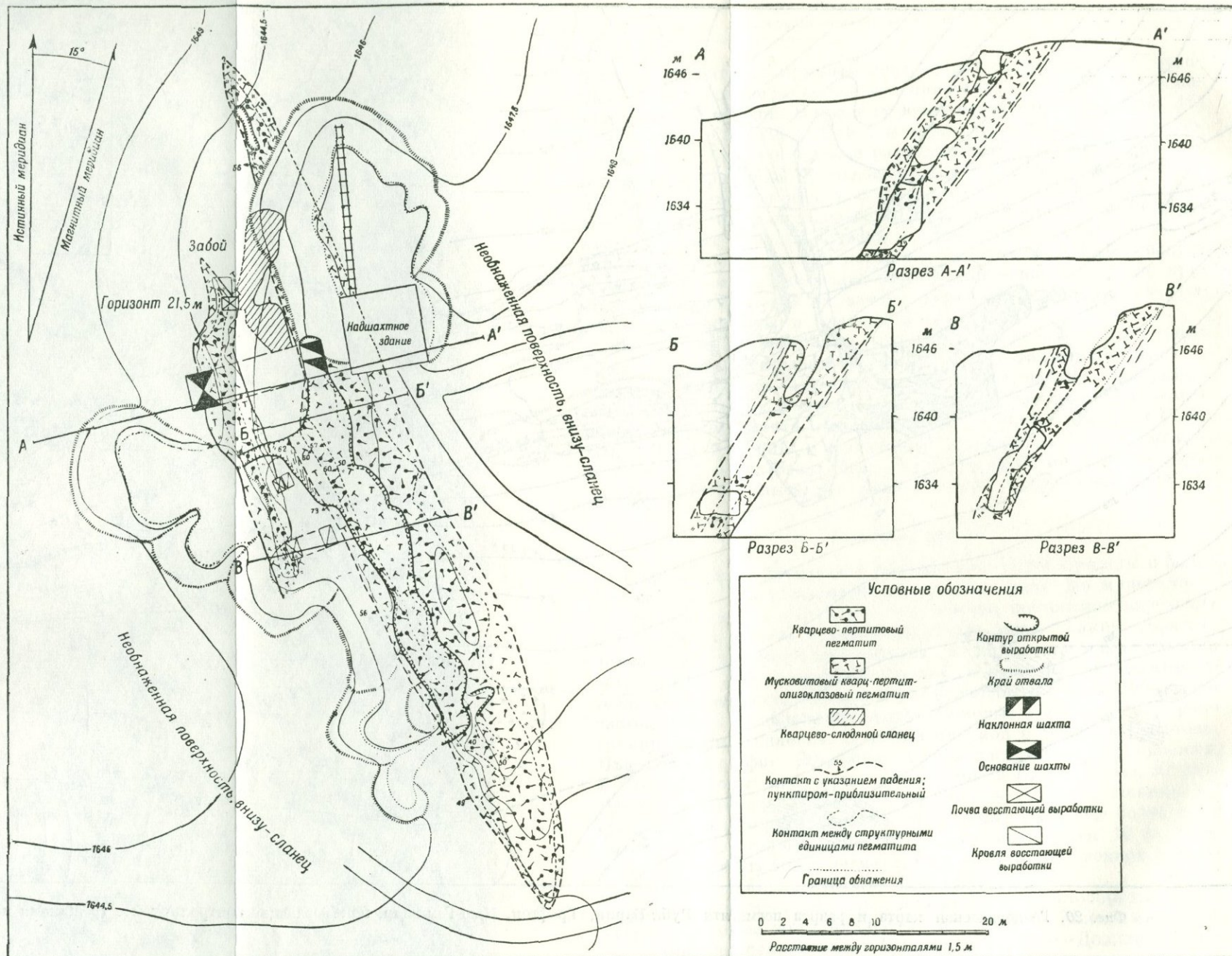
Боковые зоны

Боковые зоны пегматитов вообще более грубозернисты и более мощны, чем сопровождающие их краевые зоны. По минералогическому составу и структуре они обычно постепенно переходят в соседние краевую и промежуточную зоны. Таким образом, длина боковой зоны по простиранию, по падению и в направлении погружения контролируется формой и размером пегматитового тела, хотя мощность боковой зоны может быть только небольшой частью общей мощности пегматита. Боковые зоны вообще широко варьируют по мощности. В пегматите Раби и Барни в Графтоне, Нью-Гемпшир (фиг. 20), боковая зона достигает 18 м мощности, а боковые зоны некоторых пегматитов в Блэк-Хиллсе, Южная Дакота [например, пегматит Сода-Спар в графстве Пеннингтон (фиг. 21)], и в округе Топсхэм, Мэн, могут быть еще более мощными. Однако только немногие из них превышают 10 м, мощность же боковых зон в пегматитах с хорошо выраженной зональностью, как правило, меньше 3 м.

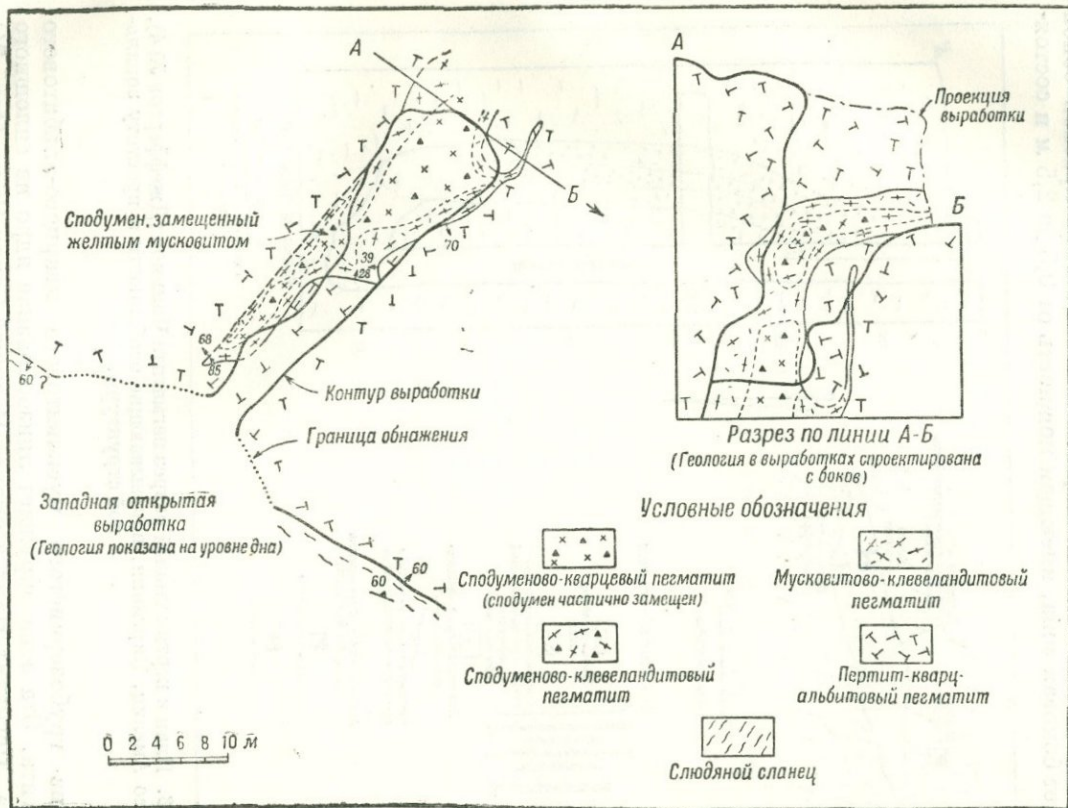
Во многих простых линзовидных или пластообразных пегматитах боковые зоны являются сплошными оболочками, окружающими внутренние зоны. В пегматите Силвер-Доллар в графстве Кастер, Южная Дакота (фиг. 22), мусковитовая кварцево-олигоклазовая боковая зона достигает мощности от 1 до 2,5 м и полностью окружает ядро, состоящее из пертита и кварца.



Фиг. 20. Геологическая карта и разрез пегматита Руби-Барни, Графтон, Нью-Гемпшир, показывающие контролируемое трещинами метасоматическое тело вдоль внутреннего края мощной боковой зоны.

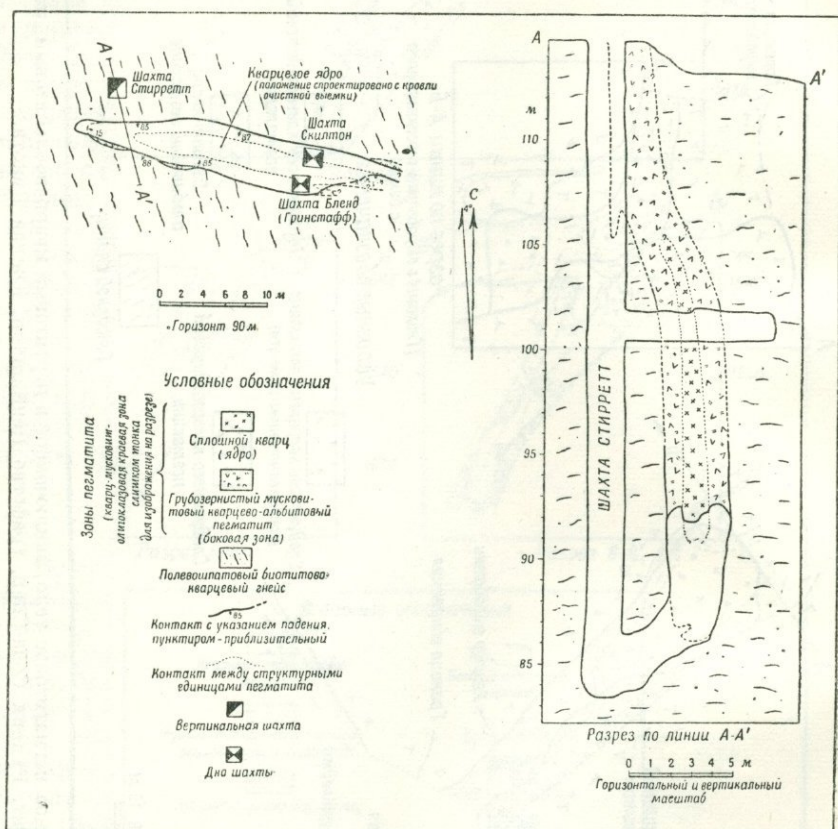


Фиг. 22. Геологическая карта и разрезы пегматита Силвер-Доллар, графство Кастер, Южная Дакота, показывающие непрерывную мусковитовую кварцево-микрклиново-олигоклазовую боковую зону.



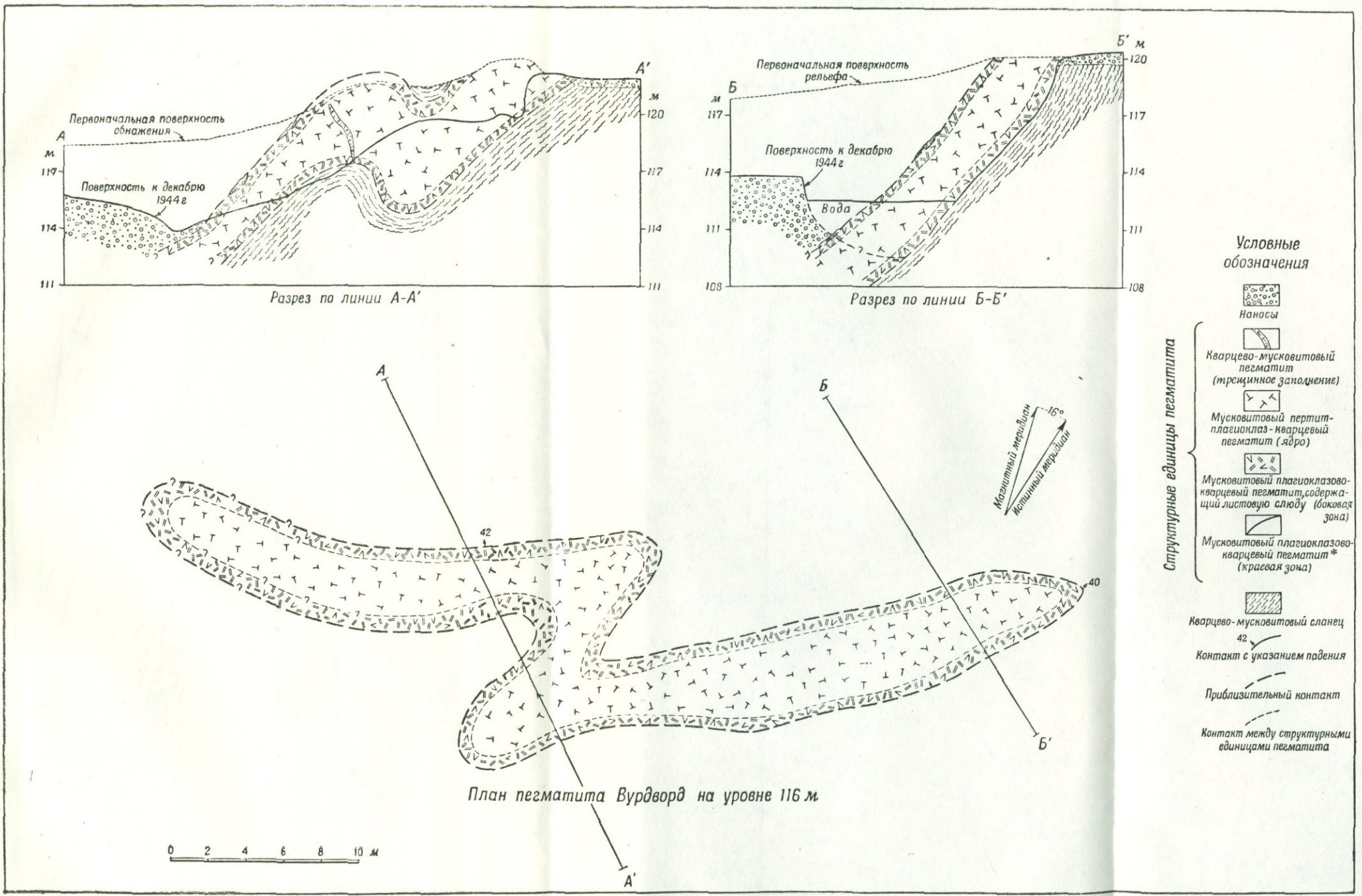
Фиг. 21. Зональное пегматитовое тело, заключенное в пертитовый кварцевоальбитовый пегматит. Рудник Сода-Спар, графство Пеннингтон, Южная Дакота.

Пегматит Чэмпион в графстве Амелия, Виргиния (фиг. 23), представляет другой пример пегматита со сплошной боковой зоной вокруг ядра. За тонкой кварцево-олигоклазовой краевой зоной следует боковая зона, имеющая мощность от 0,5 до 2,5 м и состоя-

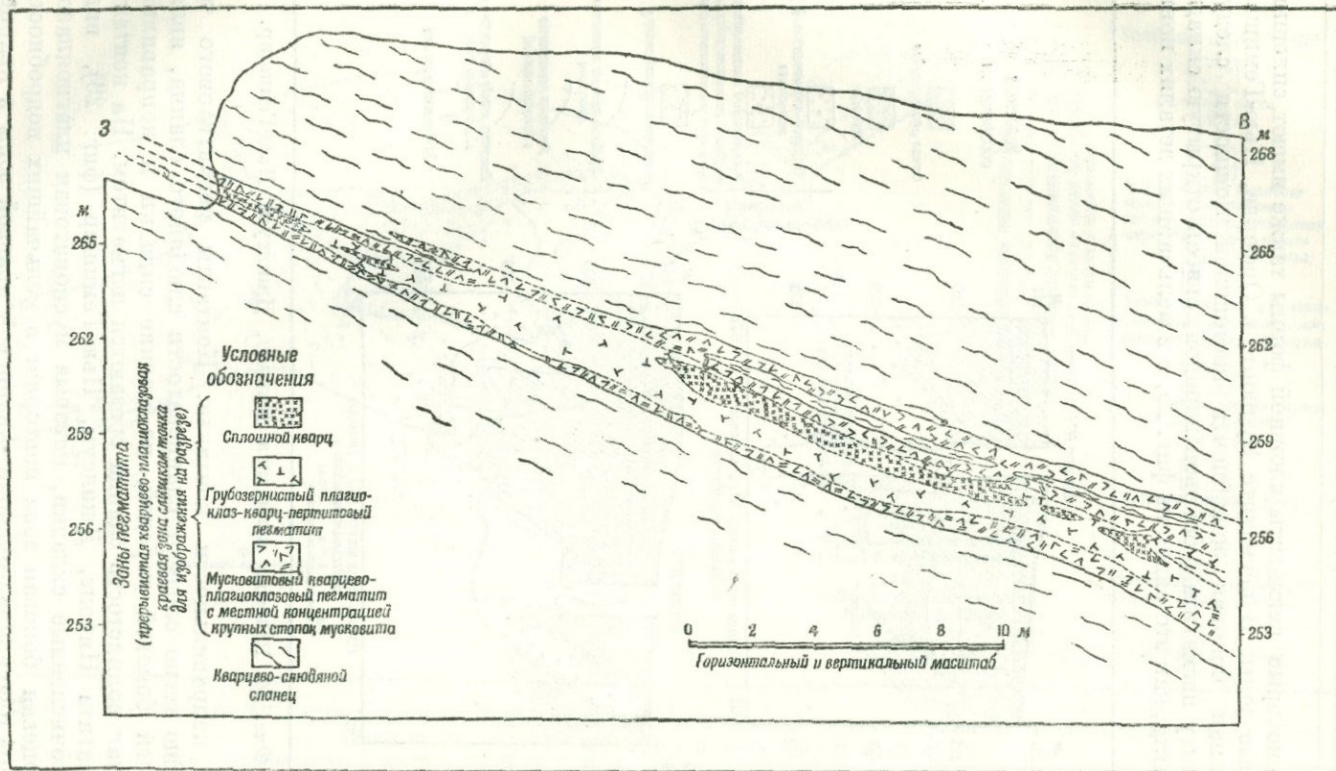


Фиг. 23. План и вертикальный разрез пегматита Чэмпион (Джефферсон № 4), графство Амелия, Виргиния, показывающие особенности и простоту зональной структуры.

щая из грубозернистого мусковитового кварцево-альбитового пегматита. Эта зона окружает линзообразное ядро из сплошного кварца. Пегматит Найт в округе Риджуэй-Санди-Ридж (фиг. 24) представляет собой силл от 1 до 5 м мощностью со сплошной, хорошо очерченной боковой зоной из средне- и грубозернистого кварцево-плаггиоклазового пегматита, содержащего пертит и множество крупных стопок мусковита. Последних больше всего у лежачего бока зоны.

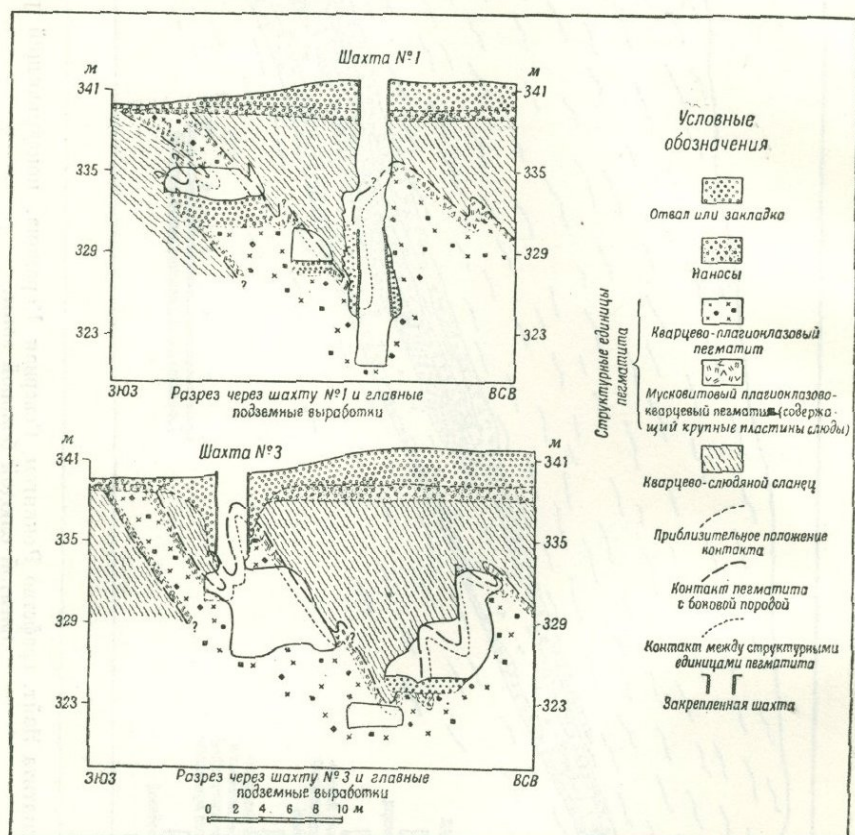


Фиг. 25. Подземный план и разрезы пегматита Вурдворд, Орфорд, Нью-Гемпшир.



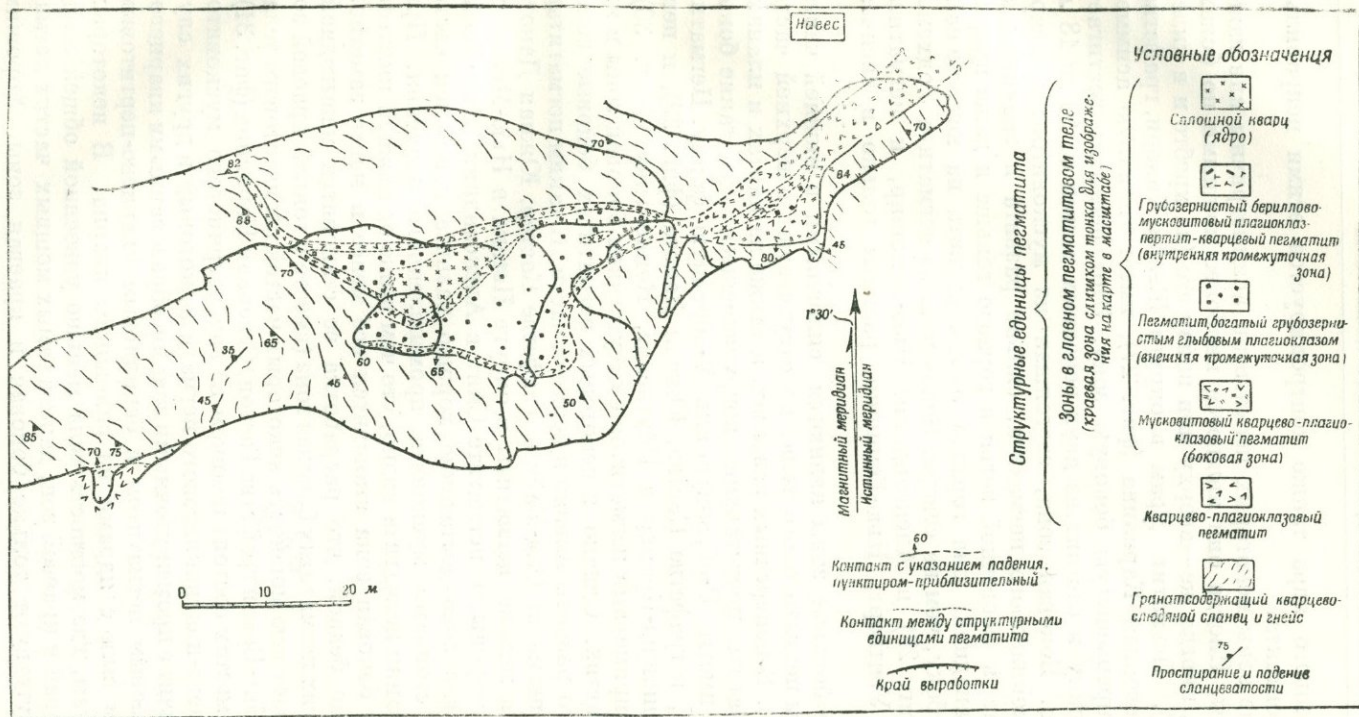
Фиг. 24. Разрез пегматита Найт, графство Рокингем, Северная Каролина, показывающий распределение богатой слюдой боковой зоны.

Некоторые пегматиты сложной формы также имеют сплошные боковые зоны. В пегматите Вудворт, в Орфорде, Нью-Гемпшир, сплошная боковая зона почти постоянной мощности следует контакту пегматита с боковой породой, огибаая открытую складку контакта, как это видно на фиг. 25, и в мельчайших деталях повто-



Фиг. 26. Разрезы пегматита Николс, Джилсум, Нью-Гемпшир.

ря неправильности контакта. Контакты пегматитового тела вообще тесно следуют сланцеватости слюдяного сланца, являющегося боковой породой, но мелкие складки и неправильная мелкая волнистость сланца срезаются пегматитом. На контактах пегматита Николс, Джилсум, Нью-Гемпшир (фиг. 26), видны многочисленные складки, которые мусковитовая плагиоклазово-кварцевая боковая зона повторяет в мельчайших подробностях. Форма плагиоклаз-мусковит-кварцевой краевой зоны и кварцево-



Фиг. 27. Геологическая карта пегматита Драм, графство Катауба, Северная Каролина, показывающая развитие зональной структуры в двух главных раздувах.

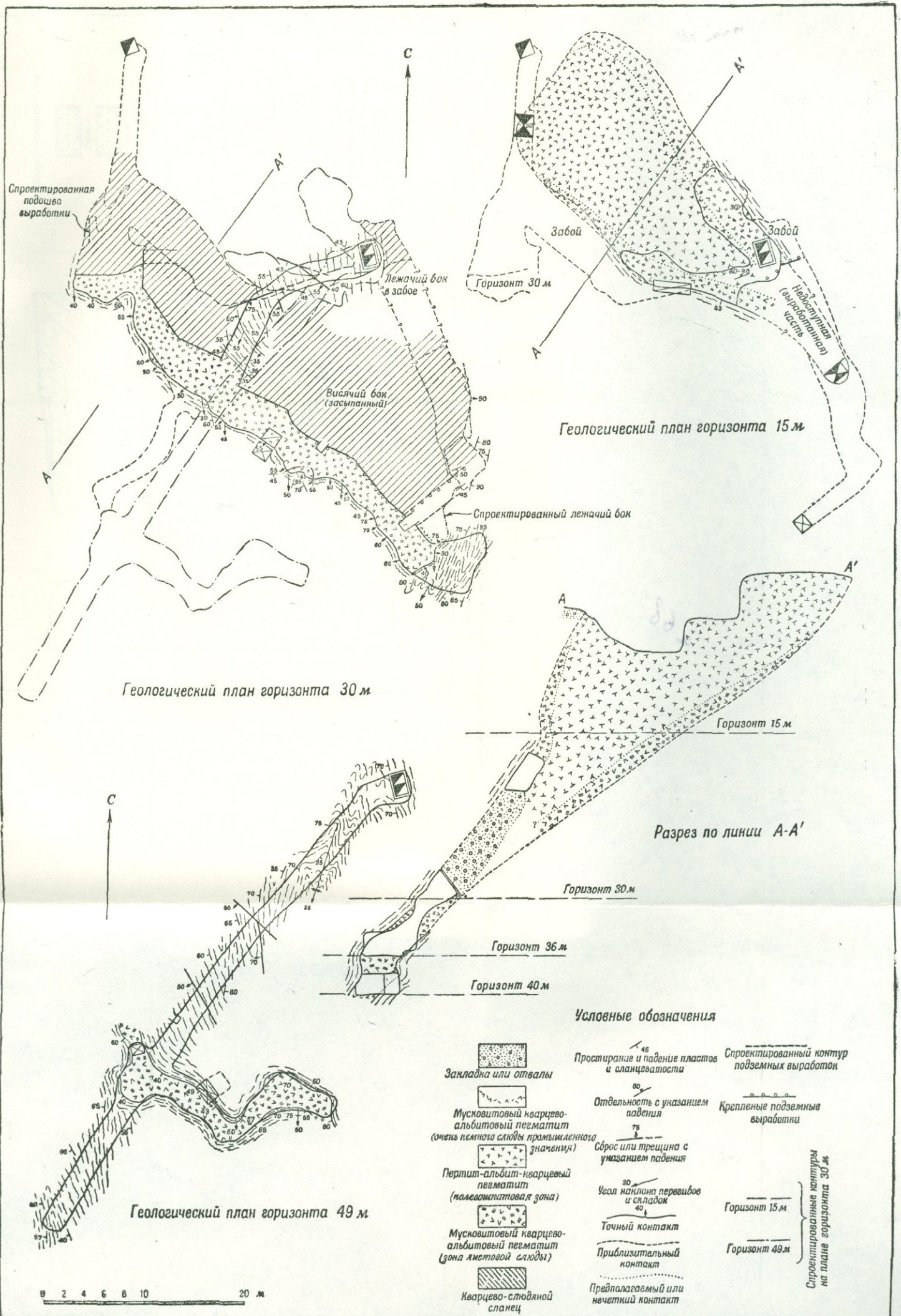
Значительная часть боковой зоны и почти вся внутренняя промежуточная зона содержит только слюдяную мелочь; самая значительная концентрация листовидной слюды наблюдается в боковой зоне вдоль южного края главного раздува пегматитового тела,

плаггиоклазового ядра также контролируется этими неправильностями контакта.

Боковые зоны некоторых пегматитов асимметричны или даже прерывисты. Иногда они являются наиболее мощными по бокам пегматита, иногда же—вверху или внизу его (на хребте и в килевой части). Пегматит Драм в округе Шелби-Хикори, графство Катоба, Северная Каролина (фиг. 27), имеет типичную асимметричную прерывистую боковую зону. Этот пегматит достигает 100 м в длину и состоит из двух основных ветвей от 10 до 18 м мощностью. Боковая зона, состоящая из мусковитового кварцево-плаггиоклазового пегматита, сильно развита и значительна по толщине в восточной ветви и гораздо тоньше и даже прерывиста в западной; она гораздо лучше развита на юге, то есть в висячем боку, чем на севере. Боковые зоны пегматита Уодхемс-Такер (фиг. 28) в Александрии, Нью-Гемпшир, и пегматита Феллоус, Уэнтворт, Нью-Гемпшир, развиты только в висячем боку.

Многие боковые зоны являются сплошными в нижней части и по бокам пегматитового тела, но отсутствуют в верхней части (на гребне). В поперечных разрезах, а также на картах и планах, когда пегматиты представляют погружающиеся тела, такие боковые зоны имеют U-образную или V-образную форму. Пегматит Уайт-Спар, в графстве Кастер, Южная Дакота (фиг. 29), и пегматит Стрикленд-Крамер в Портленде, Коннектикут (фиг. 30), являются примерами пегматитов с отсутствием боковой зоны в их верхних частях. Однако в некоторых пегматитах боковые зоны лучше всего развиты именно в верхней части. К таким пегматитам относятся пегматит Олд-Майк в графстве Кастер, Южная Дакота (фиг. 16), и многие пегматиты в округе Петака в Нью-Мексико. С другой стороны, в пегматите Смит в Александрии, Нью-Гемпшир, боковая зона достаточно хорошо развита в нижней части и богата стопками мусковита промышленного значения. При прослеживании пегматита видно, что чем выше от нижней килевой части, тем боковая зона становится все менее и менее заметной и настолько бедной, что разработка ее становится невыгодной.

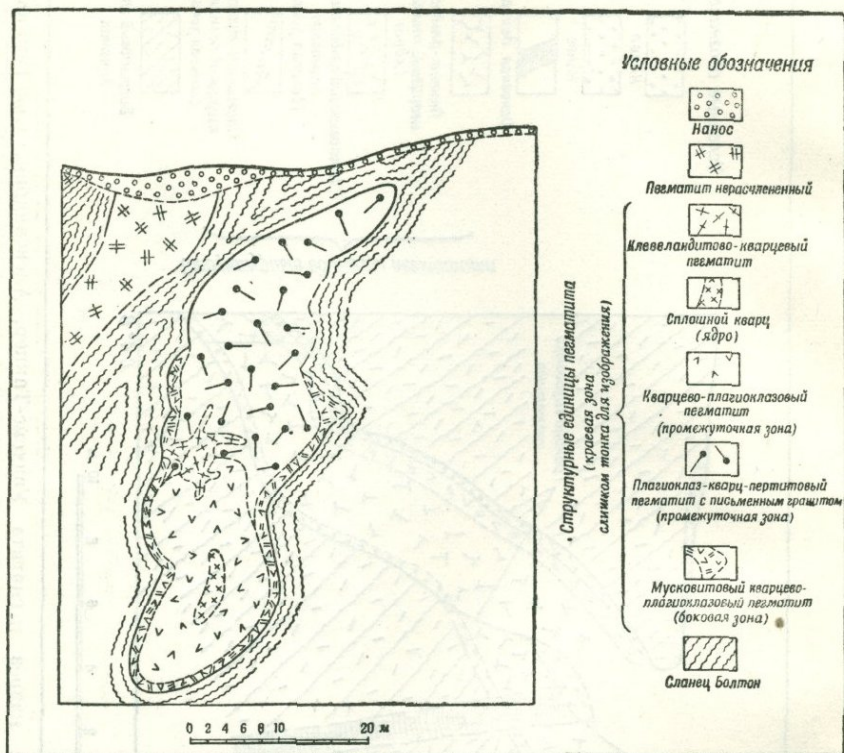
Во многих пегматитах боковая зона (вместе с тонкой краевой зоной) занимает всю мощность некоторых частей пегматитового тела. Пегматит Биг-Бесс в графстве Гастон, Северная Каролина (фиг. 31), во многих местах состоит целиком из грубозернистого мусковитового кварцево-плаггиоклазового пегматита, который в других случаях граничит с промежуточными зонами, образованными кварцево-плаггиоклазовым пегматитом и берилловым кварцево-пертитовым пегматитом или с ядрами из сплошного кварца. В некоторых районах, там, где мощность тела меньше удвоенной общей мощности боковой и краевой зон, даже в самых мощных частях пегматита присутствуют только боковая и краевая зоны. Хорошим



Фиг. 29. Геологические карты и разрез пегматита Уайт-Спар, графство Кастер, Южная Дакота.

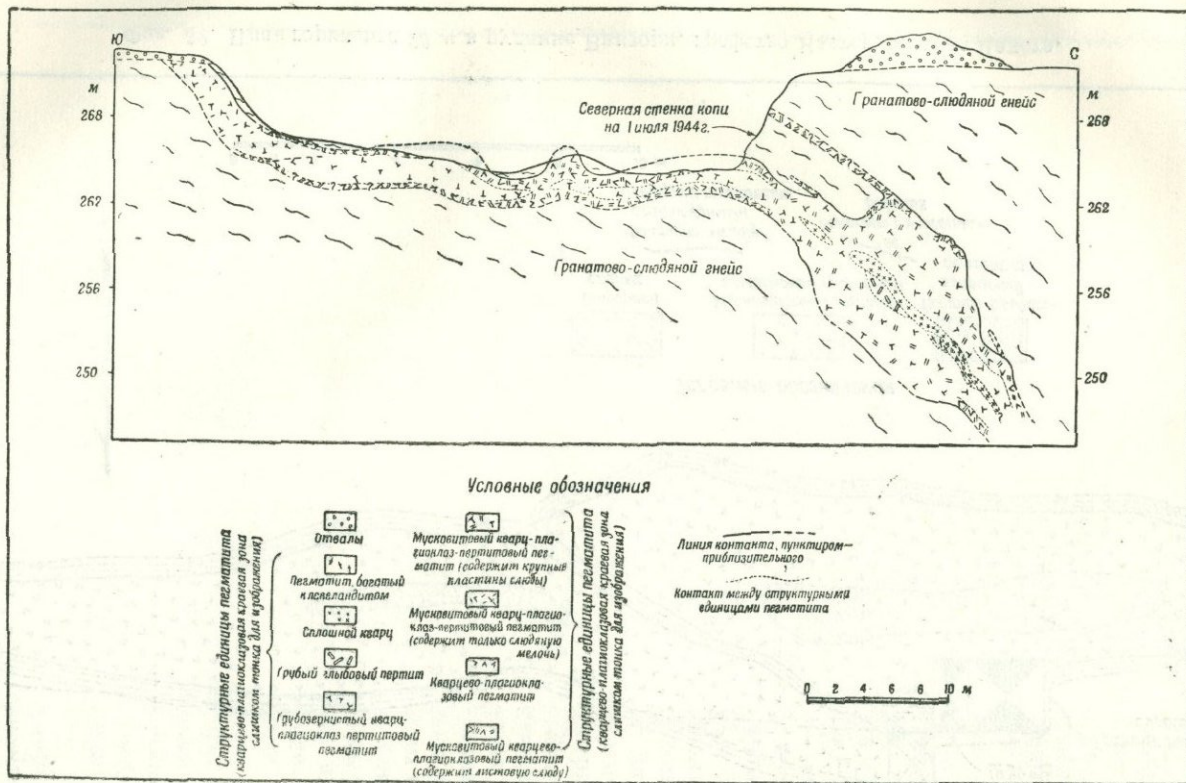
примером этого может служить пегматит Виктори в Южной Дакоте (фиг. 32).

Некоторые неправильные по форме пегматиты Блэк-Хиллса похожи на пегматит Николс (фиг. 26) в Нью-Гемпшире со сплошной боковой зоной вокруг всего тела, другие же кажутся сложными, будучи образованными путем сочленения двух или более



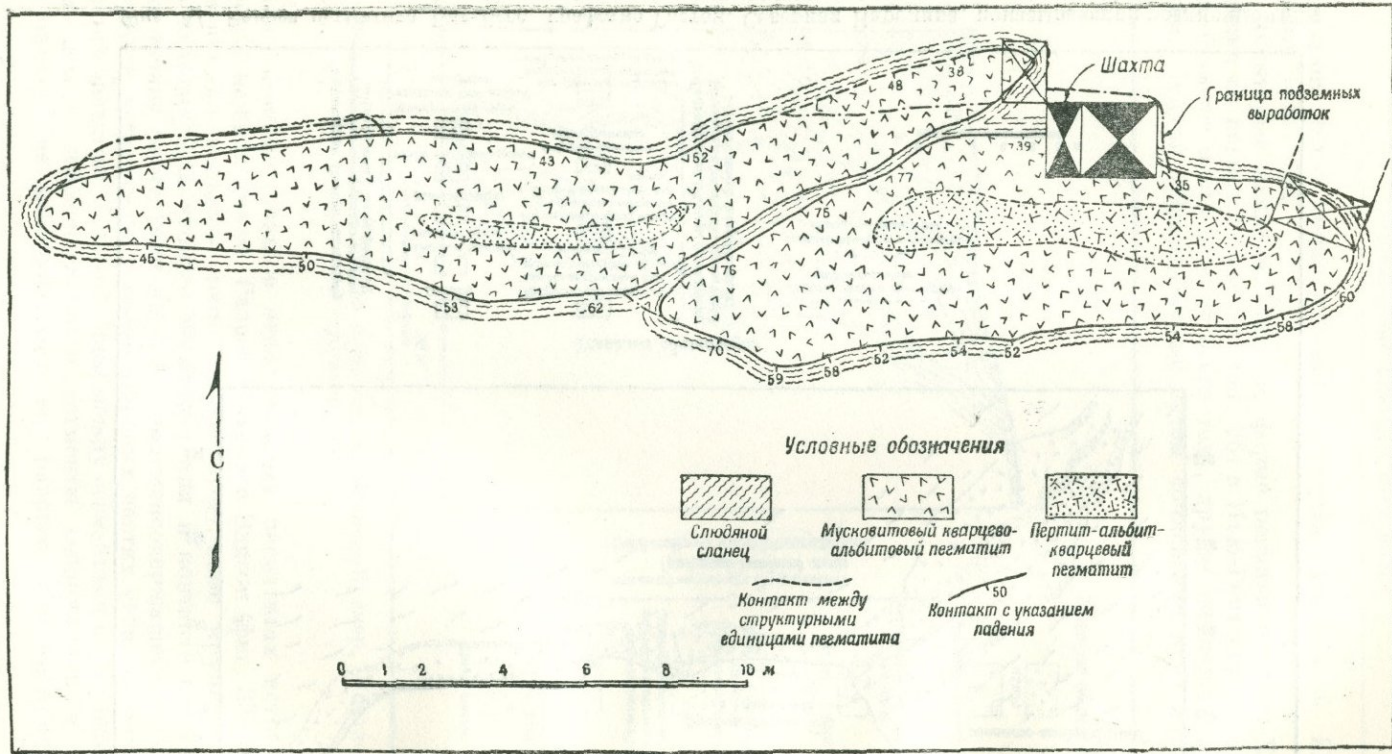
Фиг. 30. Сложный разрез пегматита Стрикленд-Крамер, Портленд, Коннектикут.

линз. Боковые зоны в этих сложных пегматитах встречаются вокруг каждой линзы. Разрез пегматита Эдисон (фиг. 33) обнаруживает по меньшей мере четыре отчетливые крупные линзы из кварцево-альбитового пегматита или в контакте со сланцем, или между сегментами ядра из сподуменсодержащего пегматита, который встречается в более широких частях тела. В некоторых местах пегматит боковой зоны между сегментами ядра раздроблен, так что в действительности сегменты соединяются в частях пегматита, не изображенных на разрезе. Подобное строение

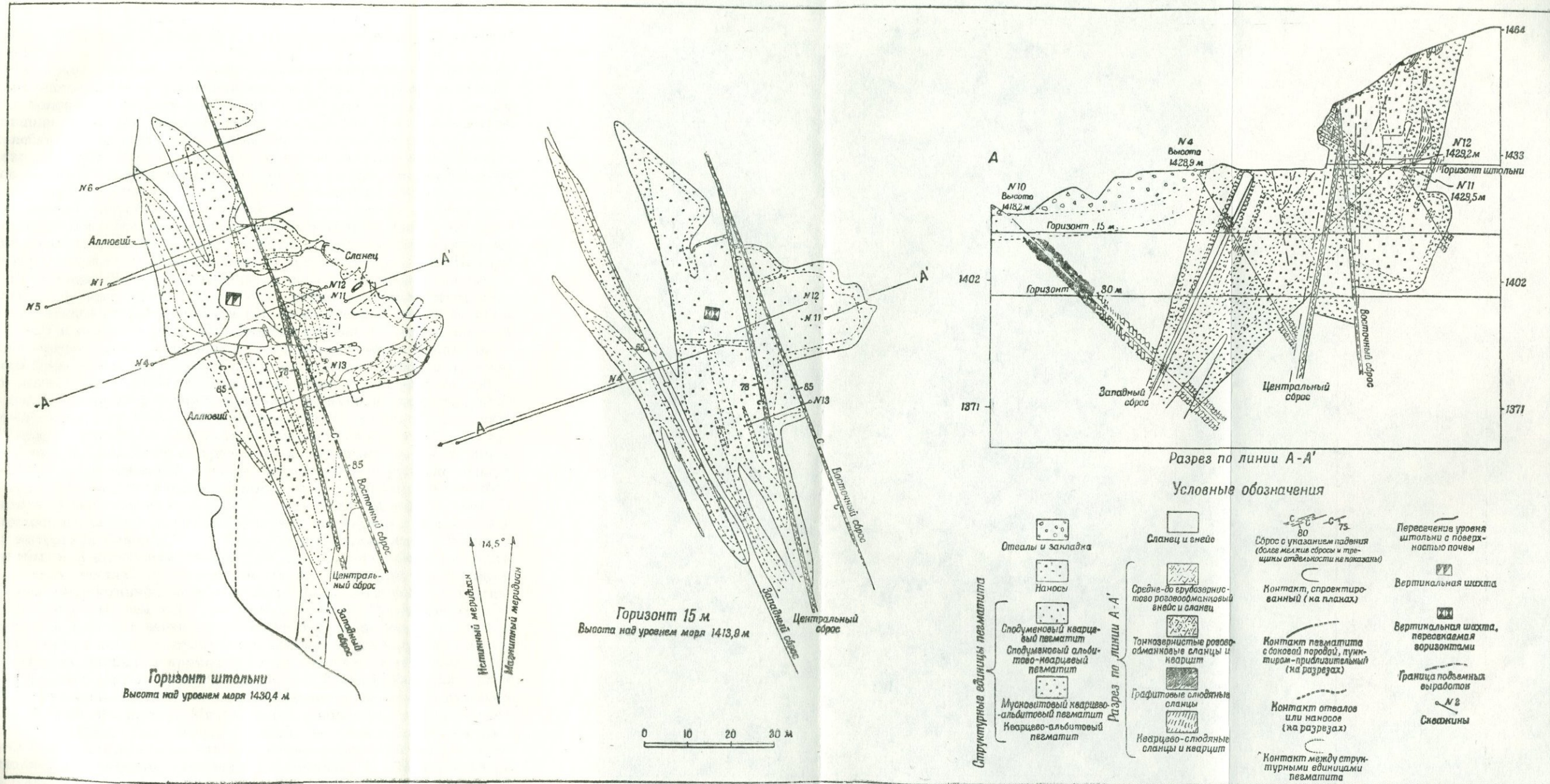


4*

Фиг. 31. Разрез пегматита Биг-Бесс, графство Гастон, Северная Каролина, показывающий различные типы зональности в разных частях пегматита. Геология частей пегматитового тела вниз по падению изображена по более поздним выработкам,



Фиг. 32. План горизонта 20 м в руднике Виктори, графство Кастер, Южная Дакота.



Фиг. 33. Геологические планы и разрез слюдяно-кварцевого рудника Эдисон, графство Пеннингтон, Южная Дакота.

имеют пегматиты Джайант-Волни и Раф-энд-Реди из округа Тинтон [112].

Боковые зоны имеют большое практическое значение как источники листовой слюды, слюдяной мелочи и берилла, однако во многих боковых зонах эти минералы отсутствуют, в других же их слишком мало для промышленной разработки. Часто вследствие колебаний мощностей или изменений в содержании слюды можно разрабатывать только отдельные участки слюдоносных боковых зон. Во многих пегматитах пригодной для разработки оказывается часть боковой зоны вдоль всячего бока, в других случаях с выгодой можно разрабатывать только килевую часть, гребень или лежащий бок. Эти заслуживающие разработки части, которые здесь называются слюдяными столбами, обычно залегают согласно со структурой самой боковой зоны. В пегматите Стрикленд-Кramer в Портленде, Коннектикут, боковая зона, содержащая листовую слюду, ограничивается с севера двумя третями пегматита, располагаясь вокруг килевой части по всяческому и лежащему боку в 7—25 м от гребня (фиг. 30). Главный слюдяной столб в боковой зоне представляет ненормально утолщенную часть вдоль всячего бока, протягивающуюся почти от верхнего ребра зоны вниз по падению на 20—30 м. Этот столб был прослежен на 100 м в направлении погружения в руднике Крамер и, вероятно, продолжается на юг по меньшей мере на 30 м в рудник Стрикленд. В руднике Николс в Джилсуме, Нью-Гемпшир (фиг. 26), слюдяные столбы ограничены гребнями и килевыми частями линз. Подобные же слюдяные столбы встречаются в руднике Краун в графстве Кастер, Южная Дакота, где удлиненные линзы пегматита резко очерчены и слюдоносная зона настолько мощна, что весь пегматит в пределах отдельной вытянутой линзы состоит из материала боковой зоны. В некоторых пегматитах слюдяные столбы в удлиненных линзах не богаче, чем боковые зоны в других местах, но вследствие такой структуры на единицу объема выработанной породы в них приходится больше слюдоносной породы, чем там, где стенки прямые. Слюдяные столбы гребня и килевой части пегматитового тела похожи на столбы в вытянутых линзах и отличаются только по размеру. Во многих пегматитах большого промышленного значения в юго-восточных штатах, особенно в округе Спрус-Пайн в Южной Каролине, наибольшая концентрация слюды встречается между вздутиями и изгибами контактов. Много таких скоплений слюды встречается в пегматитах Новой Англии, но большинство из них слишком незначительны, чтобы стоить селективной разработки. Однако в северном окончании пегматита Виктори-Джилсум в Джилсуме, Нью-Гемпшир, главный столб был найден вдоль некоторой части лежащего бока, где падение было обратным нормальному.

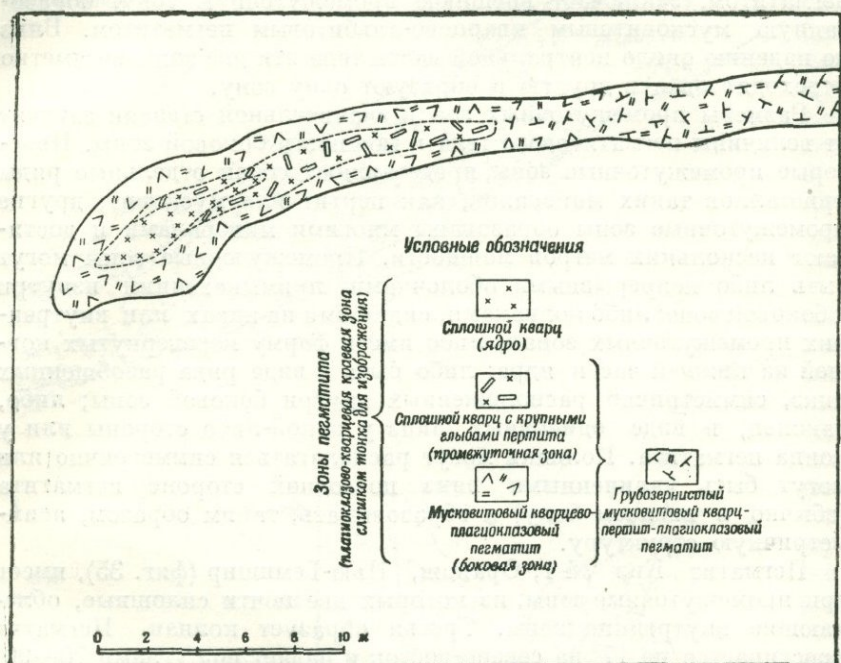
Боковые зоны, как правило, обладают более грубой структурой, чем краевые зоны, и более тонкой, чем промежуточные зоны, но некоторые минералы, входящие в состав боковых зон, такие, например, как мусковит, турмалин и берилл, могут быть значительно крупнее, чем окружающие их минералы, хотя они и редко превышают 30 см в наибольшем измерении. Минералы, обычно присутствующие в боковых зонах, включают плагиоклаз, пертит, кварц, мусковит и турмалин. Биотит, апатит и другие фосфаты, колумбит-танталит, гранат и берилл являются менее обычными.

Типичные боковые зоны образованы существенно плагиоклазом и кварцем; плагиоклазом, кварцем и мусковитом; плагиоклазом, пертитом и кварцем; пертитом и кварцем; и плагиоклазом, пертитом, кварцем и мусковитом. В каждом пегматитовом округе преобладает какой-нибудь один или более из этих типов. Так, доминирующими типами в округе Петака являются пертит и кварц; в юго-восточных штатах—плагиоклаз и кварц с мусковитом или без него, в Вайоминге, Айдахо, Монтане, Южной Дакоте и частично в Аризоне—плагиоклаз и кварц с мусковитом или без него; в Новой Англии—плагиоклаз, кварц и мусковит и плагиоклаз, пертит, кварц и мусковит; в Колорадо и в других частях Аризоны—пертит, кварц и плагиоклаз. Вообще, в пегматитах, содержащих в большом количестве стопки мусковита (листового), боковые зоны образованы плагиоклазом (от андезина до среднего альбита) и кварцем в ассоциации со слюдой; в пегматитах, содержащих литиевые минералы, боковые зоны образованы плагиоклазом (клевеландитом или сплошным натровым альбитом) и кварцем со стопками мусковита (дающего мелочь) или без них; в пегматитах же, содержащих промышленный полевой шпат, боковые зоны образованы плагиоклазом и кварцем, пертитом и кварцем или пертитом, кварцем и плагиоклазом.

Промежуточные зоны

К промежуточным зонам пегматита относятся все зоны между ядром и боковой зоной. Промежуточные зоны менее обычны, чем другие типы зон, так как в большинстве пегматитов имеются только краевая зона и ядро или краевая зона, боковая зона и ядро. Во многих пегматитах совсем нет промежуточных зон, в некоторых имеется лишь одна такая зона, тогда как в других их насчитывается до пяти или даже больше. Очень часто две и более промежуточных зон, совершенно отчетливо выделяющиеся в одной части пегматитового тела, незаметно переходят одна в другую или в соседние зоны в других частях его. В пегматите Стрикленд-Крамер (фиг. 30), в его северных двух третях, промежуточные зоны, образованные пертитом, письменным гранитом, кварцем и плагио-

клязом и плагиоклазом и кварцем, хорошо заметны, но к югу, в руднике Стрикленд, они становятся все менее и менее отчетливыми и наконец сливаются в одну зону, являющуюся по составу средней между этими двумя зонами. Как указывал Дж. М. Паркер 3-й, этот постепенный переход или наложение зон хорошо видно в пегматите Литтл-Хок-Ридж в графстве Митчелл, Северная



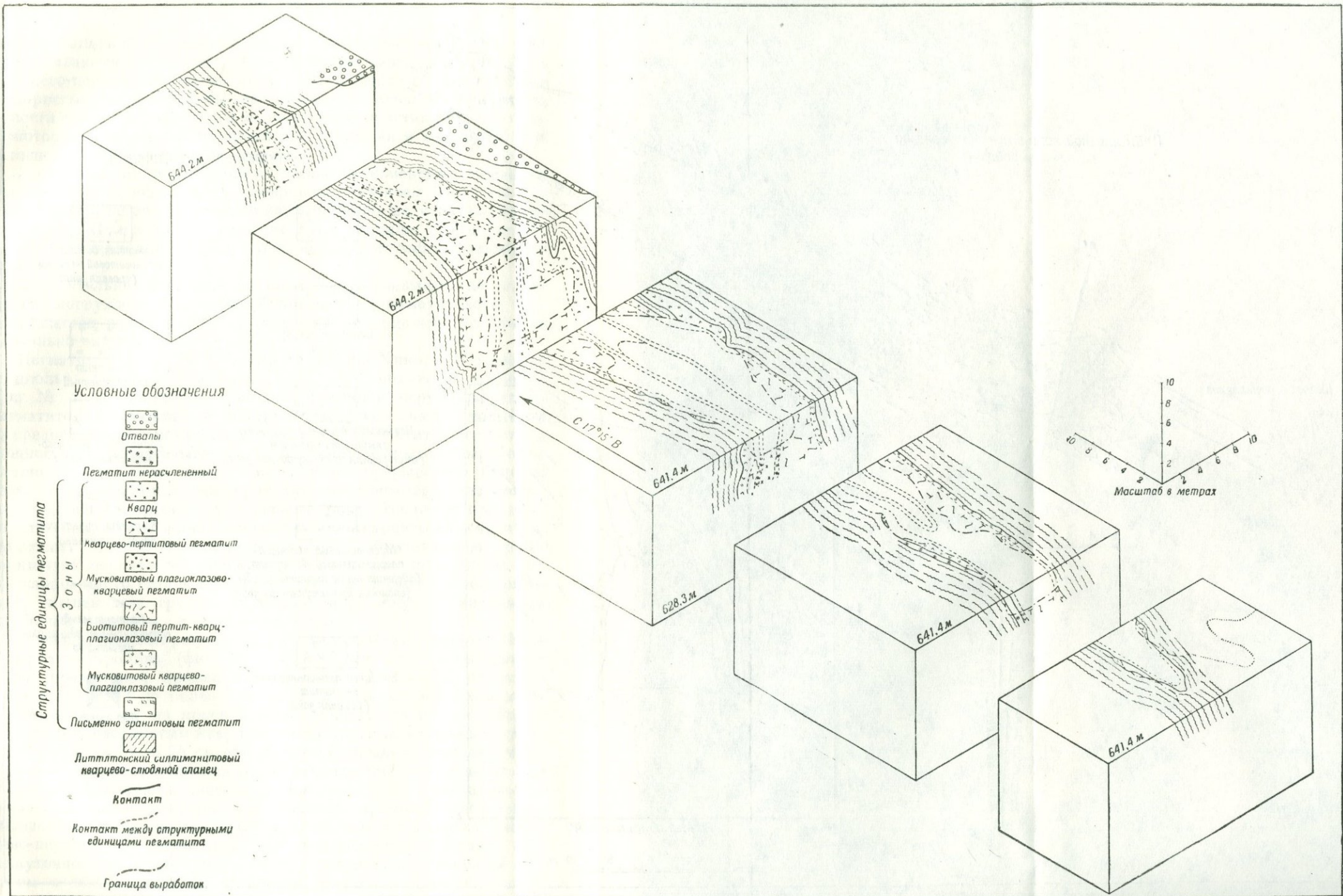
Фиг. 34. Идеализированный план, показывающий типичное наложение пегматитовых зон в руднике Литтл-Хок-Ридж, графство Митчелл, Северная Каролина.

Каролина (фиг. 34), где боковая зона, образованная мусковитовым кварцево-плагиоклазовым пегматитом, и неправильная промежуточная зона, состоящая из грубого пертита с подчиненным количеством кварца, незаметно переходят к востоку в мусковитовый кварц-пертит-плагиоклазовый пегматит, соответствующий, повидимому, валовому составу боковой и промежуточной зон на западе. Согласно В. Р. Гриффитсу (устное сообщение, 1945 г.), подобные же соотношения часто встречаются во многих пегматитах в области юго-восточного Пидмонта, причем Гриффитс считает, что границы зон обычно резки там, где они примыкают к бокам ядер или сегментов ядер, но вне границ самых внутренних структурных единиц кварцево-плагиоклазовый пегматит боковых зон

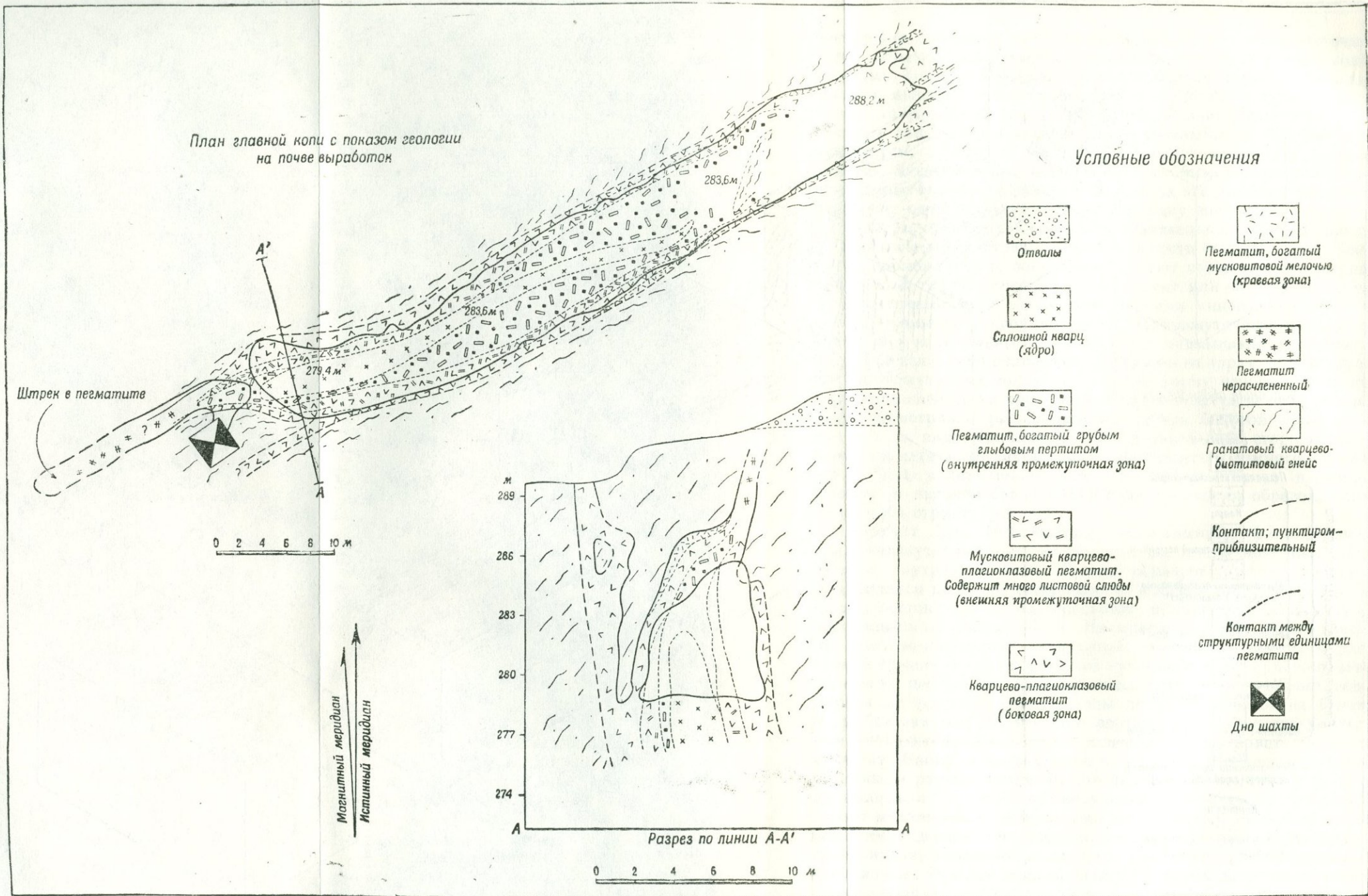
постепенно переходит в богатые микроклином промежуточные зоны, образуя гранитоидный кварц-микроклин-плаггиоклазовый пегматит. Наложение промежуточных зон на ядра представляет обычное явление в пегматитах Новой Англии. В верхней части пегматита Олд-Майк в графстве Кастер, Южная Дакота (фиг. 16), боковая зона, образованная кварцево-альбитово-мусковитовым пегматитом, заключает внешнюю промежуточную зону, образованную мусковитовым кварцево-альбитовым пегматитом. Вниз по падению около центральной части тела эти две зоны незаметно переходят одна в другую и образуют одну зону.

Размеры промежуточных зон в значительной степени зависят от величины пегматитового тела и мощности боковой зоны. Некоторые промежуточные зоны представляют собой отдельные ряды кристаллов таких минералов, как пертит или мусковит; другие промежуточные зоны образованы многими минералами и достигают нескольких метров мощности. Промежуточные зоны могут быть либо непрерывными оболочками, примыкающими изнутри к боковой зоне; либо колпаками, сидящими на ядрах или внутренних промежуточных зонах; либо иметь форму перевернутых ковшей на нижней части ядра; либо быть в виде ряда разобщенных линз, симметрично расположенных внутри боковой зоны; либо, наконец, в виде одиночных линз у какой-либо стороны или у конца пегматита. Колпаки могут располагаться симметрично или могут быть удлиненными вниз по одной стороне пегматита (обычно в висячем боку) и образовывать, таким образом, асимметричную структуру.

Пегматит Киз № 1, Орандж, Нью-Гемпшир (фиг. 35), имеет три промежуточные зоны, из которых две почти сплошные, облегающие внутренние зоны. Третья образует колпак. Пегматит простирается на 17° на северо-восток и падает под углами $70-90^\circ$ на юго-восток; его длина составляет примерно 90 м, а наибольшая мощность—около 15 м. За краевой зоной, образованной мусковитово-кварцевым пегматитом, и боковой зоной, образованной средне- и грубозернистым мусковитовым кварцево-плаггиоклазовым пегматитом, расположены три промежуточные зоны. Первая из них, от боковой зоны до ядра, образована средне- и грубозернистым биотитовым пертитово-кварцево-плаггиоклазовым пегматитом, содержащим акцессорные мусковит, турмалин и апатит. Биотит в прорастании с турмалином образует ориентированные в разных направлениях полоски длиной от 2,5 до 50 см и шириной от 1,5 до 10 см. Следующая промежуточная зона образована мусковитовым плаггиоклазово-кварцевым пегматитом с небольшим содержанием пертита и с акцессорными турмалином, графтоном, трифилином, пирротинном, пиритом, вивианитом (?) и бериллом. Эти две зоны повсюду образуют непрерывную оболочку вокруг более внутренних структурных единиц, за исклю-



Фиг. 35. Разорванная изометрическая блок-диаграмма пегматита Киз № 1, графство Орандж, Нью-Гемпшир.



Фиг. 36. Геологический план и разрез пегматита Фостер № 1, графство Линкольн, Северная Каролина.

чением западной стороны северной части пегматита, где они выклиниваются в третью промежуточную зону, образованную кварцево-пертитовым пегматитом. Часть пертита превратилась в пористые псевдоморфозы из альбита и зеленого мусковита, полости в которых выстланы мельчайшими кристаллами апатита. Некоторые псевдоморфозы пронизаны жилками и в большей или меньшей степени замещены кварцем.

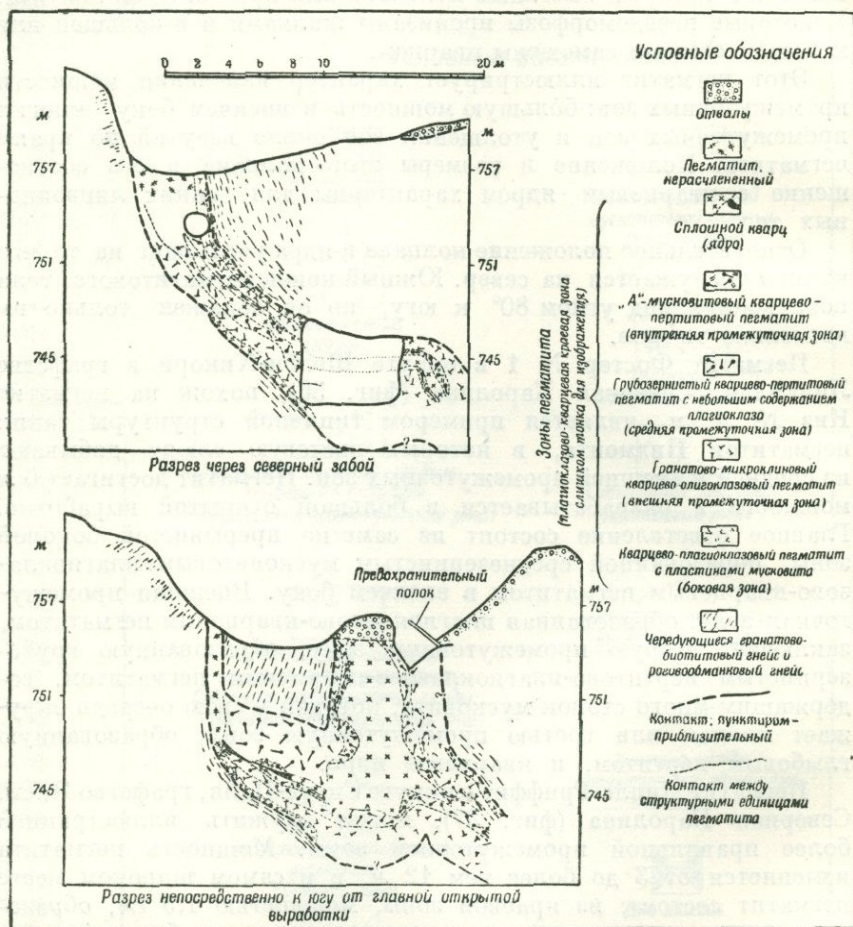
Этот пегматит иллюстрирует характер изменения мощности промежуточных зон: бо́льшую мощность в всячем боку многих промежуточных зон и утолщения зон около вздутий по краям пегматита. Положение и размеры этого колпака и его соотношение с кварцевым ядром характерны для тонких линзовидных тел.

Относительное положение колпака и ядра указывает на то, что колпак погружается на север. Южный конец пегматитового тела погружается под углом 80° к югу, но он обнажен только на несколько метров.

Пегматит Фостер № 1 в округе Шелби-Хикори в графстве Линкольн, Северная Каролина (фиг. 36), похож на пегматит Киз № 1 и является примером типичной структуры таких пегматитов Пидмонта, в которых листовую слюду добывают из средней и внешней промежуточных зон. Пегматит достигает 6 м мощности и разрабатывается в большой открытой выработке. Главное ответвление состоит из заметно прерывистой боковой зоны, образованной среднезернистым мусковитовым плагиоклазово-кварцевым пегматитом в всячем боку. Внешняя промежуточная зона, образованная плагиоклазово-кварцевым пегматитом, заключает вторую промежуточную зону, образованную грубозернистым пертитово-плагиоклазово-кварцевым пегматитом, содержащим много стопок мусковита, которая в свою очередь окружает колпак или третью промежуточную зону, образованную глыбовым пертитом, и кварцевое ядро.

Пегматит Миллс-Гриффит в округе Спрус-Пайн, графство Янси, Северная Каролина (фиг. 37), может служить иллюстрацией более правильной промежуточной зоны. Мощность пегматита изменяется от 3 до более чем 12 м, и в самом широком месте пегматит состоит: из краевой зоны, мощностью 1,5 см, образованной тонкозернистым кварцем и олигоклазом; из боковой зоны, мощностью от 15 до 75 см, образованной среднезернистым мусковитовым кварцево-олигоклазовым пегматитом (эта зона вообще имеет наибольшую мощность у всячего бока пегматитового тела); из почти непрерывной внешней промежуточной зоны, образованной среднезернистым гранатовым олигоклазово-кварцево-пертитовым пегматитом; из неправильной средней промежуточной зоны, образованной грубозернистым глыбовым пертитом с подчиненным количеством кварца и олигоклаза; из

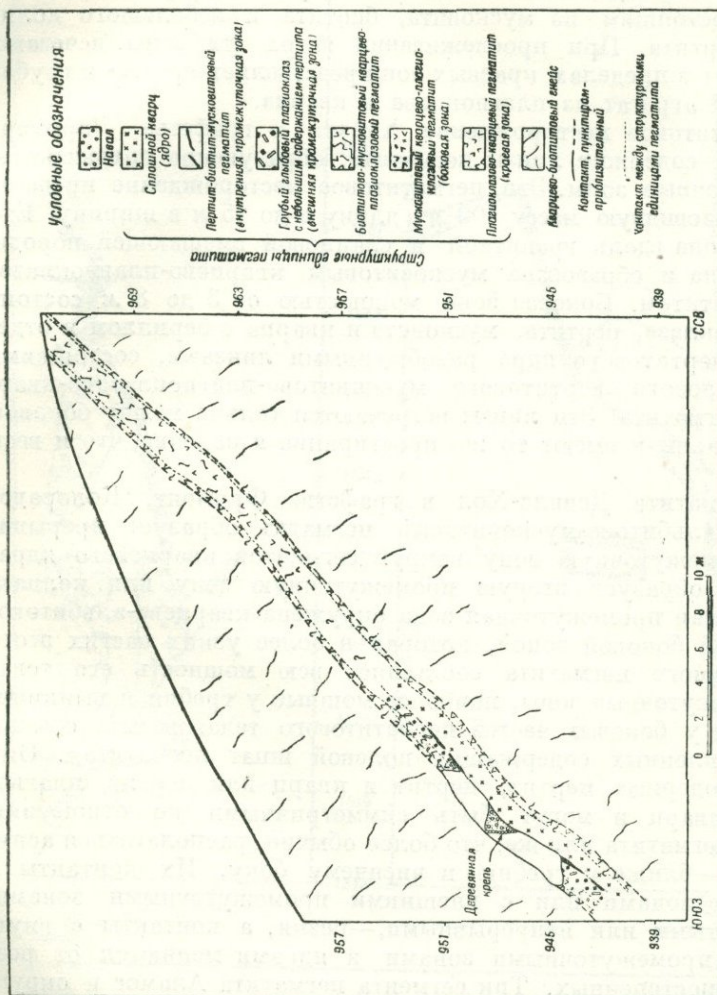
тонкой внутренней промежуточной зоны, образованной грубозернистым кварцево-пертитовым пегматитом с крупными столбками зеленого «А»-мусковита, и из ядра, состоящего из сплошного кварца.



Фиг. 37. Разрезы пегматита Миллс-Гриффит, графство Янси, Северная Каролина. Раздув дайки с тремя промежуточными зонами.

Промежуточные зоны, развитые только на одной стороне пегматитового тела, или серии разобщенных линз довольно часто встречаются в различных пегматитовых округах. Такие ассиметричные зоны или линзы залегают параллельно к ближайшему контакту с боковой породой и погружаются параллельно бли-

жайшей складке, килевой части или гребню пегматита. Пегматит Бисли № 2 (фиг. 38) в графстве Мейкон, Северная Каролина, дает хорошие примеры асимметричных промежуточных зон висячем боку пегматита. Мощность пегматита колеблется всего



Фиг. 38. Асимметричная зональная структура в пегматите Бисли № 2, графство Мейкон, Северная Каролина, как ее видно на разрезе около главной штольни. Мощность краевой и боковой зон в нижней части разреза увеличена за счет внешней промежуточной зоны.

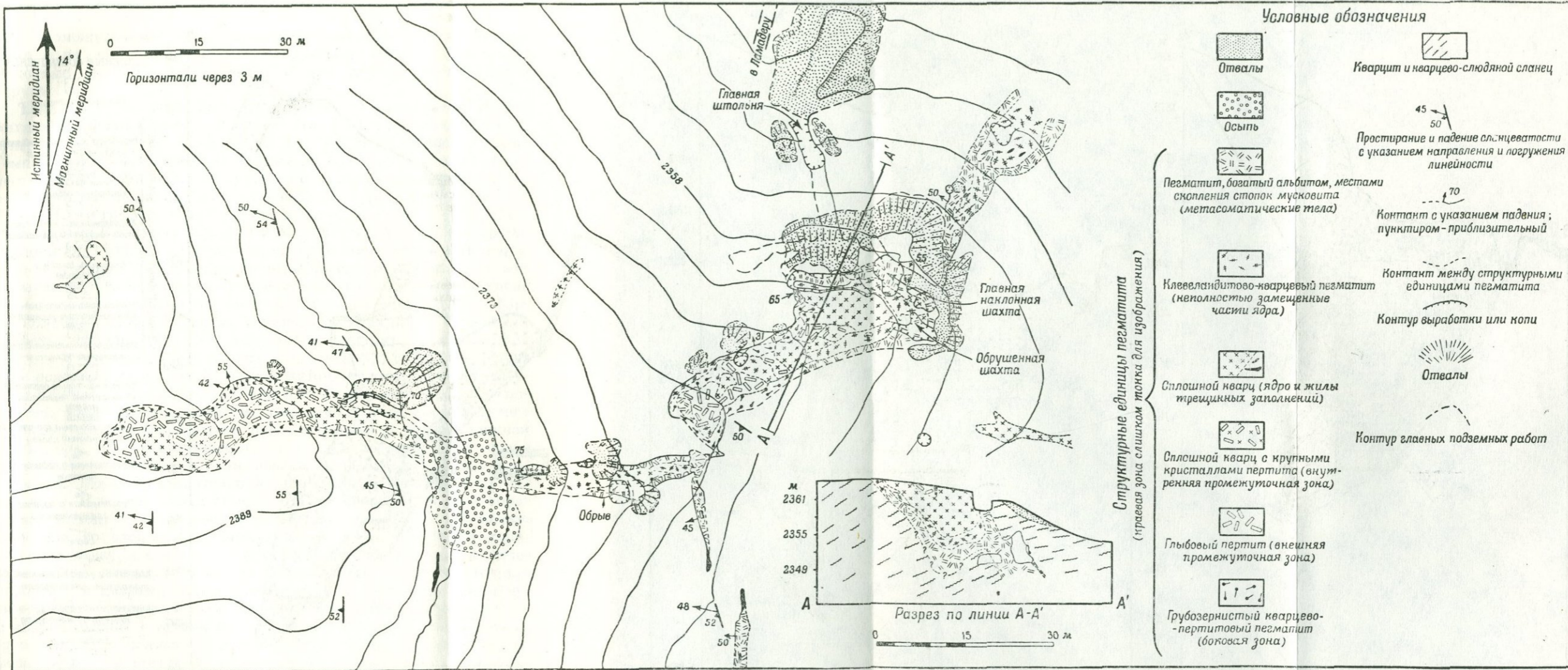
от 0,6 до, максимум, 3 м, но он составляет большое количество листовой слюды. В более глубоких выработках он содержит краевую зону от 8 до 32 см мощности, образованную тонко- и среднезернистым олигоклазово-кварцевым пегматитом и являющуюся почти непрерывной вдоль висячего бока. Боковая

зона, состоящая из мусковитового кварцево-плагиоклазового пегматита, имеется только в висячем боку, так же как и внешняя промежуточная зона, образованная глыбовым плагиоклазом с подчиненным количеством пертита. Эта зона достигает мощности от 0,6 до 1 м и отделена от сплошного кварцевого ядра слоем в 5—15 см, состоящим из мусковита, биотита и небольшого количества пертита. При прослеживании вверх эти зоны исчезают и пегматит в пределах краевых зон представляет средне- и грубозернистый агрегат из плагиоклаза и кварца.

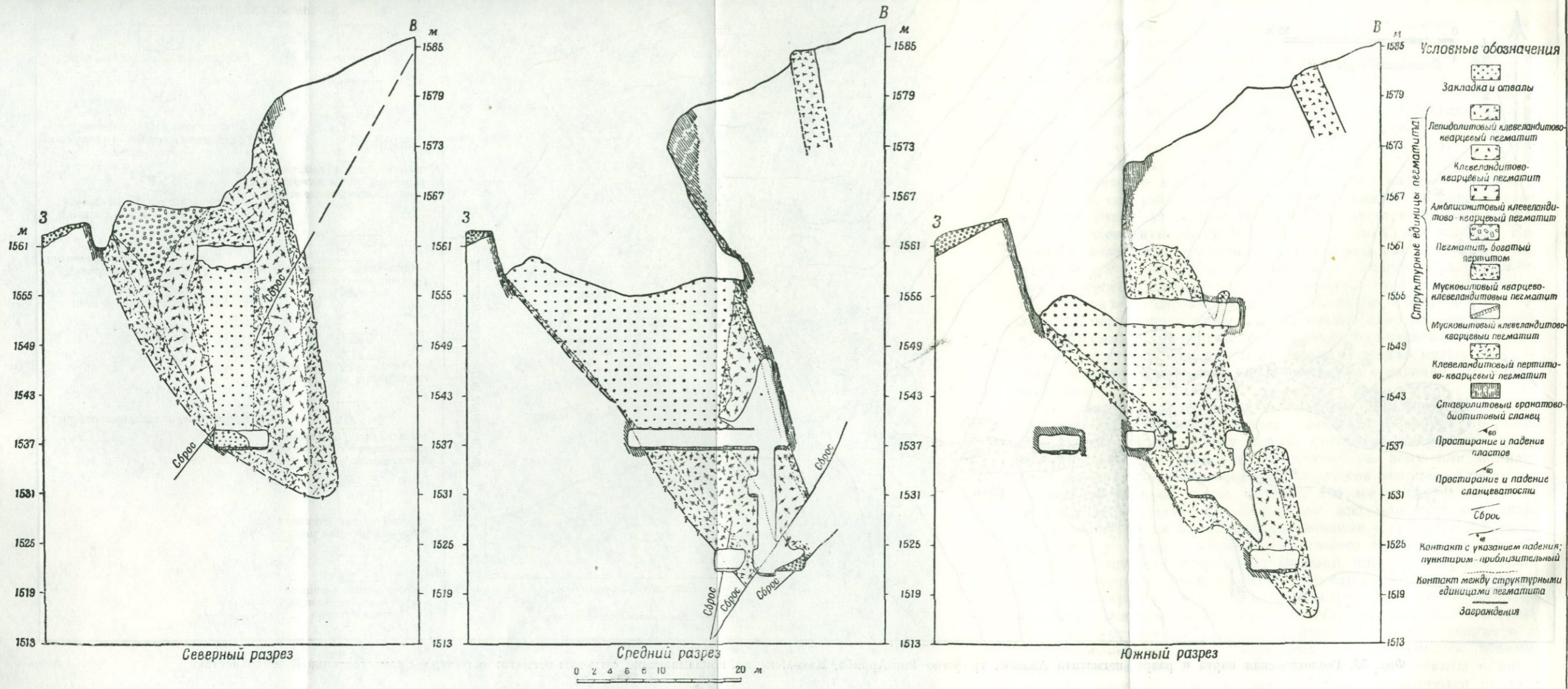
Пегматитовое месторождение Хайэтт в графстве Лаример, Колорадо, содержит линзы пегматита, образующие прерывистые промежуточные зоны. Это пегматитовое месторождение представляет линзовидную массу 100 м в длину и до 15 м в ширину. Его краевая зона вдоль гранитной и сланцевой вмещающей породы очень тонка и образована мусковитовым кварцево-плагиоклазовым пегматитом. Боковая зона мощностью от 3 до 8 м состоит из плагиоклаза, пертита, мусковита и кварца с бериллом и отделена от пертитового ядра разобщенными линзами, состоящими из бериллового пертитового мусковитово-плагиоклазово-кварцевого пегматита. Эти линзы встречаются только между боковой зоной и ядром и имеют то же простирание и падение, что и весь пегматит.

В пегматите Девиис-Хол в графстве Фримонт, Колорадо, кварцево-альбитово-мусковитовый пегматит образует прерывистую промежуточную зону вокруг сегментов кварцевого ядра, а пертит образует вторую промежуточную зону или колпак. Прерывистая промежуточная зона окружена кварцево-альбитово-пертитовой боковой зоной, которая в более узких частях этого неправильного пегматита составляет всю мощность его тела.

Промежуточные зоны, наиболее мощные у гребня и выклинивающиеся у боковых частей пегматитового тела, весьма обычны в промышленных содержащих полевой шпат пегматитах. Они обычно содержат пертит, пертит и кварц или пертит, плагиоклаз и кварц и могут быть симметричными по отношению к бокам пегматита или же, что более обычно, располагаться асимметрично—ближе к гребню и висячему боку. Их контакты с боковыми зонами или с внешними промежуточными зонами, прерывистыми или непрерывными,—резки, а контакты с внутренними промежуточными зонами и ядрами меняются от резких до постепенных. Три сегмента пегматита Аламос в округе Петака, графство Рио-Арриба, Нью-Мексико (фиг. 39), содержат около их гребней сильно сдавленные колпаки из грубозернистого глыбового пертита. Краевая и боковая зоны образованы пертитом и кварцем, а внутренние промежуточные зоны—сплошным кварцем с разбросанными гигантскими кристаллами пертита. Сегменты ядра представлены сплошным кварцем. Внеш-



Фиг. 39. Геологическая карта и разрез пегматита Аламос, графство Рио-Арриба, Нью-Мексико, показывающие сегменты пегматитового тела с самостоятельной зональностью.

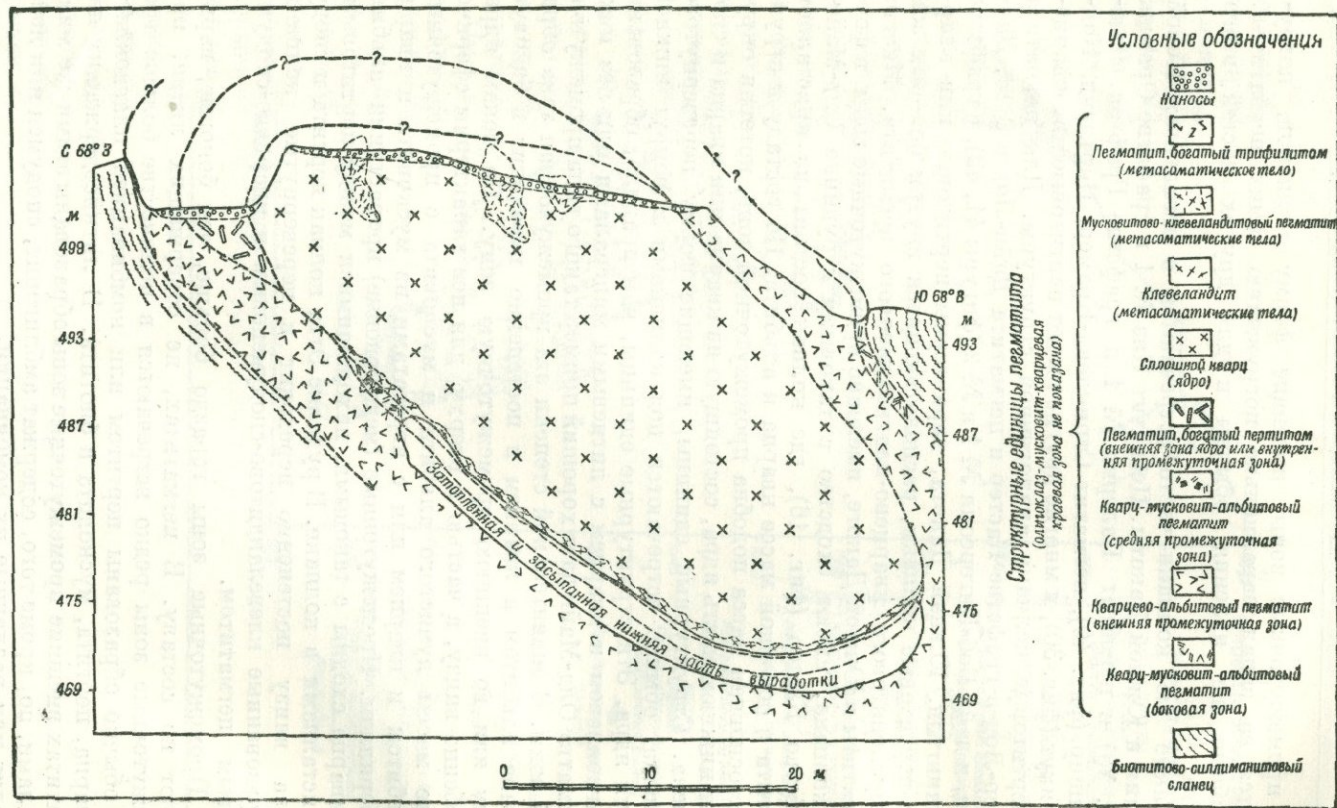


Фиг. 41. Разрезы главной части пегматита Боб-Ингерсолл № 1, графство Пеннингтон, Южная Дакота.

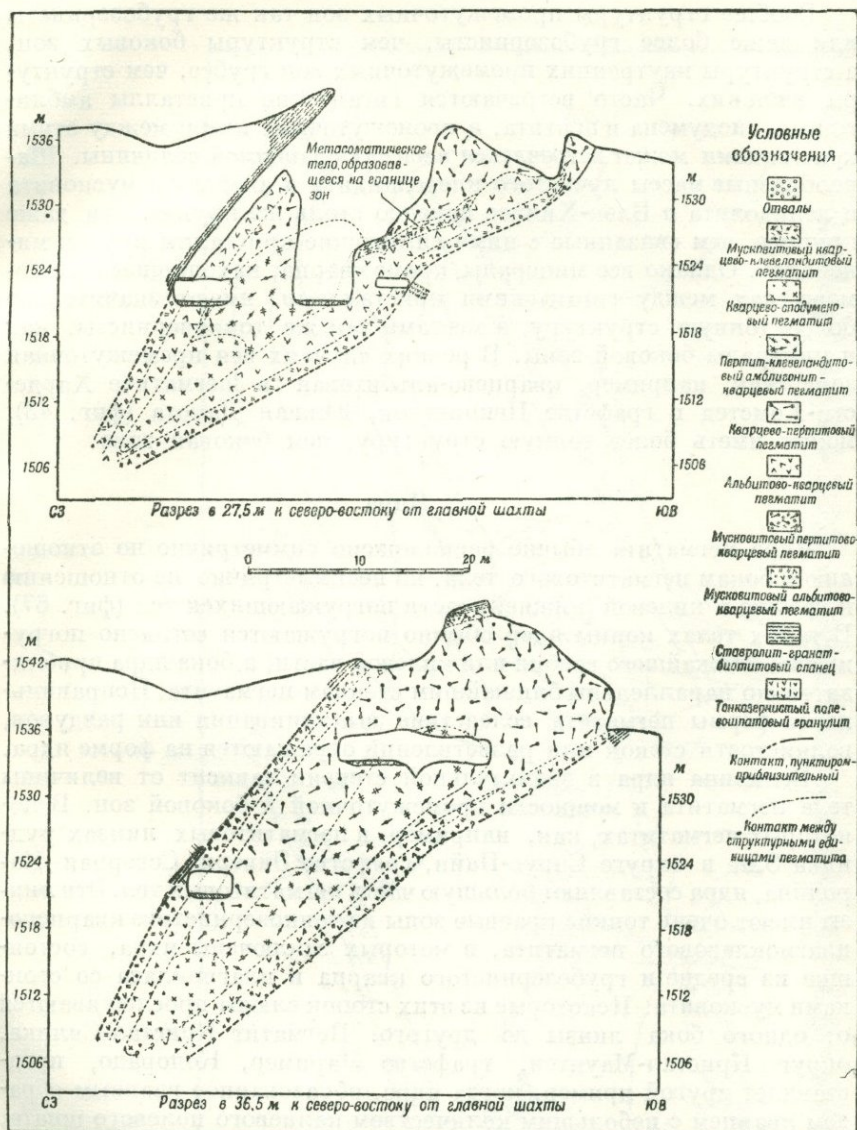
ние промежуточные зоны, имеющие форму колпаков, погружаются на запад параллельно погружению самих пегматитов. Подобные же явления обычны и для других частей этого округа.

Такие же колпаки часто встречаются в пегматитах Новой Англии и Южной Дакоты. Пегматит Киз № 1 в графстве Орандж (фиг. 35) и пегматит Палермо № 1 в графстве Графтон, Нью-Гемпшир (фиг. 40), пегматит Стрикленд-Крамер, Портленд, Коннектикут (фиг. 30), и многие другие имеют пертитовые или кварцево-пертитовые колпаки аналогичной структуры. Для пегматита Бичер-Лод в графстве Кастер и пегматита Дайк-Лод в Этта, Дан-Патч, и дайк Боб-Ингерсолл № 1 и № 2 (фигуры 41, 42), в графстве Пеннингтон, Южная Дакота, характерны пертитовые или кварцево-пертитовые колпаки, располагающиеся внутри боковых зон из мусковитового кварцево-плагиоклазового пегматита. Многие пегматиты в Южной Дакоте, имеющие промежуточные зоны в форме колпака, имеют сходство с таковыми в руднике Олд-Майк, графство Кастер (фиг. 16), где колпак состоит из кристаллов пертита в основной массе кварца и альбита. По составу и структуре основная масса подобна промежуточной зоне, которая окружает нижнюю часть ядра, состоящую из кварца или кварца и сподумена. Структурные единицы, имеющие форму перевернутого колпака, обычно встречаются под колпаками и вокруг нижней части ядра. Эти структурные единицы, как правило, образованы плагиоклазом и кварцем с литиевыми минералами или без них. Пегматит Олд-Майк дает хороший пример такого типа промежуточной зоны. В значительной степени эта промежуточная зона образована альбитом и кварцем и постепенно переходит в боковую зону или во внешнюю промежуточную зону. По бокам ядра, особенно внизу, а частью и вверху, для нее характерны сферические массы лучистого альбита и мусковита с промежуточным альбитом и кварцем или с агрегатами из мусковита и кварца с бериллом. Промежуточные (межзерновые) прорастания альбита и кварца сходны с таковыми, находящимися между пертитовыми кристаллами в колпаке. В руднике Этта колпак пертита и сподумена внизу постепенно переходит в перевернутые колпаки, образованные клевеландитово-сподуменовым и кварцево-сподуменовым пегматитом.

Промежуточные зоны гораздо больше, чем боковые, варьируют по составу. В пегматитах, не содержащих лития, промежуточные зоны редко встречаются в количестве больше трех и обычно образованы пертитом или комбинацией плагиоклаза, кварца, пертита, мусковита и биотита. В литийсодержащих пегматитах внешние промежуточные зоны образованы этими же минералами, но, кроме того, содержат амблигонит, сподумен или лепидолит или различные их комбинации.



Фиг. 10. Обобщенный структурный разрез пегматита Палермо № 1, Гротон, Нью-Гемпшир.



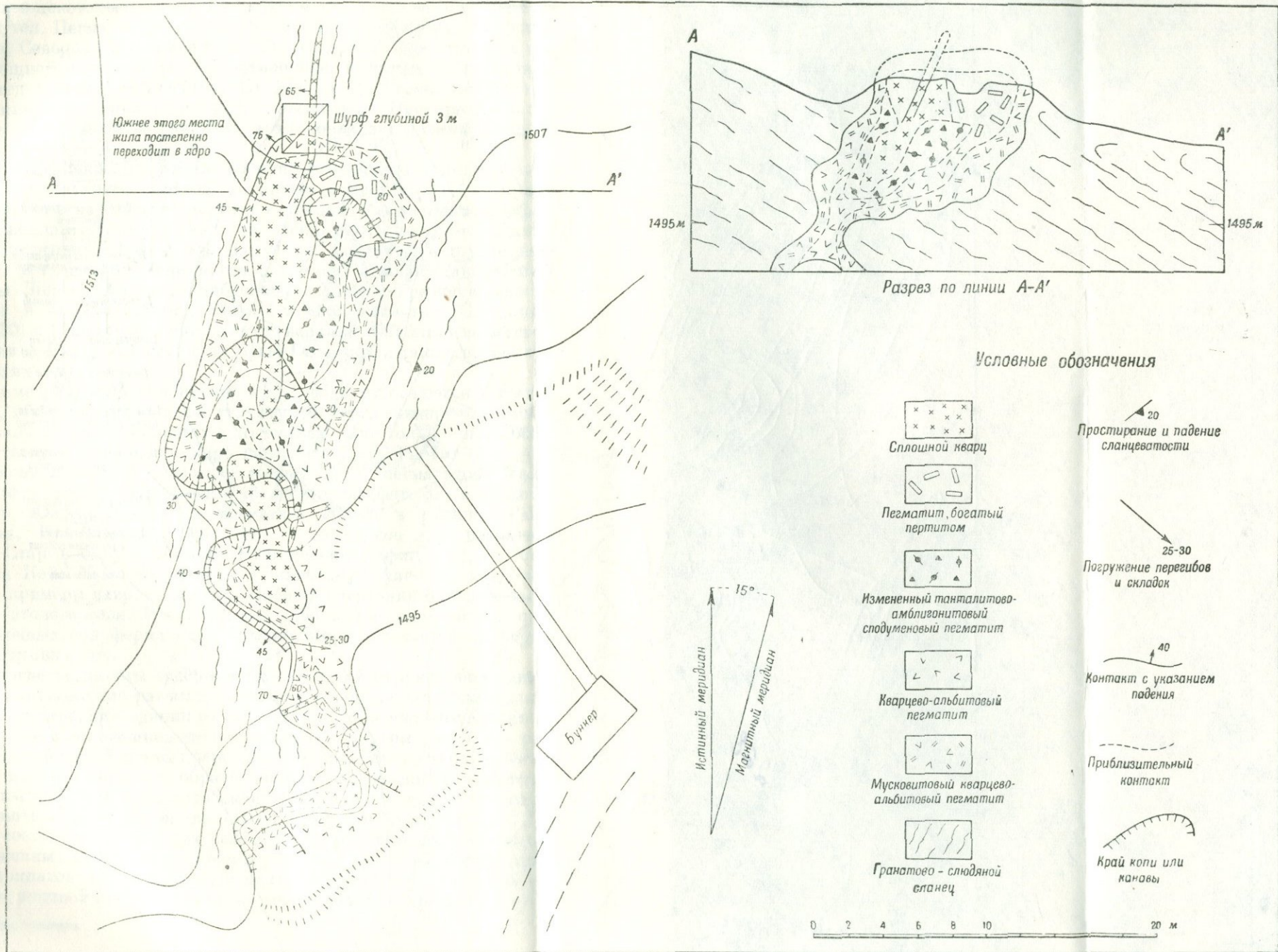
Фиг. 42. Разрезы пегматита Боб-Ингерсолл № 2, графство Пеннингтон, Южная Дакота.

Вообще структуры промежуточных зон так же грубозернисты или даже более грубозернисты, чем структуры боковых зон, а структуры внутренних промежуточных зон грубее, чем структуры внешних. Часто встречаются гигантские кристаллы амблигонита, сподумена и пертита, а промежуточный кварц между этими кристаллами может встречаться в массах сравнимой величины. Шарообразные массы лучистого клевеландита и агрегатов мусковита и лепидолита в Блэк-Хиллсе нередко столь же крупны или даже крупнее, чем связанные с ними гигантские кристаллы других минералов. Однако все минералы, кроме кварца, находящиеся в промежуточных между гигантскими кристаллами, имеют значительно более тонкую структуру, а местами так же тонкозернисты, как и минералы боковой зоны. В редких случаях вся промежуточная зона, как, например, кварцево-альбитовая в пегматите Хардести-Хомстед в графстве Пеннингтон, Южная Дакота (фиг. 43), может иметь более тонкую структуру, чем боковая зона.

Ядра

Ядро пегматита обычно расположено симметрично по отношению к бокам пегматитового тела, но несимметрично по отношению к гребню и килевой (нижней) части погружающихся тел (фиг. 67). В таких телах концы ядер обычно погружаются согласно погружению ближайшего гребня или килевой части, а бока ядра приблизительно параллельны ближайшим стенкам пегматита. Неправильности формы пегматита вследствие выклинивания или раздувов, волнистости стенок или разветвлений отражаются на форме ядра.

Величина ядра в значительной степени зависит от величины тела пегматита и мощности промежуточной и боковой зон. В некоторых пегматитах, как, например, в пегматитовых линзах рудника Элк в округе Спрус-Пайн, графство Эйвери, Северная Каролина, ядра составляют большую часть пегматитовых тел. Эти линзы имеют очень тонкие краевые зоны из тонкозернистого кварцево-плагноклазового пегматита, в которых заключены ядра, состоящие из средне и грубозернистого кварца и плагноклаза со стопками мусковита. Некоторые из этих стопок слюды прослеживаются от одного бока линзы до другого. Пегматит Кристал-Силика, округ Кристал-Маунтен, графство Лаример, Колорадо, представляет другой пример, когда ядро, образованное главным образом кварцем с небольшим количеством калиевого полевого шпата, составляет основную массу пегматита. В Новой Англии многие пегматиты состоят из ядер, образованных кварцем, плагноклазом, пертитом и мусковитом и облученных тонкими краевыми зонами. В пегматите Эдисон в графстве Пеннингтон, Южная Дакота (фиг. 33), сподуменсодержащее ядро составляет основную массу пегматита.



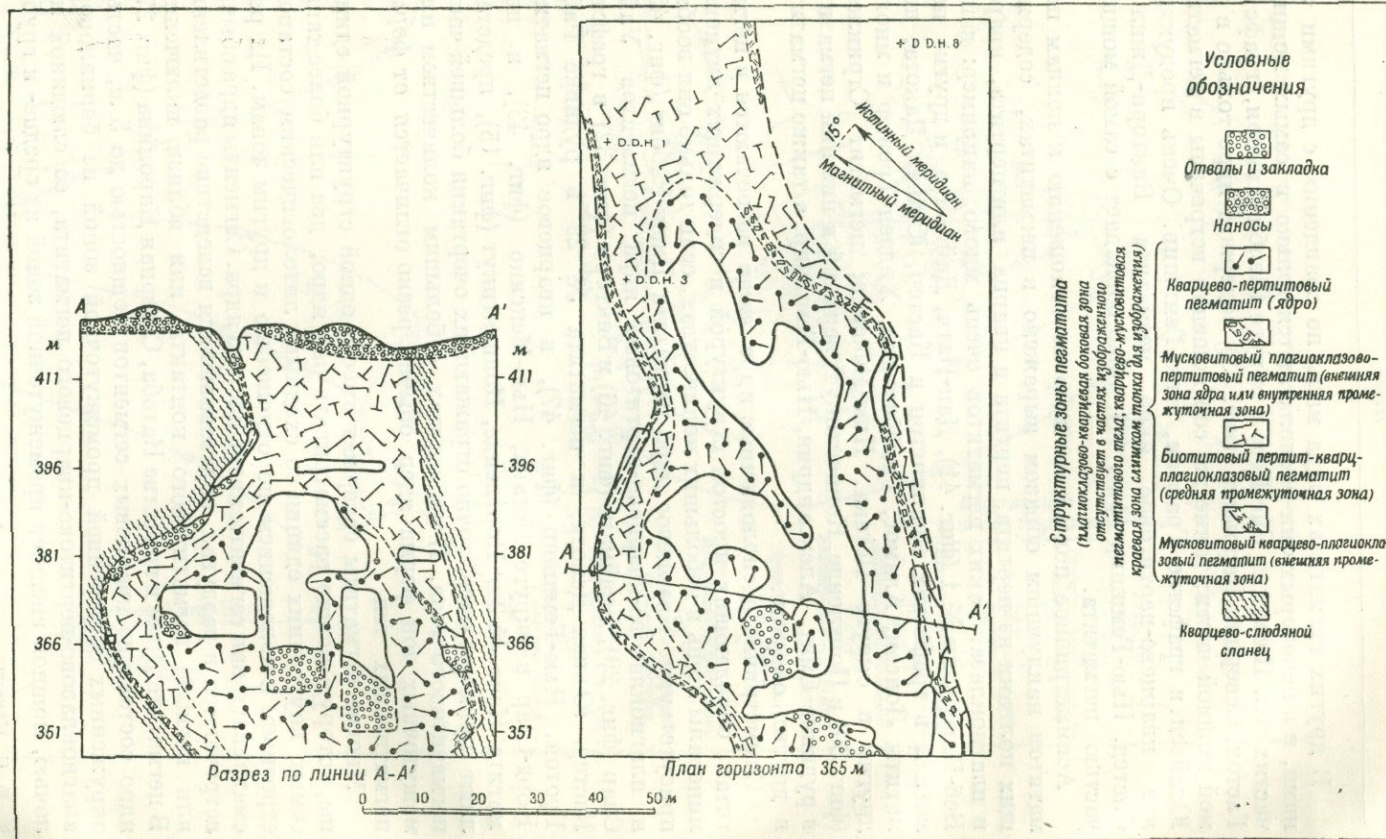
Фиг. 43. Карта пегматита Хардести-Хомстед, графство Пеннигтон, Южная Дакота, показывающая кварцевые трещинные заполнения; секции внешние зоны.

В других пегматитах ядра малы по сравнению с другими зонами, и в некоторых они располагаются только в самых мощных частях тел. Пегматит Биг-Бесс в округе Шелби-Хикори, графство Гастон, Северная Каролина (фиг. 31), содержит ядро только в самой мощной части; такие же соотношения встречены в пегматите Юнайтед в графстве Графтон, Нью-Гемпшир. Очень продуктивное кварцево-пертитовое ядро пегматита Виктори-Джилсу, Олстед, Нью-Гемпшир (фиг. 44), тоже совпадает с самой мощной частью пегматита.

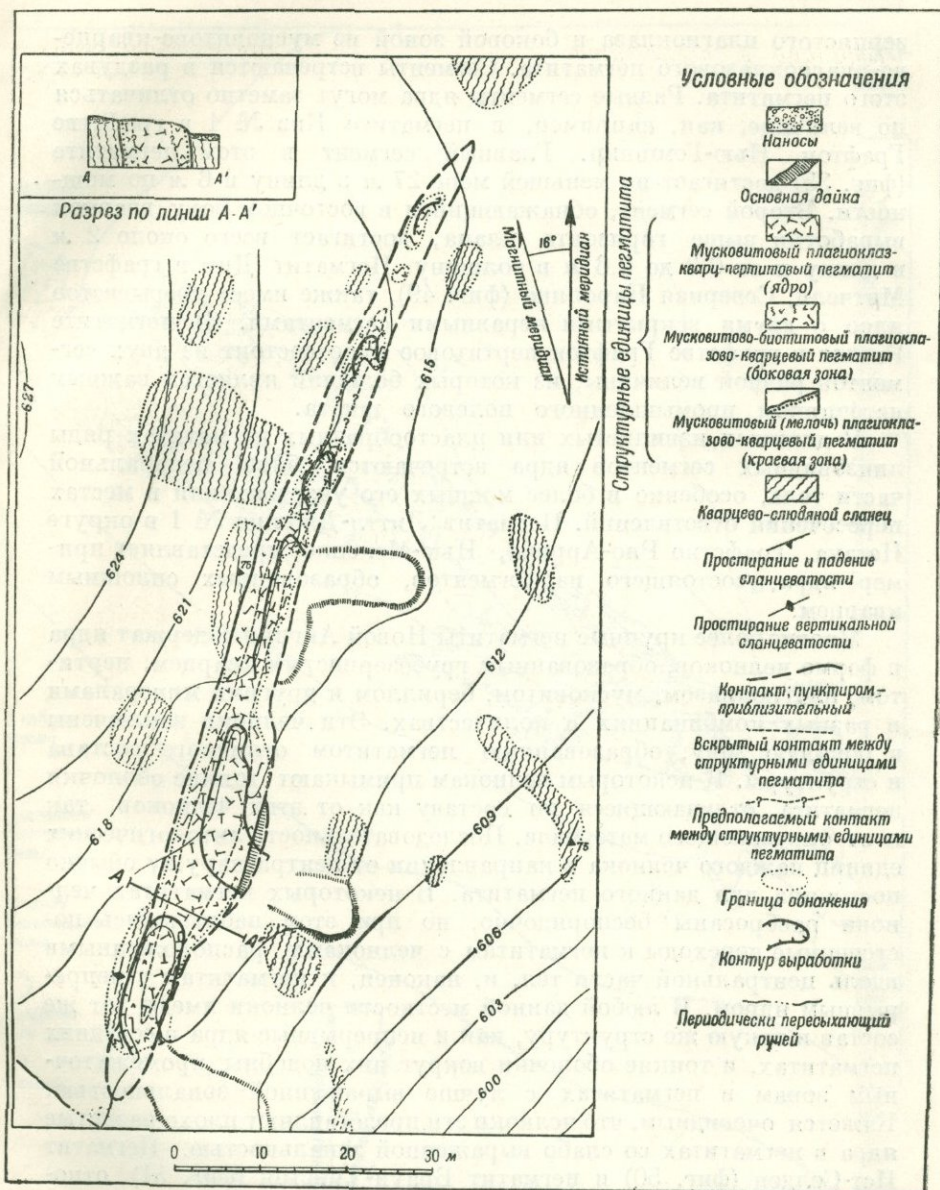
Асимметричное положение ядер по отношению к концам пегматитов наилучшим образом выражено в пегматитах, содержащих колчаки из пертита, пертита и кварца или пертита, кварца и плагиоклаза. Таких пегматитов очень много, например: дайка Боб-Ингерсолл № 1 (фиг. 41), Дан-Патч, Дайк-Лод и другие пегматиты в графствах Пеннингтон и Кастер, Южная Дакота; пегматиты Лонсом, Аламос, Гриббенвилл, Хидден-Трежер и многие другие в округе Петака, Нью-Мексико; пегматит Стрикленд (фиг. 30) в Портленде, Коннектикут; верхний и нижний пегматиты в руднике Смит, Александрия, Нью-Гемпшир, а также пегматиты в других округах.

Симметрично расположенные ядра чаще встречаются в пегматитах, обладающих простой структурой и содержащих литиевые минералы лишь в небольших количествах, если только они вообще присутствуют. Кварцевое ядро пегматита Джэк-Раббит (фиг. 45), и плагиоклазово-кварцево-пертитовые ядра пегматитов Уайт-Спар (фиг. 29), Клаймакс (фиг. 46) и Виктори (фиг. 32) в графстве Кастер, Южная Дакота, и пегматита № 29 в руднике Райс, Гротон, Нью-Гемпшир (фиг. 47), и кварцевое ядро пегматита Норд-Стар в округе Петака, Нью-Мексико (фиг. 48), и пегматита Кейс № 2 в Портленде, Коннектикут (фиг. 15), представляют примеры ядер, точно отражающих очертания большей части пегматитового тела. В пегматитах с большим количеством промежуточных зон форма ядер обычно резко отличается от формы пегматитовых тел.

Многие пегматиты содержат вместо одной структурной единицы, которую можно рассматривать как ядро, две или более таких самых внутренних единиц со сходными литологическим составом строением и положением по отношению к другим зонам. Их рассматривают как сегменты прерывистого ядра. Сегменты ядра обычно встречаются в раздувах, образовавшихся вследствие разветвления или изгибов пегматитового контакта или вблизи включений. В пегматите Драм в графстве Катоба, Северная Каролина (фиг. 27), ядро состоит из кварцевых сегментов мощностью до 5 м, частью окруженных внутренней промежуточной зоной из бериллового плагиоклазово-пертитово-кварцевого пегматита, со слюдяной мелочью, мощной внешней промежуточной зоной из средне- и грубо-



Фиг. 44. Геологический план и разрез пегматита Биг, рудник Виктори, Олстед, Нью-Гемпшир.



Фиг. 47. Геологическая карта и разрез пегматита № 29, рудник Райс, Гротон, Нью-Гемпшир.

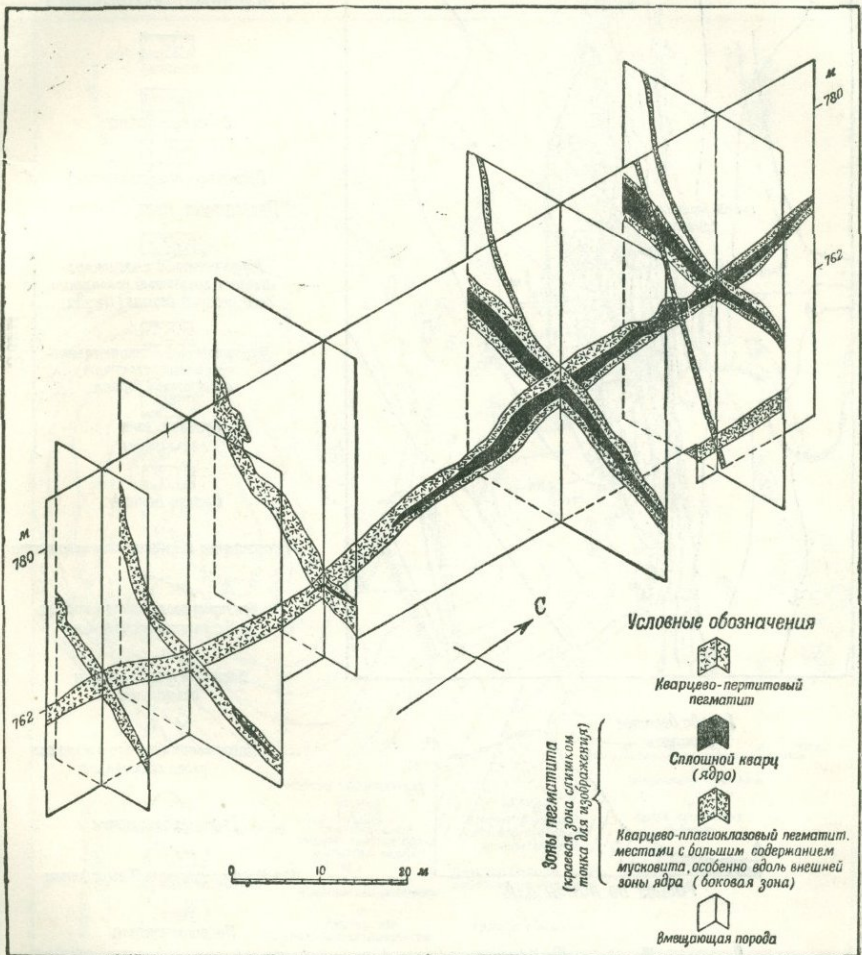
зернистого плагиоклаза и боковой зоной из мусковитово-кварцево-плагиоклазового пегматита. Сегменты встречаются в раздувах этого пегматита. Разные сегменты ядра могут заметно отличаться по величине, как, например, в пегматите Киз № 1 в графстве Графтон, Нью-Гемпшир. Главный сегмент в этом пегматите (фиг. 35) достигает по меньшей мере 27 м в длину и 6 м по мощности. Второй сегмент, обнажающийся в восточном боку главной выработки выше горизонта плана, достигает всего около 2 м в длину и от 0,3 до 0,6 м в толщину. Пегматит Дик в графстве Митчелл, Северная Каролина (фиг. 49), также имеет прерывистое ядро с двумя вскрытыми неравными сегментами. В пегматите Раггле в графстве Графтон пертитовое ядро состоит из двух сегментов разной величины, из которых больший является важным источником промышленного полевого шпата.

В длинных извилистых или пластообразных пегматитах ряды линзовидных сегментов ядра встречаются близ центральной части тела, особенно в более мощных его участках или в местах пересечения ответвлений. Пегматит Литтл-Джулия № 1 в округе Петака, графство Рио-Арриба, Нью-Мексико, представляет пример ядра, состоящего из сегментов, образованных сплошным кварцем.

Многие более крупные пегматиты Новой Англии содержат ядра в форме челноков, образованных грубозернистым кварцем, пертитом, плагиоклазом, мусковитом, бериллом и другими минералами в разных комбинациях и количествах. Эти челноки заключены в боковую зону, образованную пегматитом отличного состава и структуры. К некоторым челнокам примыкают тонкие оболочки пегматита, отличающиеся по составу как от этих челноков, так и от окружающего материала. Последовательность литологических единиц каждого челнока в направлении от центра наружу обычно постоянна для данного пегматита. В некоторых пегматитах челноки разбросаны беспорядочно, но при этом наблюдались постепенные переходы к пегматитам с челноками, расположенными вдоль центральной части тел, и, наконец, к пегматитам с непрерывным ядром. В любой данной местности челноки имеют тот же состав и такую же структуру, как и непрерывные ядра в соседних пегматитах, и тонкие оболочки вокруг них подобны промежуточным зонам в пегматитах с лучше выраженной зональностью. Кажется очевидным, что челноки эти представляют плохо развитые ядра в пегматитах со слабо выраженной зональностью. Пегматит Ист-Селден (фиг. 50) и пегматит Браун-Турстон (фиг. 51) относятся к числу многочисленных примеров пегматитов с такими челноками, которые встречаются также во всех пегматитовых округах Новой Англии, исследованных во время войны.

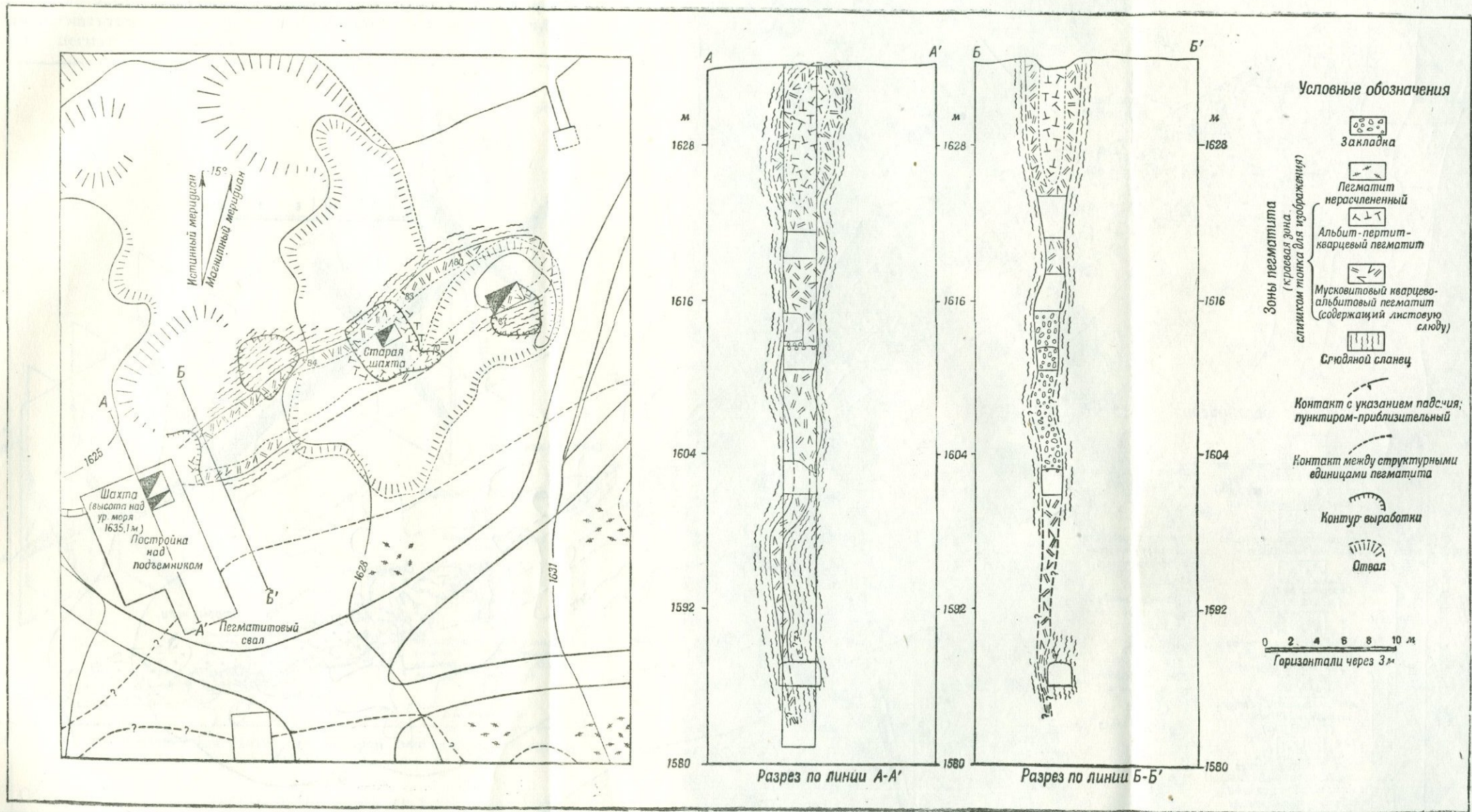
Согласно Хейриху (устное сообщение, 1945 г.), кварцевые ядра многих пегматитов в штате Алабама постепенно переходят

в плоские массы и прожилки кварца, разделенные полевошпатовым пегматитом. Этот переход наблюдается от гребня к килевой части пегматитового тела.

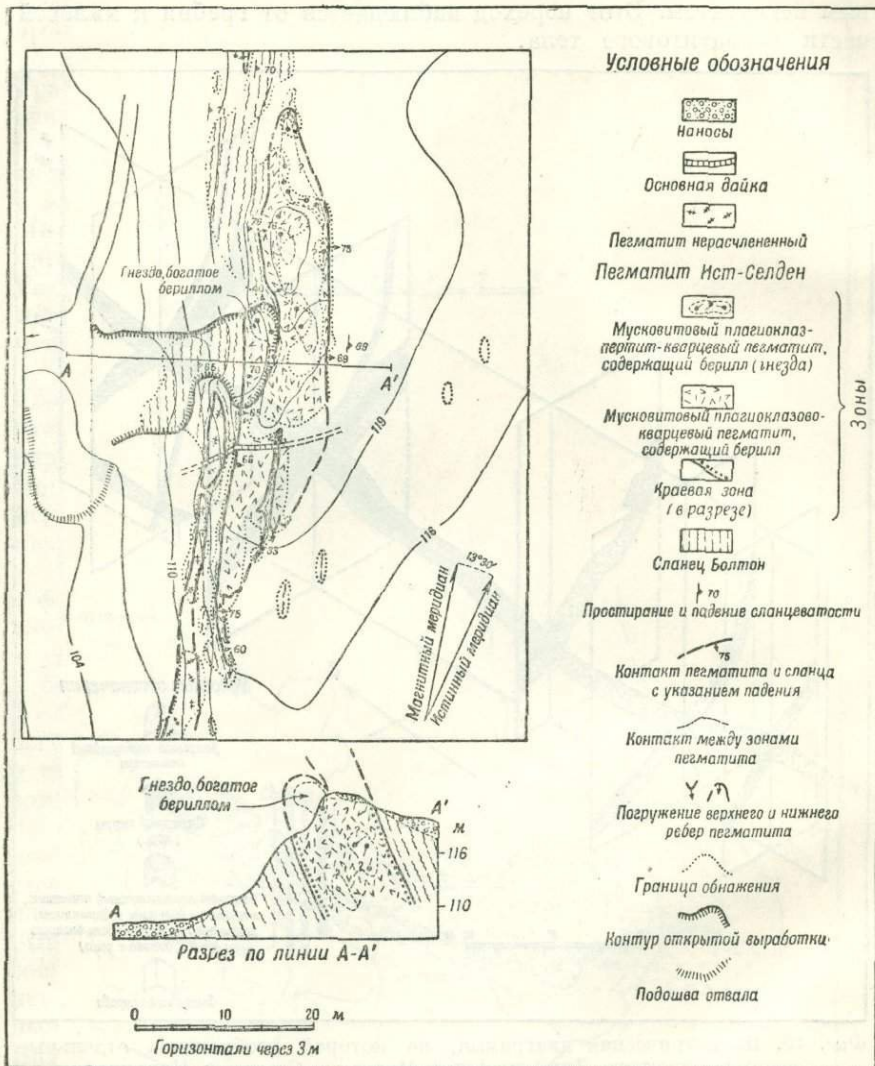


Фиг. 49. Изометрическая диаграмма, на которой изображены отдельные сечения пегматита Дик, графство Митчелл, Северная Каролина.

Обнажения на поверхности очень часто не позволяют видеть настоящее ядро. Поэтому на многих планах пегматитов показаны видимые ядра, которые при дальнейших разведках или разработках могут оказаться боковыми или промежуточными зонами. Следовательно, чтобы решить, является ли структурная единица, находящаяся в центре тела, настоящим ядром, надо строение

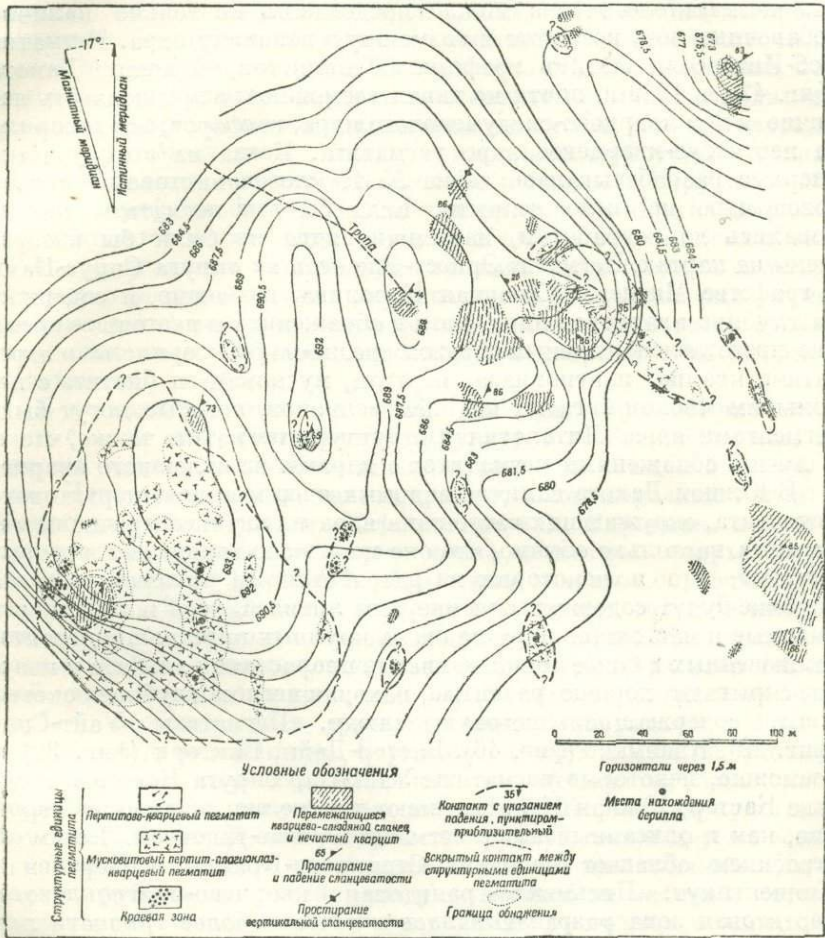


Фиг. 46. Геологическая карта и разрезы пегматита Клаймаке, графство Кастер, Южная Дакота.



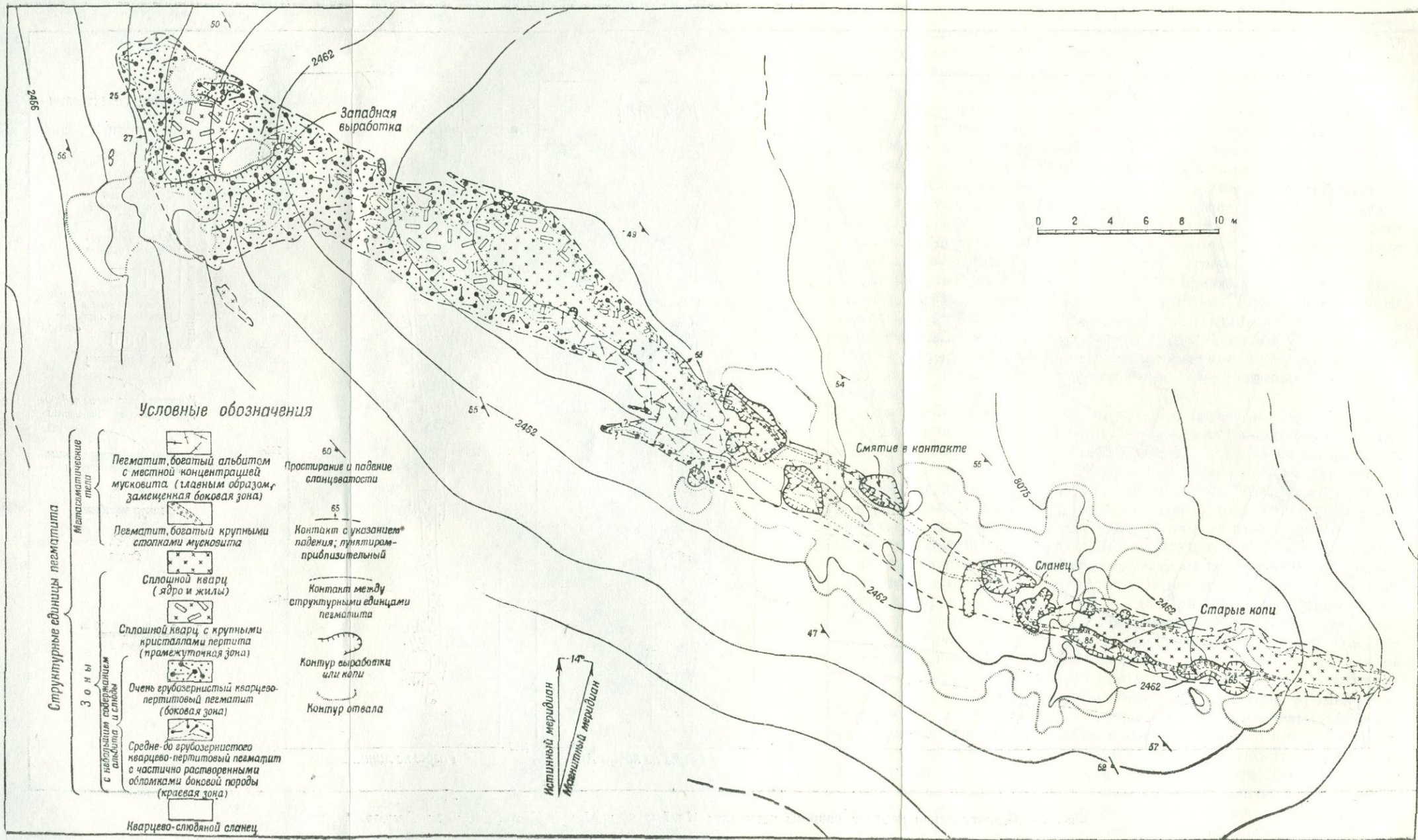
Фиг. 50. Карта и разрез пегматита Ист-Селден, Ист-Гэмптон, Коннектикут.

каждого пегматита изучать на основании существующего представления о последовательности минеральных ассоциаций. Наши знания о ядрах показывают, что в некоторых округах в полизональных



Фиг. 51. Геологическая карта берилловой разведки Браун-Турстон, Румфорд, Мэн.

пегматитах настоящим ядром можно безоговорочно считать только сплошной кварц. Кварц с рассеянными в нем кристаллами микролина (не обнаруживающего макроскопически пертитового строения) также может в некоторых пегматитах образовывать настоящие ядра, ядра других пегматитов слагает пертит. Другие минераль-



Фиг. 48. Геологическая карта пегматита Норт-Стар, графство Рио-Арриба, Нью-Мексико, показывающая простую зональную структуру и систематическое распределение главных метасоматических единиц.

ные ассоциации скорее образуют боковые или промежуточные зоны, чем ядра.

Если известна форма пегматитового тела и мощность вскрытых зон, то на основании слоистой структуры зон и их отношений к стенкам пегматитового тела можно предсказать не только наличие добавочных зон, но также и возможную величину ядра. Пегматит Боб-Ингерсолл № 2 в графстве Пеннингтон, Южная Дакота (фиг. 42), в 1939 г. почти не давал возможности предполагать наличие в нем кварцево-сподуменового ядра; наоборот, все говорило за пертитово-кварцевое ядро пегматита. Когда на этом участке впервые разрабатывалась дайка № 1, клевеландитово-ленидолитовое ядро не было вскрыто. Если бы эти пегматиты картировались до разработки, настоящие ядра не были бы изображены на картах. Пегматит Эрнест-Джонсон из округа Спрус-Пайн в графстве Митчелл, Северная Каролина, возможно, и содержит на глубине кварцевое ядро, хотя в обнажениях в настоящее время оно представлено главным образом средне- и грубозернистыми агрегатами кварца, плагиоклаза, пертита, мусковита и биотита с небольшим числом богатых кварцем челноков, которые могут быть сегментами ядра. Литология и структура пегматита та же, что и у лучше обнаженных пегматитов с ядрами из сплошного кварца.

В Южной Дакоте наличие видимых ядер кварцево-пертитового пегматита, окружающих настоящие ядра из литийсодержащих минералов, настолько обычно, что оно подмечено горняками, которые считают, что в некоторых из разработок на полевой шпат на глубине будут содержаться минералы лития. В этой же местности видимые и настоящие ядра из очень крупных кристаллов пертита, заключенных в более тонкозернистые прорастания альбита и кварца, скрывают хорошо развитые, находящиеся на глубине боковые зоны, содержащие листовую слюду. Пегматиты Уайт-Спар (фиг. 29), Клаймакс (фиг. 46), Бастер-Дайк, Виктори (фиг. 32) и, возможно, некоторые пегматиты Уайт-Бир округа Кастер в графстве Кастер, Южная Дакота, имеют тот же тип и такое же строение, как и описанный выше пегматит Эрнест-Джонсон. Таким же строением обладает пегматит Стрикленд-Крамер в Портленде, Коннектикут. Письменно-гранитовая кварцево-плагиоклазово-пертитовая зона разрабатывалась в течение более тридцати лет, прежде чем на глубине были обнаружены боковые зоны, содержащие листовую слюду.

Хотя минеральный состав и структура ядер различны в разных пегматитах и в разных округах, однако все же возможно сделать некоторые обобщения.

В Новой Англии в полизональных пегматитах обычны ядра, образованные сплошным кварцем, сплошным пертитом или кварцем с разбросанными в нем гигантскими кристаллами пертита. В юго-восточных штатах в полизональных пегматитах обычны

ядра из кварца или пертитово-кварцевого пегматита. В Блэк-Хиллсе, Южная Дакота, для пегматитов, содержащих листовую слюду, обычны ядра, образованные кварцем или плагиоклазово-пертитово-кварцевым пегматитом. Ядра пегматитов, содержащих промышленный полевой шпат, образованы кварцем, пертитово-кварцевым пегматитом, плагиоклазово-пертитово-кварцевым пегматитом, сподуменовым клевеландитово-кварцевым пегматитом, сподуменово-кварцевым пегматитом или клевеландитово-лепидолитовым пегматитом. Подобные пегматиты есть в Колорадо, Вайоминге, Монтане и Айдахо с им одним присущими типами ядер, зависящими от состава данного пегматита. В руднике Мусковит в графстве Лейта, Айдахо, пегматит имеет ядро из кварцево-клевеландитового пегматита. В Нью-Мексико ядра многих пегматитов, обладающих только двумя зонами, представляют агрегаты пертита и кварца, которые лишь слегка более грубозернисты, чем краевые зоны; наоборот, ядра полизональных пегматитов образованы сплошным кварцем или сплошным кварцем с гигантскими кристаллами пертита.

В пегматитах, имеющих только две зоны, ядра обычно обладают средне- до грубозернистой структурой и образованы плагиоклазом, калиевым полевым шпатом, кварцем, слюдой и турмалином. Некоторые из них, как, например, пластообразный пегматит Монтейро-Амбер-Куин в графстве Гучленд, Виргиния, и многие линзовидные и имеющие форму языка пегматиты округа Спрус-Пайн в Северной Каролине, образованы главным образом грубозернистым плагиоклазом и кварцем и содержат большое количество крупной листовой слюды. Однако преобладают пегматиты, бедные слюдой промышленного значения. Структура ядер в большей части пегматитов с хорошо выраженной зональностью очень грубая, особенно если составляющими минералами являются пертит, сподумен и кварц. В редких случаях к ним по величине приближаются агрегаты клевеландита, мусковита, лепидолита, берилла и других аксессуарных минералов. Нормально кристаллы или зерна клевеландита в ядрах не крупнее, чем в других зонах, и пронизаны кварцем приблизительно такой же величины. Намечается грубое соответствие между величиной пегматита с хорошо выраженной зональностью и величиной кристаллов в ядре. Чем больше пегматитовое тело, тем крупнее кристаллы в ядре. Однако это правило имеет много исключений.

Последовательность минеральных ассоциаций в зональных пегматитах

Общие положения. За время последних исследований неоднократно наблюдалось, что группы пегматитов в некоторых округах не только обладают сходным зональным строением, но обнаружи-

вают также, следуя от стенок пегматитов внутрь, сходную последовательность ассоциаций существенных минералов. Эта общая закономерность ясно видна на 22 пегматитах в районе Райс-Майн-Пайкс-Ледж в Гротоне, Нью-Гемпшир, и на 26 пегматитах в соседней области Райс-Палермо, на 39 детально изученных пегматитах в области Кребтри-Крик, округ Спрус-Пайн, Северная Каролина, на 73 детально изученных пегматитах в округе Петака, Новая Мексика, на различных группах пегматитов, картированных и исследованных Хейрихом в Алабаме, и на 79 пегматитах в южной части Блэк-Хиллса, Южная Дакота.

Площадь района Райс-Майн-Пайкс-Ледж в Гротоне, Нью-Гемпшир, занимает приблизительно $2,5 \text{ км}^2$. Двадцать два пегматита в этом районе, изученные Стюартом в 1944 г., обнаруживают следующую общую последовательность минеральных ассоциаций (в отношении существенных минералов) по направлению от стенок пегматита внутрь: 1) мусковитовый кварцевый пегматит с плагиоклазом или без него, 2) мусковитовый плагиоклазово-пертитово-кварцевый пегматит с биотитом или без него, 3) мусковитовый кварцево-пертитовый пегматит, 4) кварцево-пертитовый пегматит, 5) кварц. Третья ассоциация этой последовательности плохо развита и представлена материалом, образующим внешнюю кайму вокруг зоны 4-й ассоциации, относительно богатой мусковитом. Десять пегматитов состоят из комбинации ассоциаций 1 и 2, одиннадцать — из 1 и 2 с различными комбинациями из ассоциаций 3, 4 и 5. Во всех пегматитах эти имеющиеся минеральные ассоциации располагаются в порядке от стенок внутрь, соответствуя вышеуказанной общей последовательности. Двадцать шесть изученных пегматитов в области Райс-Палермо, примыкающей с севера к области Райс-Майн-Пайкс-Ледж, обнаруживают также сходную с этой последовательность с добавлением кварцево-плагиоклазовой ассоциации между зонами 1 и 2. В этой области обнаруживаются три типа отклонений от указанной выше последовательности: наложение зон, повторение ассоциации 2 и варианты ассоциации 1, содержащие как биотит, так и мусковит. Наложённые зоны, как было описано выше, образуют структурные единицы, слагаемые минералами, которые входят в два или большее число типов минеральных ассоциаций, либо занимающих соседние места, либо вообще находящиеся в общей последовательности в приведенном ряду; например минералами ассоциаций 2 и 3, или 4, 5 и 6, или 4 и 6. Такие наложенные одна на другую зоны неизменно находятся в той же последовательности внутри пегматитов, как и отдельные указанные структурные единицы в других пегматитах. В некоторых пегматитах мусковитовый плагиоклазово-пертитово-кварцевый пегматит встречается вне ассоциации 2, в других — внутри. Несмотря на сходство минерального состава, эти два типа имеют различные структурные особенности, и при дальнейшем исследовании можно

обнаружить постоянную разницу в содержании анортита в плагиоклазе или в составе мусковита. Эта разновидность ассоциации 1 является промежуточной по составу между ассоциациями 1 и 2 общей последовательности.

Несмотря на эти отклонения, в общем последовательность минеральных ассоциаций в различных пегматитах обнаруживает замечательное приближение к единообразию.

Общая последовательность минеральных ассоциаций, имеющая место в зональных пегматитах во многих районах, определена путем сравнения последовательностей минеральных ассоциаций в главных округах. Обобщенный порядок последовательности минеральных ассоциаций в том виде, как он определен до сих пор для четырех главных изученных районов, дан в левом столбце табл. 1. Последовательности минеральных ассоциаций для главных районов приведены в остальных колонках. Последовательность

Таблица 1

Минеральные ассоциации	Главные пегматитовые округа			
	юго-восточные штаты*	Новая Англия**	Петана, Нью-Мексико	Блэк-Хиллс, Южная Дакота
1. Плагиоклаз-кварц-мусковит	X	X	0	X
2. Плагиоклаз-кварц	X	X	0	X
3. Кварц-пертит-плагиоклаз с мусковитом или без него, с биотитом или без него	X	X	X	X
4. Пертит-кварц	X	X	X	X
5. Пертит-кварц-плагиоклаз-амблигонит-сподумен	0	0	0	X
6. Плагиоклаз-кварц-сподумен	0	X?	0	X
7. Кварц-сподумен	0	0	0	X
8. Лепидолит-плагиоклаз-кварц	0	X?	0	X
9. Кварц-микроклин	0	0	0	X
10. Микроклин-плагиоклаз-литиевые слюды-кварц	0	0	0	X
11. Кварц	X	X	X	X

0 — минеральная ассоциация не наблюдалась.

X — минеральная ассоциация наблюдалась.

X? — минеральная ассоциация наблюдалась, но точное положение в общей последовательности неизвестно.

* Не включены пегматиты олово-сподуменового пояса (Северная и Южная Каролина) и оловоносные пегматиты Алабамы. Для их включения понадобилось бы добавление ассоциаций 6 и 7 в список, данный для этой территории.

** Не включены богатые литием пегматиты Мэна и Массачусетса.

в отдельных районах соответствует различным частям обобщенной последовательности минеральных ассоциаций. Различия заключаются главным образом в том, что некоторые зоны, имеющиеся в одних районах, отсутствуют в других; но в любом районе последовательная смена тех или иных имеющихся ассоциаций в направлении от стенок пегматита внутрь в основном та же самая, что и в каком-либо другом округе. Встречавшиеся отклонения похожи на те, которые описаны уже в районе Райс-Майн-Пайкс-Ледж; так, в некоторых пегматитах в юго-восточных штатах плагиоклазово-кварцевый пегматит образует две зоны, находящиеся в различном положении в общей последовательности. В таких пегматитах эти две зоны обычно содержат разные типы мусковита, и дальнейшие лабораторные исследования могут показать, что и плагиоклаз этих двух зон непременно отличается по содержанию анортита.

Из табл. 1 видно, что наиболее обычные минеральные ассоциации образованы существенно или плагиоклазом, калиевым полевым шпатом и кварцем, или комбинациями этих минералов с мусковитом, биотитом, амблигонитом, сподуменом и лепидолитом. Эти минералы положены в основу обобщенной последовательности. Распределение многочисленных акцессорных минералов, таких, как турмалин, берилл, топаз, колумбит-танталит, фосфаты и др., также закономерно связано с этой последовательностью. В некоторых пегматитах акцессорные минералы являются существенными компонентами некоторых зон, но их включение в обобщенную последовательность только удлинит бы список ее минералов и затемнило бы основной ее признак, выражающийся в последовательности полевых шпатов, кварца, слюды и литиевых минералов. Минеральные ассоциации, в которых распространенные акцессорные минералы имеются в необыкновенно большом количестве, рассматриваются как особые разновидности общей последовательности.

Зоны, установленные в данном пегматите, обычно не полностью соответствуют общей последовательности минеральных ассоциаций, приведенных в табл. 1, так как в одних пегматитах некоторые зоны отсутствуют, в других—две или более ассоциаций накладываются в одной зоне, а в третьих—одна ассоциация представлена двумя или более соседними зонами, различающимися по структуре, содержанию акцессорных минералов или по относительному преобладанию одного из существенных минералов этой ассоциации. Так, во многих пегматитах первый член общей последовательности представлен двумя зонами: тонкозернистой краевой зоной и средне- до грубозернистой боковой зоной. Для того чтобы показать распределение акцессорных минералов, как, например, берилла, колумбит-танталита, микролита, а также других минералов промышленного значения, может потребоваться подразде-

ление данной минеральной ассоциации на две или более зон. В пегматите Кейс № 1 в Портленде, Коннектикут, пертитово-кварцевый пегматит разделен на две зоны—боковую, относительно богатую бериллом, и промежуточную, относительно бедную бериллом.

Внутри отдельных структурных единиц обобщенной последовательности количественные отношения существенных минералов очень разнообразны, поэтому число комбинаций их очень велико. Некоторые комбинации обычно встречаются в каждом пегматитовом округе. Особенно обычны структурные единицы, в которых один минерал настолько преобладает, что эти единицы становятся существенно мономинеральными. Плаггиоклазовая единица табл. 2 представляет особую разновидность зоны, состоящей главным образом из плаггиоклаза и кварца.

Хотя минеральные ассоциации, соответствующие какому-либо данному члену общей последовательности, сходны в ряде округов, однако они не идентичны. Например, член № 1 общей последовательности в данном районе образован мусковитовым кварцево-плаггиоклазовым пегматитом, но состав плаггиоклаза в нем различен в разных пегматитах даже из одного и того же округа. Боковые зоны, образованные этой минеральной ассоциацией в пегматитах юго-восточных штатов, заключают плаггиоклаз состава от № 15 до № 32, тогда соответствующие ассоциации пегматитов Южной Дакоты содержат плаггиоклаз, изменяющийся от № 4 до № 23. Детальное изучение изменения состава плаггиоклазов может также показать соответственные колебания состава и других минералов. Однако имеется замечательное стремление к некоторому постоянству порядка, в котором различные минеральные виды появляются в последовательных ассоциациях от стенок пегматита внутрь. Плаггиоклаз и мусковит характерны для самых внешних зон большинства пегматитов. Биотит появляется в смеси с плаггиоклазом, пертитом, кварцем и мусковитом в следующих по порядку зонах, а пертит и кварц характерны для более внутренних зон. В литийсодержащих пегматитах добавочные минеральные ассоциации встречаются между ассоциациями, богатыми пертитом, и кварцевым членом, закарнивая общую последовательность. Только очень немного минеральных ассоциаций встречается более чем в одном положении в общей последовательности—наиболее часто такой является плаггиоклазово-кварцево-мусковитовая ассоциация.

Последовательность минеральных ассоциаций в полевошпатово-слюдяных пегматитах юго-восточных штатов. Полевошпатово-слюдяные пегматиты в юго-восточных штатах обладают простейшей последовательностью слагающих их минеральных ассоциаций (табл. 2). Большая часть этих пегматитов произошла, по видимому,

из кварцево-диоритовых, гранодиоритовых и кварцево-монцититовых магм, и многие пегматиты похожи по составу на соседние крупные массы интрузивной горной породы. Большинство этих пегматитов содержит во внешних зонах средний до известковистого олигоклаз (№ 15—32).

Большинство краевых и боковых зон в полевошпатово-слюдяных пегматитах юго-восточных штатов эквивалентно члену 1 общей последовательности, указанной в табл. 2. Для них характерно большое содержание кварца и плагиоклаза с мусковитом или без него. Некоторые содержат биотит, большая часть которого, повидимому, образовалась в результате реакции между пегматитовыми растворами и боковой породой. Некоторые внешние зоны, особенно в пегматитах с простой зональностью, содержат пертит; следовательно, их литологический состав соответствует литологическому составу промежуточных зон других пегматитов, более богатых плагиоклазом. Как промежуточные зоны, так и ядра широко варьируют по литологическому составу. Ядра большинства двузональных пегматитов сложены той или другой структурной единицей из перечисленных между 1 и 3 в общей последовательности, но в полизональных пегматитах ядра обычно соответствуют членам 4 и 10 табл. 1.

Многие богатые слюдой зоны, образующие оторочки ядер пегматитов, соответствуют либо члену 2а, либо члену 4а (табл. 2) этой последовательности. В пегматитовых телах или частях пегматитовых тел с неразвитыми пертитовыми или кварцево-пертитовыми зонами они наблюдаются рядом с кварцевыми ядрами, в других же случаях они отделены от ядер одной или обеими указанными зонами. Стопки мусковита чаще всего встречаются в зонах, соответствующих членам 1 и 3 общей схемы. Слюда в какой-либо данной зоне довольно однородна в отношении окраски, прозрачности, типа и распределения в минерале неправильностей структуры и электрических свойств, тогда как для стопок мусковита из разных зон одного пегматита обычно наблюдается резкое различие свойств. Например, зеленая слюда «А» во многих пегматитах особенно обильна вдоль краев кварцевых ядер, тогда как слюда боковых зон тех же самых пегматитов имеет цвет буйволовой кожи, темнокоричневая, коричневато-оливковая и слегка красноватая. Слюда «А» елочками или в виде угловатых стопок («клинчатая» слюда, *wedged*¹) наиболее обычна в пегматитах и пегматитовых зонах, богатых калиевым полевым шпатом, а также в некоторых зонах, содержащих натровый альбит. Большая же часть плоских стопок, дающих вообще слюду лучшего качества, находится в пегматите, бедном пертитом.

¹ «Клинчатую» слюду в форме клинообразных двойниковых кристаллов иногда называют у нас также «ельчатой». (Прим. ред.)

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ ПОЛЕВОШПАТОВО-СЛЮДЯНЫХ ПЕГМАТИТОВ ЮГО-ВОСТОЧНЫХ ШТАТОВ

Минеральные ассоциации	Биг-Бэсс, гр. Гастон, Сев. Каролина	Элк. гр. Эйвери, Сев. Каролина	Чэмпсон, гр. Амелия, Виргиния	Найт, гр. Рокингем, Сев. Каролина	Мак-Кинней, гр. Митчелл, Сев. Каролина	Морфилд, гр. Амелия, Виргиния	Хойл, гр. Кливленд, Сев. Каролина	Дик, гр. Митчелл, Сев. Каролина	Миллс-Гриффит, гр. Янси, Сев. Каролина	Дип-Крик, гр. Свейн, Сев. Каролина	Драм, гр. Катауба, Сев. Каролина	Фостер № 1, гр. Линкольн, Сев. Каролина	Бисли № 2, гр. Майкон, Сев. Каролина	Адамс, гр. Алсон, Джорджия	Уайлдкэт, гр. Митчелл, Сев. Каролина	Бардсон, гр. Митчелл, Сев. Каролина	«А», гр. Эйвери, Сев. Каролина	Биард-Бенфилд, гр. Эйверт, Сев. Каролина	
1а.* Кварц-мусковит		X ^а			X														
1. Плагиноклаз-кварц-мусковит	X ^д		X ^{б, д}	X	X	X	X	X	X ^б	X		X ^б	X ^б		X	X ^{г, б}	X ^а	X	
2. Плагиноклаз-кварц	X ^б	X		X ^б	X	X		X ^б	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
2а.* Плагиноклаз-кварц-мусковит	X ^д	X	X ^а	X		X		X	X		X	X	X	X		X	X	X	
2б.* Плагиноклаз			X ^б								X		X						
3. Кварц-пертит-плагиноклаз с биотитом или без него, с мусковитом или без него	X	X ^а		X	X		X ^в	X ^б	X ^в	X	X	X			X	X		X	
4а.* Пертит-кварц-мусковит				X					X				X	X					X
4. Пертит-кварц					X	X				X		X ^б		X	X	X			X
4б. Пертит	X													X	X				X
4в. Идиоморфный пертит-кварц					X	X				X				X	X				
11. Кварц	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X ^б		X			

* Варианты минеральных ассоциаций, обычно представленные в пегматитах данного района.

а Развита только в немногих пегматитовых линзах.

б Развита местами; вообще не картирована как отдельные зоны.

в Картирована как две зоны на основе структурных различий.

г Ассоциации, которые можно разделить на несколько очень тонких единиц на основании наличия или отсутствия мусковита и граната.

д Ассоциации в этом пегматите определены на основании различий типа и свойств мусковита.

Последовательность минеральных ассоциаций в пегматитах Новой Англии. Табл. 3 изображает обобщенную последовательность минеральных ассоциаций в тех пегматитах Новой Англии, для которых имеются данные. Сюда не включены литийсодержащие пегматиты Мэна и Массачусетса, но известно, что некоторые из них содержат ассоциации литиевых минералов, сходные с ассоциациями литийсодержащих пегматитов Блэк-Хиллса.

Пегматиты Новой Англии, перечисленные в табл. 3, хотя и имеют добавочные зоны, все же во многом схожи с юго-западными пегматитами. В их внешних зонах в большом количестве содержится натриевый олигоклаз (№ 10 — № 20) или альбит (№ 2 — № 10), и произошли они, повидимому, из гранодиоритовых, кварцево-монцитонитовых и гранитовых магм. Во многих из них имеются непрерывные внешние зоны, богатые плагиоклазом. Натриевый альбит вообще встречается во внутренних зонах, трещинных заполнениях или метасоматических телах и обычно не является существенным минералом. В некоторых пегматитах Новой Англии встречаются зоны, образующие каемки вокруг ядра и содержащие промышленную листовую слюду (За и Зб таблицы 3). Боковые и внешние промежуточные зоны, содержащие промышленную листовую слюду, многочисленны, и они являлись основным источником добычи слюды в Новой Англии во время войны.

Были произведены предварительные исследования для определения состава плагиоклаза в различных зонах некоторых пегматитов Новой Англии. Гленн У. Стьюарт определил показатели преломления почти для 350 образцов. В одних исследованных пегматитах плагиоклаз однороден по составу, в других — содержание анортита в нем систематически меняется по направлению от краевой зоны к ядру. Содержание анортита в плагиоклазе краевых зон некоторых пегматитов относительно высоко, до 20%, но обычно состав плагиоклаза варьирует от № 9 до № 14. В таких пегматитах в боковых и внешних промежуточных зонах плагиоклаз обладает меньшим содержанием анортита, колеблющемся в общем от № 2 до № 12. В большей части пегматитов, представленных образцами, изученными оптически, имеется некоторое количество чисто натриевого альбита во всех зонах даже в том случае, когда состав плагиоклаза в них варьирует от сравнительно богатого известью альбита или олигоклаза во внешних зонах до плагиоклаза, относительно бедного анортитом, — во внутренних зонах.

Что касается мусковита, то здесь приложимы следующие обобщения, полученные из наблюдений в поле. Стопки мусковита во внешних зонах обычно имеют бурую или красновато-бурую окраску, они плоски, содержат меньше вростков и «клинчатой» слюды, чем это имеет место для мусковита внутренних зон. Внутренние зоны вообще содержат небольшие стопки мусковита бронзовой

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ ПЕГМАТИТОВ НОВОЙ АНГЛИИ

Минеральные ассоциации	Минеральные ассоциации																
	Андерсон № 1, Ист-Хемптон, Коннектикут	Стрикленд-Краймер, Портленд, Коннектикут	Готта-Уолден, Портленд, Коннектикут	Бордонаро, Портленд, Коннектикут	Кейс № 2, Портленд, Коннектикут	Бикстер, Олстед, Нью-Гемпшир	Биг, Олстед, Нью-Гемпшир	Колония, Олстед, Нью-Гемпшир	Хатчинс-Хилл, Александрия, Нью-Гемпшир	Паттук, Александрия, Нью-Гемпшир	Смит, Александрия, Нью-Гемпшир	Леггетт, Рамни, Нью-Гемпшир	Киз № 1, Орандж, Нью-Гемпшир	Атвуд, Рамни, Нью-Гемпшир	Уордуэлл, Олбани, Мэн	Рассел-Брос, Толпхем, Мэн	Уайсанен, Гринвуд, Мэн
1. Плагноклаз-кварц-мусковит	X ₂	X ₂	X ₂			X ₂	X ₂		X		X ₂	X	X ₂	X ₂			X ₂
2. Плагноклаз-кварц	X					X	X										
3. Кварц-пертит-плагноклаз, с мусковитом или без него, с биотитом или без него		X ³	X	X	X ₂	X	X	X ₃	X	X ₂	X ₂	X ₂	X		X	X ₃	X ₃
3а. Плагноклаз-кварц-мусковит										X							
3б. Пертит-кварц-мусковит							X			X			X				
4. Пертит-кварц		X ²		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
6а. Плагноклаз-кварц ¹		X															
8. Лепидолит-плагноклаз-кварц	X?																
11. Кварц	X?	X		X	X				X		X		X	X			

X — минеральная ассоциация присутствует, картирована как одна зона.

X₂ — минеральная ассоциация, картированная как две зоны на основании структуры, или соотношений минералов, или того и другого.

X₃ — единица, картированная как три зоны.

X? — единица присутствует, точное положение в общей последовательности не определено.

1 — по видимому, вариант минеральной ассоциации 6 табл. 1, в которой нет сподумена. Аналогичные варианты найдены в пегматитах Блэк-Хиллса (6а на табл. 5).

2 — члены 3 и 4 на фиг. 30 не различаются.

или зеленовато-желтой окраски, которые имеют структуру «А» или клинчатую. Однако некоторые внутренние зоны содержат плоскую листовую слюду высокого качества.

Берилл встречается в ряде отдельных последовательных минеральных ассоциаций, но большая часть берилла, добываемого в Новой Англии, поступает из внутренних промежуточных зон, соответствующих ассоциациям 3а или 3б таблицы 3, или из метасоматических тел.

Последовательность минеральных ассоциаций в пегматитах округа Петака, Нью-Мексико. Последовательность единиц пегматитов округа Петака, Нью-Мексико, изображена на таблице 4. Большинство краевых зон пегматитов этого округа представляет тонко- до среднезернистых гранитоидные агрегаты пертита, кварца и слюды, всегда без плагиоклаза. Однако в некоторых пегматитах краевые зоны образованы пертитом, альбит-олигоклазом и кварцем с мусковитом и биотитом или без них. Вообще в таких структурных единицах содержится больше мусковита, чем в тех, где нет плагиоклаза. Боковые зоны, как правило, представляют средне- и грубозернистые гранитоидные агрегаты пертита и кварца и местами богаты письменным гранитом. Некоторые из этих зон постепенно переходят (по направлению к центральным частям пегматита) в единицы такого же состава, но крайне грубой структуры.

Промежуточные зоны, если они есть, чаще всего содержат: а) грубый глыбовый пертит с участками масс письменного гранита или без них, б) письменный гранит и в) сплошной кварц с разбросанными кристаллами пертита от 15 см до 4 м и более в диаметре. Ядра образованы сплошным кварцем в пегматитах с тремя и более зонами и грубым гранитоидным кварцево-пертитовым пегматитом — в телах с более простой зональностью.

Последовательность минеральных ассоциаций в пегматитах Южной Дакоты. Пегматиты Южной Дакоты содержат все основные минеральные ассоциации, перечисленные в списке, представляющем обобщенную последовательность, на таблице 1. Эти типы и их разновидности приведены на таблице 5, иллюстрирующей основные минеральные ассоциации двадцати типичных пегматитов Южной Дакоты.

Пегматиты, перечисленные на таблице 5, по сложности последовательности минеральных ассоциаций можно разделить на две большие группы. В одну группу (№ 7—20) входят пегматиты с минералами лития. Первые шесть пегматитов представляют группу, в которой литиевые минералы редки, а в целом эти пегматиты очень похожи на пегматиты Новой Англии и юго-восточных штатов. Пегматиты Ирл-Лоуд и Нью-Йорк, повидимому, представляют переходный тип между этими двумя группами.

Таблица 4

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ ПЕГМАТИТОВ ПЕТАКА, НЬЮ-МЕКСИКО

Минеральные ассоциации	Кайава	Криббен-вилл	Апач	Хилден-Трежер	Аламос	Вайоминг	Блюберд	Куин	Норт-Стар	Вестгард	Лоунсом
3. Кварц-пертит-плаггиоклаз, с мусковитом или без него, с биотитом или без него	X	X				X	X	X			
4а. Пертит-кварц, с мусковитом или без него	X ^а	X ^а		X ^а	X ^а	X ^а	X	X	X ^а	X	X ^а
4б. Пертит-кварц	X	X	X		X			X		X	X
4в. Идиоморфный пертит-кварц	X	X	X	X	X	X	X		X		X
11. Кварц	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X

^а — Картировано как две или более зон на основании структуры.

Некоторые из существенных минералов, входящих в общую последовательность для Южной Дакоты, обнаруживают заметное изменение состава по направлению от стенок пегматита внутрь его. Эти изменения отчасти похожи на изменения и в других округах. Плаггиоклаз или постоянен по составу, или обнаруживает уменьшение содержания анортита от внешних зон к ядру. Олигоклаз (№ 10—23) был установлен в боковых зонах шести пегматитов, и только два из них—Джайант-Волни и Хьюго—содержат литиевые минералы. Гораздо большее число пегматитов содержит во внешних зонах альбит (№ 4—10), хотя многие из литийсодержащих пегматитов содержат во внешних зонах более чисто натровый альбит. Такое изменение содержания анортита сопровождается изменением формы кристаллов плаггиоклаза. Олигоклаз и известьсодержащий альбит обладают более или менее изометричным обликом, а чисто натровый альбит имеет таблитчатую форму (клевеландит). Между этими двумя крайними типами существуют все переходы по форме; лишь немногие исследователи используют одинаковые критерии для отличия одного типа от другого.

Мусковит также обнаруживает последовательность изменения формы, а возможно, и химического состава, от одной структурной единицы к другой. Стопки мусковита в структурной единице 1, если они связаны с олигоклазом или содержащим известь альбитом, образованы главным образом сравнительно плоскими пластинами красноватого (по спайности) цвета; во внутренних зонах

Таблица 5

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ В БЛЭК-ХИЛЛСЕ, ЮЖНАЯ ДАКОТА

Минеральные ассоциации	Виктори	Уайт-Кеп	Бустер-Дайк	Хайленд-Лоуд	Панч	Олд-Майк	Ирл-Лоуд	Нью-Йорк	Хелен-Берил	Сола-Спар	Бичер № 2	Эдисон	Боб-Ингер-солд-Дайк № 2	Кастер-Маунтен	Дайк-Лоуд	Этта	Боб-Ингер-солд-Дайк № 1	Бичер-Лоуд	Джайнт-Волли	Хьюго
1. Плагиоклаз-кварц-мусковит	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X
2. Плагиоклаз-кварц			X			?	X	X		X	X		X		X	X	X	X	X	X
3. Кварц-пертит-плагиоклаз, с мусковитом или без него	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		?	X	X		X
4. Пертит-кварц		X		X			X	?	X				X	X	X		X	X		
5. Пертит (или микроклин) -кварц-плагиоклаз-амблигонит-сподумен									X	X			X	?	X	X	X	?	X	X
6а*. Плагиоклаз-кварц					X	X		X					X	X	X	X	X		X	X
6. Плагиоклаз-кварц-сподумен								?			X	X		X	X	X				X
7. Кварц-сподумен											X	X		X	X	X				
8. Лепидолит-плагиоклаз-кварц								?				X	X	X	X	X		X	X ₂	X
9. Кварц-микроклин								?					X	?		X		?	X	X
10. Микроклин-плагиоклаз-литиевые слюды-кварц								?			?								X	X
11. Кварц					X	X		X								X		?		X

* 6а — в этой ассоциации сподумен не является существенным минералом; ассоциация 6а рассматривается как вариант ассоциации 6. X — обозначает минеральную ассоциацию, обнаруженную в зонах.

? — означает, что минеральная ассоциация обнаружена, но плохо обнажена или плохо развита.

X₂ — гидротермальное метасоматическое тело с той же последовательностью ассоциаций, что и зоны.

они встречаются реже. Мусковит в ассоциациях, содержащих чисто натровый альбит, имеет пропорционально большее количество стопок со структурой «А», и слюда эта более светлой окраски. Агрегаты мелких кристаллов и листочков мусковита чаще встречаются во внутренних структурных единицах, чем во внешних.

Калиевые полевые шпаты содержат заметно больше пертитовых вростков в структурных единицах, стоящих в начале ряда последовательности ассоциаций, чем в конце его. Сподумен обнаруживает уменьшение количества продуктов изменения при переходе от внешних к внутренним структурным единицам. Кристаллы сподумена, образовавшиеся в кварцево-пертитово-плагиоклазовой зоне пегматита Матин, полностью изменены в желтый мусковит. Сподумен во внешней части кварцево-пертитовой зоны пегматита Хелен-Берил отчасти полностью превращен в желтый мусковит; сподумен, образовавшийся вместе с кварцем, пертитом и плагиоклазом (структурная единица 5) в руднике Этта, частью изменен в очень тонкозернистый агрегат водных, слюдяных и глинистых минералов, а сподумен с кварцем и плагиоклазом (структурная единица 6) во многих пегматитах обнаруживает подобное, но менее интенсивное изменение. Сподумен в кварце (структурная единица 7), хотя частью и измененный в некоторых пегматитах, все же обычно является менее измененным, чем во внешних единицах.

Акцессорные минералы также обнаруживают закономерные изменения, тесно связанные с порядком их в обобщенной последовательности минеральных ассоциаций. Изучение показателей преломления берилла из разных зон пегматитов заставляет предполагать, что в одних пегматитах берилл одинаков во всех зонах, в других же имеет место определенное увеличение показателя преломления берилла и, вероятно, содержания щелочей от внешних зон к внутренним. Повидимому, также имеется прямая зависимость между содержанием щелочи в берилле и содержанием натрия в плагиоклазовом полево шпате. Литиевые пегматиты, содержащие во внешних зонах натриевый альбит, содержат в этих зонах берилл с более высоким показателем преломления, чем в зонах с более известковистым плагиоклазом. Детального изучения изменения состава турмалина, колумбит-танталита, микролита и фосфатных минералов не производилось, но наблюдения в поле заставляют предполагать, что существуют видоизменения, возможно связанные с общей зональной последовательностью. Имеются некоторые данные, полученные на основании изучения удельного веса, которые дают возможность предполагать, что минералы колумбит-танталита обнаруживают увеличение содержания в направлении от стенок пегматита внутрь его. Микролит, кальциевый танталит, повидимому, ограничиваются самыми внутренними зонами лепидолитсодержащих пегматитов. Турмалин, особенно

черный, повидимому, больше всего концентрируется в боковых зонах, богатых известковистым плагиоклазом и кварцем или известковистым плагиоклазом, кварцем и пертитом. Синий и зеленовато-синий турмалин более обычен в зонах с умеренно натриевым альбитом, связанным с мусковитом структуры «А». Розовый и зеленый турмалин связаны с более натриевым альбитом и лепидолитом во внутренних зонах.

Последовательность минеральных ассоциаций в других изученных округах. Широко развитая последовательность минеральных ассоциаций, которую обнаруживают пегматиты в юго-восточных штатах, в Новой Англии, в округе Блэк-Хиллс, Южная Дакота, и в округе Петака, Нью-Мексико, может быть приложима ко многим зональным пегматитам Колорадо, Вайоминга, Айдахо и западной части Аризоны. Об изменениях минералогического состава, насколько они изучены, упоминалось при рассмотрении такой последовательности в различных округах. Следующие обобщения, за редкими исключениями, действительны для каждого из изученных округов.

Наличие олигоклаза или альбита от известковистого до среднего состава ограничивается первыми членами последовательности (номера 1—3, табл. 1). Чисто натриевый альбит может встречаться в членах 1—4, но он наиболее обилен и характерен для членов 5, 6 и 8. Содержание плагиоклаза увеличивается от № 5 до № 6; он является преобладающим полевым шпатом в зоне 8 и представляет только аксессуарный минерал в зонах 9 и 11, если только он в них присутствует. Пертит в наибольшем количестве встречается в зонах 3—4, а микроклин, макроскопически свободный от альбита, является господствующим полевым шпатом в зонах 9 и 10.

Мусковит обычно концентрируется в зонах 1, 3 и 4, а в небольшом количестве встречается и в других зонах. Обычно его больше в зонах, богатых плагиоклазом, чем в зонах, богатых пертитом.

На изменения в типе и относительном количестве полевого шпата накладываются изменения в типе главного литиевого минерала, который здесь присутствует. Амблигонит, за исключением нахождения его в незначительном количестве как минерала акцессорного, ограничен членом 5 общей последовательности; относительное содержание сподумена возрастает от члена 5 к члену 6 и убывает в зоне 7. Лепидолит в большом количестве присутствует только в зоне 8. Кварц, являющийся компонентом всех зон, в наибольшем количестве встречается в зоне 11.

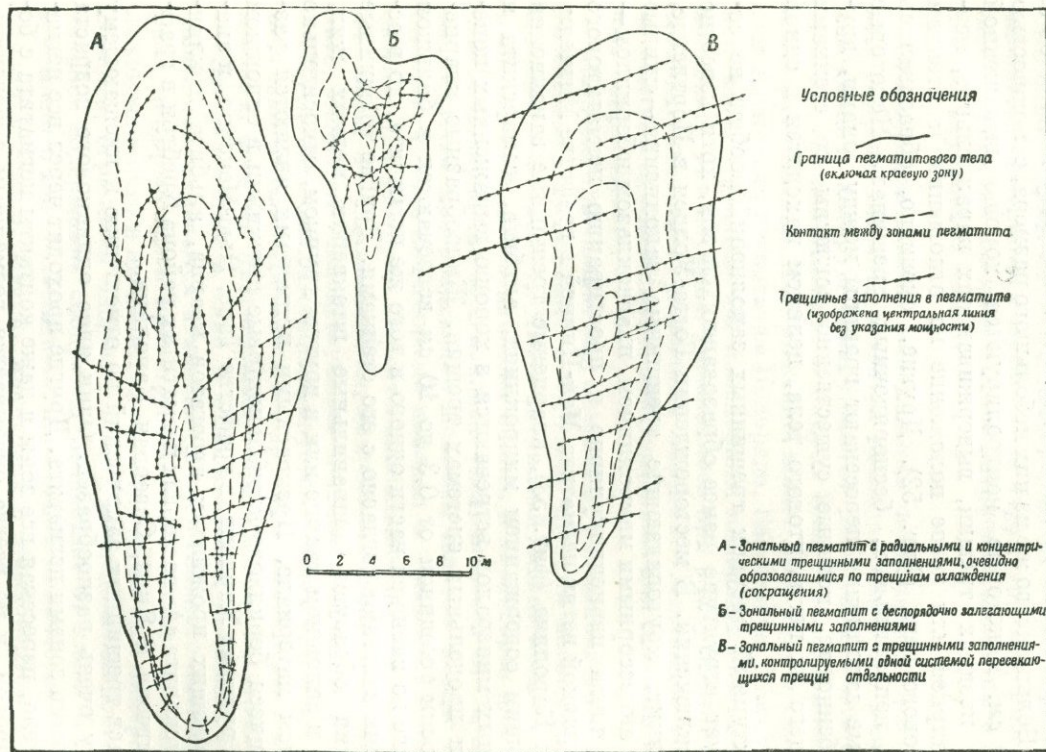
Трещинные заполнения

Общие признаки. Трещины заполнения, образовавшиеся в пегматитах простым заполнением трещин без заметного замещения

стенок пегматита, в некотором отношении похожи на непегматитовые рудные месторождения, образовавшиеся вдоль трещин. Почти все они имеют отчетливую форму жил или пластин и варьируют от тонких прожилков до масс более 3 м в толщину и более 30 м в длину. Большинство же из них небольшого размера, с мощностью менее 30 см. Некоторые контролируются хорошо выраженной системой поздних трещин, выдерживающих параллельное, перпендикулярное или косое положение по отношению к стенкам пегматитового тела (фиг. 52). Другие, очевидно, образовались в более неправильных, беспорядочных трещинах. Некоторые трещинные заполнения пересекают границы между зонами, другие—особенно те, которые существенно согласны со стенками вмещающего их пегматитового тела, целиком находятся в одной зоне.

Структурный рисунок трещинных заполнений вообще не соответствует структуре ранее образовавшихся зон, хотя известно много исключений. В месторождении Готта-Уолден в Портленде, Коннектикут, крутопадающие трещинные заполнения—«жилы» кварца с аксессуарными микроклином, плагиоклазом и бериллом—тянутся почти перпендикулярно к простиранию пегматитового тела. В главной ветви пегматита Мак-Кинней в графстве Митчелл, Северная Каролина (фиг. 53), кварцевые трещинные заполнения с небольшим содержанием микроклина, альбита, самарскита и сульфидных минералов встречаются в хорошо выраженных поперечных и продольных системах трещин. Жилообразные кварцевые полоски толщиной от 0,3 до 10 см встречаются в большом количестве во внешней части одного и того же пегматита, но в основном они залегают согласно с его стенками. Другие трещинные заполнения образуют неправильные штокверки мелких жил, особенно в сплошном кварце или в другом хрупком, относительно однородном материале. Прекрасными примерами являются разветвляющиеся бериллово-клевеландитовые прожилки в сплошном кварце в руднике Хардинг, в графстве Таос, Нью-Мексико, и анатомизирующих прожилках агрегатов кварца, альбита и клинчатого мусковита «А» во многих пегматитах района Кребтри в графствах Митчелл и Янси, Северная Каролина.

Возраст трещинных заполнений по отношению к вмещающему пегматиту очень разнообразен. Одни явно одинакового возраста с некоторыми зонами пегматита. Другие проходят через все пегматитовое тело, пересекая все зоны и даже контакты пегматита с боковой породой, и не всегда оказывается возможным определить, находятся ли они в генетической связи с самим пегматитом, в котором они встречаются. Некоторые слоистые или зональные пегматитовые тела, повидимому, внедрялись по трещинам в очень грубозернистые интрузивные породы, которые определяют по-разному: гранит, пегматитовый гранит и тонко- до среднезернистого



Фиг. 52. Идеализированные планы челнокообразных пегматитовых тел, показывающие типичное распределение трещинных заполнений.

Для наглядности трещинные заполнения показаны на диаграммах в большем количестве, чем это имеет место в действительности.

пегматит. Примеров такого «пегматита в пегматите» известно очень много в округе Спрус-Пайн на западе Северной Каролины и в округе Блэк-Хиллс в Южной Дакоте. Вообще такие пегматитовые тела, повидимому, генетически связаны с вмещающими интрузивами, но не обязательно они представляют конечные стадии в развитии непосредственно прилегающей горной породы. Чем они моложе по сравнению с содержащим их пегматитовым телом, тем скорее их можно рассматривать как особые пегматиты, образовавшиеся независимо от вмещающей породы.

Многие трещинные заполнения образовались раньше или одновременно с самыми внутренними зонами пегматитов, в которых они встречаются. Действительно, образование трещин и внесение в них материала может иметь место на любой следующей за внедрением стадии затвердения любой части пегматитовой массы, независимо, обладает ли последняя зональностью или нет. Большинство трещинных заполнений, образовавшихся на ранних стадиях, пересекает внешние зоны зонального пегматита и постепенно исчезает в ядре или в промежуточных зонах. Перечисляемые ниже трещины заполнения хорошо обнажены, и ясно видно, как они пересекают внешние зоны: ряд кварцевых жил в пегматите Хардинг в графстве Таос, Нью-Мексико, трещинные заполнения из сплошного кварца с гигантскими кристаллами пертита в пегматите Мак-Кинней в графстве Митчелл, Северная Каролина, и пегматиты Уитли и Юнг в графстве Бедфорд, Виргиния; кварцевые жилы, пересекающие внешние зоны пегматита Килтон в графстве Графтон, Нью-Гемпшир, и шеелитово-вольфрамитовые кварцевые тела в оловоносном пегматите Силвер-Хилл в графстве Стивенс, Вашингтон (90). Пегматит Биг-Боулдер в графстве Лаример, Колорадо, содержит кварцевое трещинное заполнение, достигающее 10 м в длину и от 0,5 до 1,5 м в толщину. Оно представляет ответвление кварцевого ядра или кварцево-пертитовой промежуточной зоны и тянется на север через мусковитовую пертитово-кварцево-альбитовую боковую зону во вмещающий слюдяной сланец. Кварцевое трещинное заполнение мощностью от 5 до 40 см в пегматите Свейн в округе Брисон-Сити на западе Северной Каролины тянется метров на 12 к северу от сегмента ядра. Оно пересекает промежуточную зону, образованную грубым глыбовым пертитом и кварцевым пегматитом с глыбовым пертитом, боковую и краевую зоны из мусковитового кварцево-олигоклазового пегматита и проходит на несколько сантиметров в боковую породу.

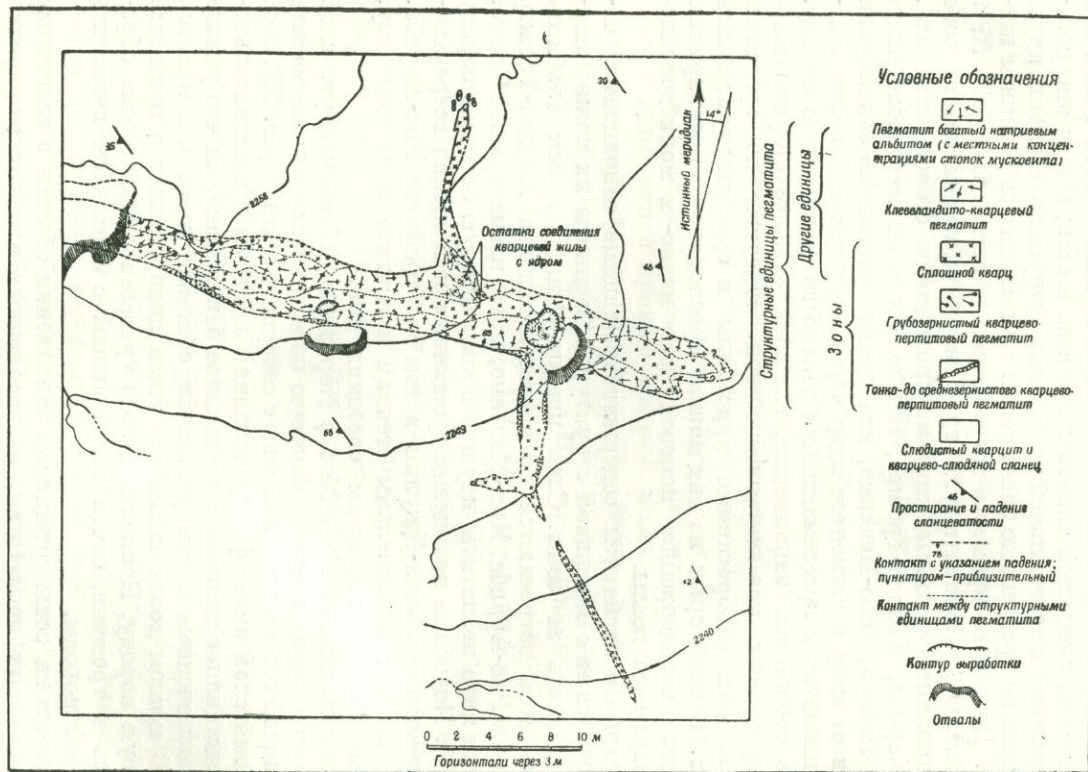
Пегматит Хардести-Хомстед в графстве Пеннингтон, Южная Дакота (фиг. 43), содержит сегменты ядер, от которых тянутся кварцевые трещинные заполнения, пересекая другие зоны. Большинство трещинных заполнений простирается на 25° и падает под углом около 45° на ЗЮЗ, но самое крупное трещинное заполнение в северном конце пегматита простирается на север и падает

под углом 65° к западу. Оно отчетливо сечет внешние 4 м ядра, боковую зону из мусковитового кварцево-альбитового пегматита и гранатовый слюдяной сланец метров на шесть; к югу оно незаметно исчезает в центральной части самого крупного сегмента ядра. Более мелкие трещинные заполнения не выходят за границы пегматита. Подобные примеры встречаются в пегматите Кейс № 1 в Портленде, Коннектикут, где кварц кварцево-пертитового ядра заполняет трещины, которые проходят до стенок пегматита. В Ла-Харита, Хидден-Трежер, Намбе и других месторождениях округа Петака, Нью-Мексико, кварцевые трещинные заполнения тянутся от ядер и сегментов ядер через окружающий полевошпатовый пегматит и прослеживаются далеко во вмещающую породу. Другие трещинные заполнения, главным образом апофизы кварцево-пертитовых промежуточных зон, содержат по границам и около них разбросанные кристаллы и сростки кристаллов пертита. В некоторых из них можно проследить по простиранию переходы в несодержащие полевой шпат медно- и молибденонесные кварцевые жилы.

Некоторые пегматиты содержат трещинные заполнения, частью согласные с зональной структурой, и иногда их можно ошибочно принять за зоны. Слои кварца с аксессуарным альбитом и ильменитом встречаются по краям пегматита Хидден-Трежер в графстве Рио-Арриба, Нью-Мексико, и этот же материал образует отпрыски ядра пегматита, идущие в кварцитовую боковую породу (фиг. 54). Подобные кварцевые трещинные заполнения встречаются в пегматите Литтл-Джулия в том же графстве Рио-Арриба. Многие из них параллельны стенкам пегматита и, повидимому, образовались по контактам соседних зон.

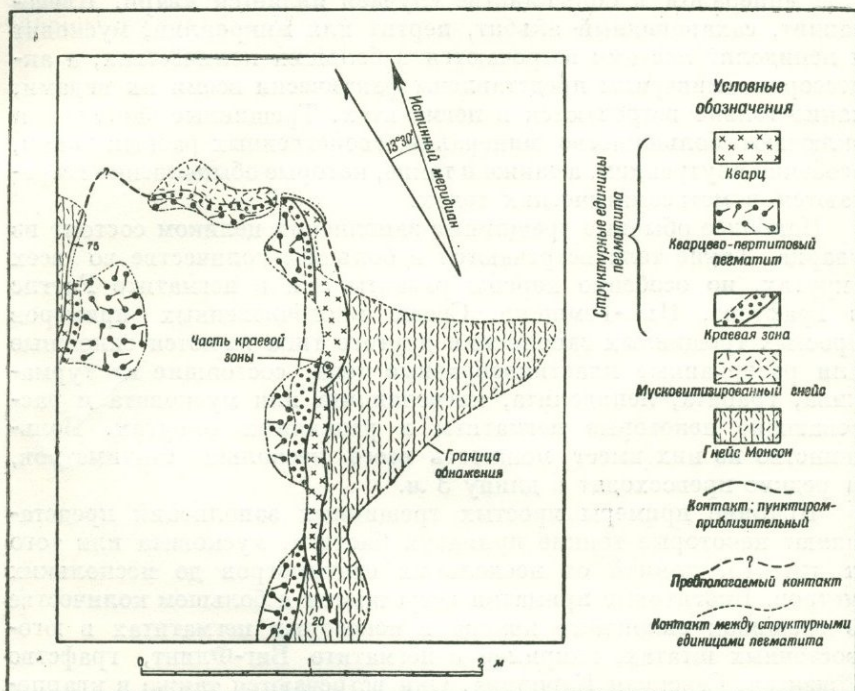
В месторождении Кейс № 1 в Портленде, Коннектикут, слой сплошного кварца отделяет боковую породу от останца пегматита вдоль одной его стороны и частью с северного конца (фиг. 55). Этот кварцевый слой имеет форму неполной зоны, но в действительности представляет настоящее трещинное заполнение, на что указывают заключенные в нем угловатые обломки пегматита краевой зоны. В южном конце пегматита жила поворачивает и врезается в боковую породу. Повидимому, это трещинное заполнение образовалось в трещине, почти совпадающей с контактом пегматита и боковой породы.

Похожие на зоны трещинные заполнения обычны в некоторых пластообразных пегматитах, раздробленных или расколовшихся во время их внедрения или затвердевания, и имеются все переходы между зональными пегматитами с хорошо выраженными трещинными заполнениями и сложными телами, в которых структурные единицы их запутаны так, что в них нельзя даже разобраться. Структуры некоторых оловянно-сподуменовых пегматитов в Пидмонте, Северная Каролина, оловоносных пегматитов в графстве



Фиг. 54. Карта восточной части пегматита Хиден-Трежер, графство Рио-Арриба, Нью-Мексико, показывающая сплошной кварц, встречающийся в виде: а) сегментов ядра, б) слоев трещинных заполнений вдоль стенок пегматита и в) жил, тянущихся из пегматита в боковую породу.

Куза, Алабама, и некоторых слюдоносных пегматитов в округе Спрус-Пайн, Северная Каролина, очень сложны вследствие наличия материала, внесенного в них вдоль плоскостей трещиноватости, скалывания и даже течения в частью затвердевшем пегматите. В противоположность им имеются некоторые пегматиты,



Фиг. 55. Эскизный план северного конца пегматита Кейс № 1, Портленд, Коннектикут, показывающий кварцевые трещинные заполнения вдоль контакта.

в которых только боковая зона заключает частично или полностью тело трещинного заполнения. Прекрасным примером является большой пегматит Бакхорн в графстве Лаример, Колорадо (фиг. 56), в котором трещины образовались после затвердения мусковито-альбитовой кварцево-микродлиновой боковой зоны. Повидимому, трещины способствовали удалению из пегматита пегматитовых растворов в его восточном конце, где находится контакт мусковитового кварцево-альбитового пегматита внешней промежуточной зоны с боковой породой. Спудуменовый кварцево-клевеландитовый пегматит образует центральную структурную единицу около восточного конца тела и частью заключен в кварцево-клевеландитовый пегматит, лучше всего развитый дальше

к западу. Зональные трещинные заполнения такого рода обычны в Блэк-Хиллсе.

Состав и внутренняя структура. В трещинных заполнениях самым распространенным и встречающимся в наибольшем количестве минералом в большинстве случаев является кварц. Клевеландит, сахаровидный альбит, пертит или микроклин, мусковит и лепидолит местами встречаются в больших количествах, а аксессуарные минералы представлены фактически всеми их видами, какие только встречаются в пегматитах. Трещинные заполнения включают большинство минералов, свойственных разным зонам, особенно внутренним, а также и такие, которые обыкновенно встречаются в метасоматических телах.

Наиболее обычные трещинные заполнения целиком состоят из кварца. Такие тела встречаются в большом количестве во всех округах, но особенно хорошо развиты они в пегматите Раггле в Графтоне, Нью-Гемпшир. Среди многочисленных примеров простых трещинных заполнений другого типа имеются сплошные или разорванные пластинообразные тела, состоящие из турмалина, граната, лепидолита, клевеландита или мусковита и пересекающие некоторые пегматиты в различных округах. Большинство из них имеет мощность всего несколько сантиметров, и редкие превосходят в длину 3 м.

Крайние примеры простых трещинных заполнений представляют некоторые тонкие примазки биотита, мусковита или того и другого, длиной от нескольких сантиметров до нескольких метров. Биотитовые примазки встречаются в большом количестве в трещинах сплошного кварца в некоторых пегматитах в юго-восточных штатах, например в пегматите Биг-Флинт, графство Джэксон, Северная Каролина. Они встречаются также в кварцево-пертитовом пегматите в руднике Биард-Бенфилд в графстве Эйвери, Северная Каролина, в руднике Тип-Топ в графстве Кастер, Южная Дакота, и в руднике Паттук в Александрии, Нью-Гемпшир. Кристаллы биотита, достигающие 6 м в длину, 2,5 м в ширину и 7 см в толщину, образовались вдоль изогнутых трещин, пересекающих боковые зоны разработок пегматитов № 1 и № 2 в округе Топсхем, Мэн [108a]. В некоторых случаях более поздние движения разделяли кристаллы биотита по плоскостям трещин отдельности с образованием параллельных полос. Подобные трещинные заполнения, образованные мусковитом или проросшими друг друга биотитом и мусковитом, встречаются в пегматитах различных округов. Некоторые трещины, заполненные слюдой, перпендикулярны или почти перпендикулярны к стенкам пегматита и могут быть контракционными трещинами, образовавшимися во время остывания пегматитов. Надо, однако, подчеркнуть, что во многих пегматитах, как, например, в руднике Блистер,

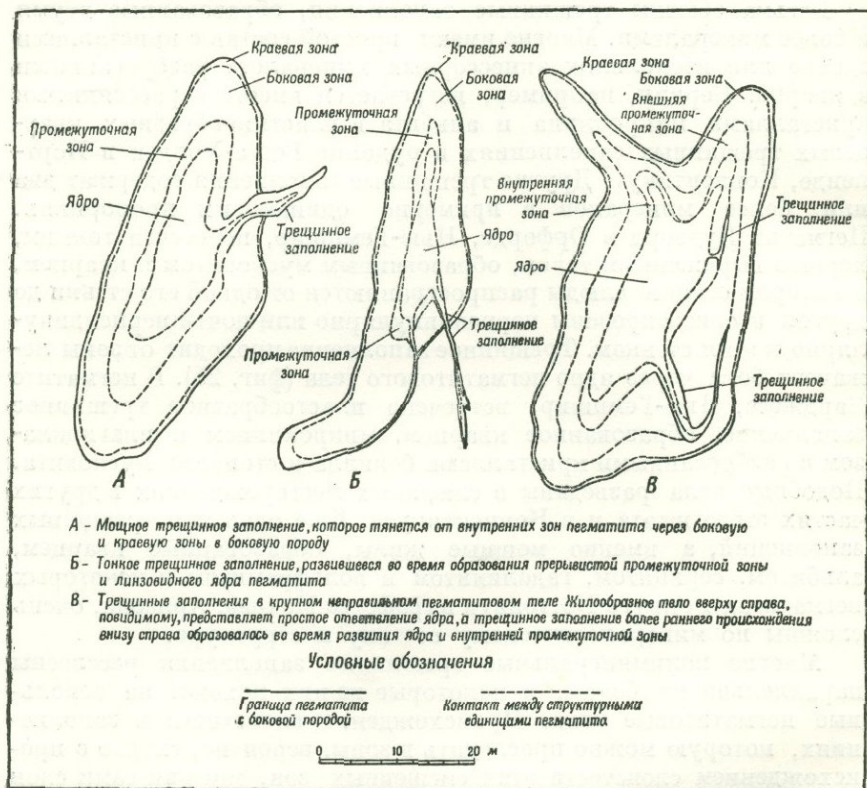
графство Чешир, Нью-Гемпшир, и в руднике Киз № 1, графство Графтон, Нью-Гемпшир, пластины слюды, ориентированные перпендикулярно к контактам, не являются трещинными заполнениями, а, по видимому, образовались одновременно с включающим их пегматитом.

Весьма обычны трещинные заполнения, образованные двумя и более минералами. Многие имеют простой состав с кристаллами одного или нескольких акцессорных минералов, разбросанными в кварце. Берилл, например, встречается вместе с рассеянными кристаллами микроклина и альбита в пластинообразных кварцевых трещинных заполнениях в руднике Готта-Уолден в Портленде, Коннектикут. Другие трещинные заполнения содержат два или более минералов в примерно одинаковых пропорциях. Пегматит Вудворд в Орфорде, Нью-Гемпшир, пересечен тонким, хорошо выраженным телом, образованным мусковитом и кварцем, в котором стопки слюды распространяются от одной его стенки до другой и ориентированы перпендикулярно или почти перпендикулярно к этим стенкам. Трещинное заполнение проходит от зоны лежащего бока через ядро пегматитового тела (фиг. 25). В пегматите Барджесс, Нью-Гемпшир, встречено пластообразное трещинное заполнение, образованное кварцем, микроклином и плагиоклазом с разбросанными кристаллами берилла и стопками мусковита. Подобные тела разведаны в слюдяных месторождениях в других частях этого штата и в Коннектикуте. Еще один тип трещинных заполнений, а именно мощные жилы, образованные кварцем, альбитом, серицитом, гадолинитом и вольфрамитом в некоторых пегматитах в округе Коттонвуд в графстве Мохоуэ, Аризона, очень сложны по минералогическому составу и структуре.

Многие полиминеральные трещинные заполнения расслоены параллельно их бокам, и некоторые из них похожи на зональные пегматитовые тела. Происхождение слоистости в заполнениях, которую можно проследить в зоны, вероятно, сходно с происхождением слоистости этих смещенных зон, так как сами слои представляют только продолжения зон в трещинах заполнения (фиг. 57). Число слоев в трещинном заполнении этого типа равно или меньше числа зон, включая самую внутреннюю зону, пересеченных таким трещинным заполнением. Зональные трещинные заполнения этого рода встречаются в районе Блэк-Хилле, Южная Дакота, в пегматитовых районах на севере Нью-Мексико и в некоторых пегматитах юго-восточных штатов, в округе Мидлтаун, Коннектикут, и в Нью-Гемпшире.

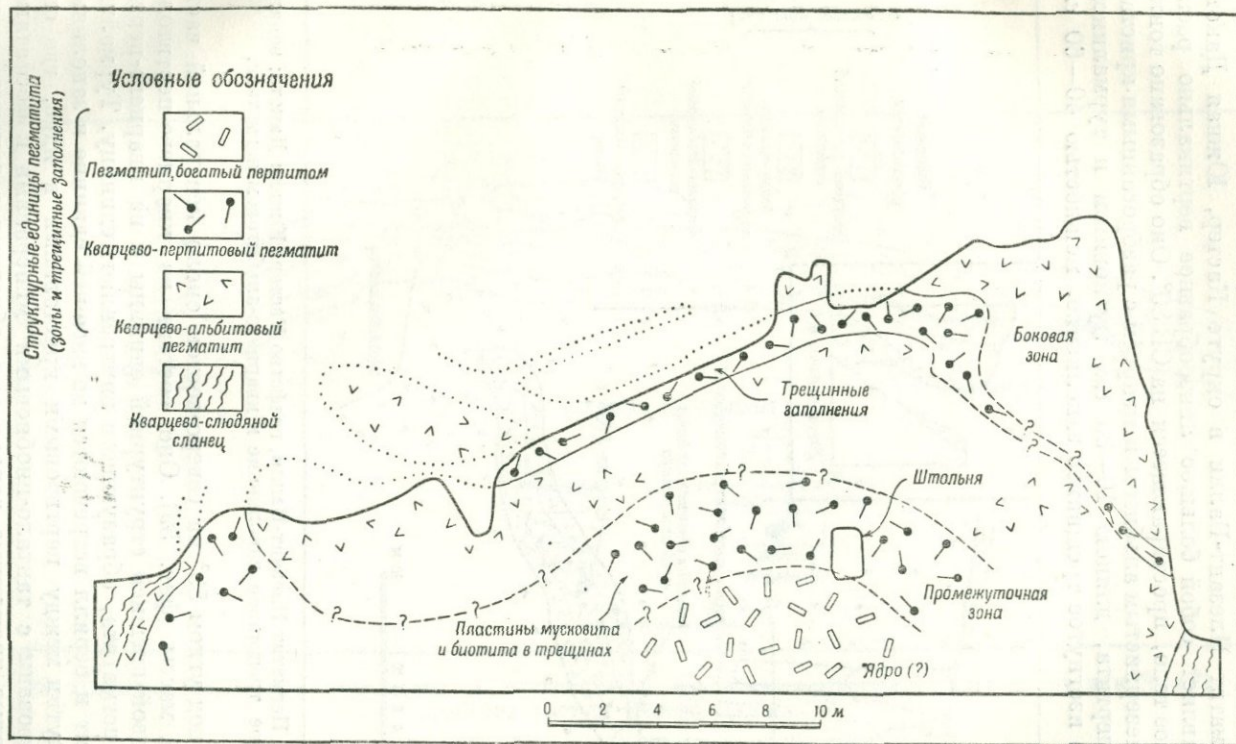
В боковой зоне пегматита Хелен-Берилл, в графстве Кастер, Южная Дакота (фиг. 58), встречено трещинное заполнение, образованное кварцево-пертитовым пегматитом. В направлении, перпендикулярном разрезу, изображенному на рисунке, оно достигает 35 м длины. Внешняя часть этой структурной единицы

и внешние два метра промежуточной зоны, с которой она, возможно, связана, содержат вдоль трещин, перпендикулярных к контактам пегматитовых единиц, тонкие пластины мусковита и биотита. В расширениях этого тела сплошной кварц образует ядро; ядро на плане не показано.



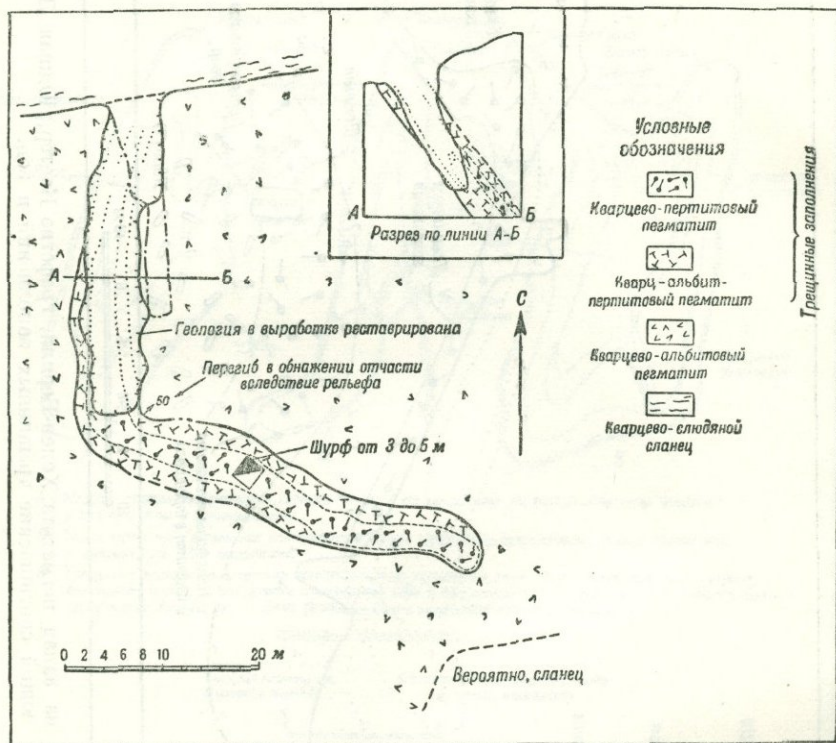
Фиг. 57. Идеализированные планы пегматитов, показывающие типичные соотношения слоистых трещинных заполнений, которые могут быть прослежены в зоны.

Пегматит Сода-Спар в графстве Пеннингтон, Южная Дакота, представляет собой крупную линзовидную массу, вытянутую в северном направлении. Около ее южного конца расположено зональное трещинное заполнение, имеющее по меньшей мере 45 м в длину и 8 м по мощности. Оно простирается на СВ 45° и падает под углом от 10 до 75° на СЗ (фиг. 21). Это трещинное заполнение связано, повидимому, с внутренней сподуменсодержащей зоной главного пегматитового тела, которое плохо обнажено в ближайшей выработке.



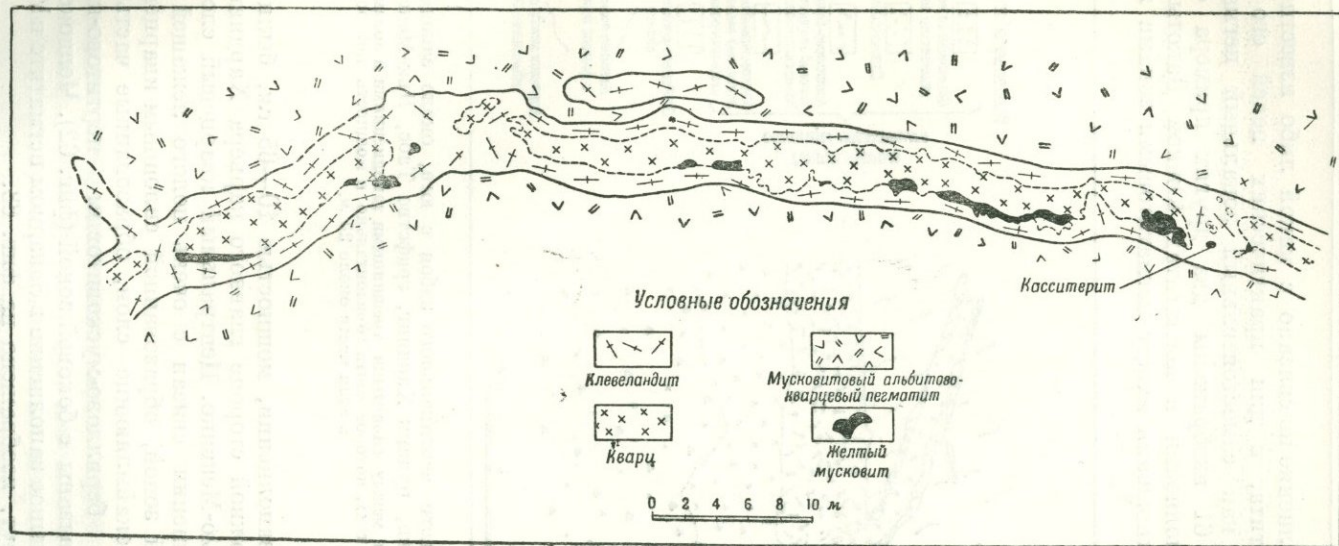
Фиг. 58. Разрез с востока на запад пегматита Хелен-Берилл, графство Кастер, Южная Дакота, показывающий соотношение трещинных заполнений и зон.

Пегматит Плезант-Валли в округе Кастер, Южная Дакота, представляет собой большое линзообразное вертикально расположенное тело, простирающееся на СВ 80° . Оно образовано тонко- и среднезернистым альбитом и кварцем с разбросанными кристаллами пертита, длиной 10—30 см, мусковитом и турмалином. Сильно изогнутое трещинное заполнение, мощностью 40—60 см,



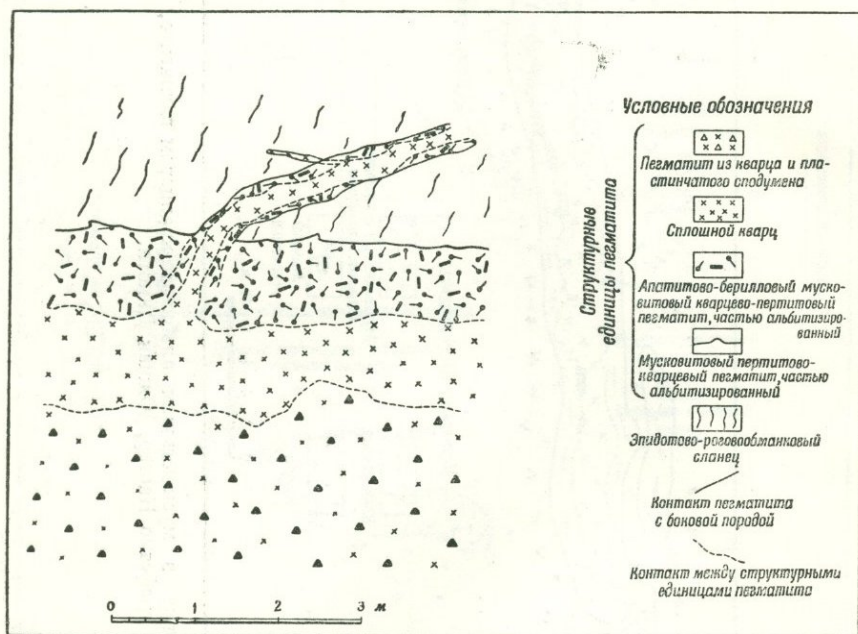
Фиг. 59. Пегматит Плезант-Валли, графство Кастер, Южная Дакота; зональное трещинное заполнение в кварцево-альбитовом пегматите.

падает под углом 50° на северо-восток около центральной части главной массы (фиг. 59). Оно состоит из кварцево-пертитово-альбитовой внешней структурной единицы и из кварцево-пертитового пегматита, образующего внутреннюю единицу. Турмалин, мусковит и берилл встречаются во внешней единице и заполняют промежутки между пертитовыми кристаллами в ядре, где они ассоциированы с тантало-ниобиевыми минералами и фосфатами. Отчётливые трещинные заполнения образуют в западной части тела лежащий бок и часть висячего бока и свидетельствуют о некотором замещении включающего пегматита. Это крупное



Фиг. 60. Слоистое трещинное заполнение в мусковитовом альбитово-кварцевом пегматите, рудник Нью-Йорк, графство Кастер, Южная Дакота.

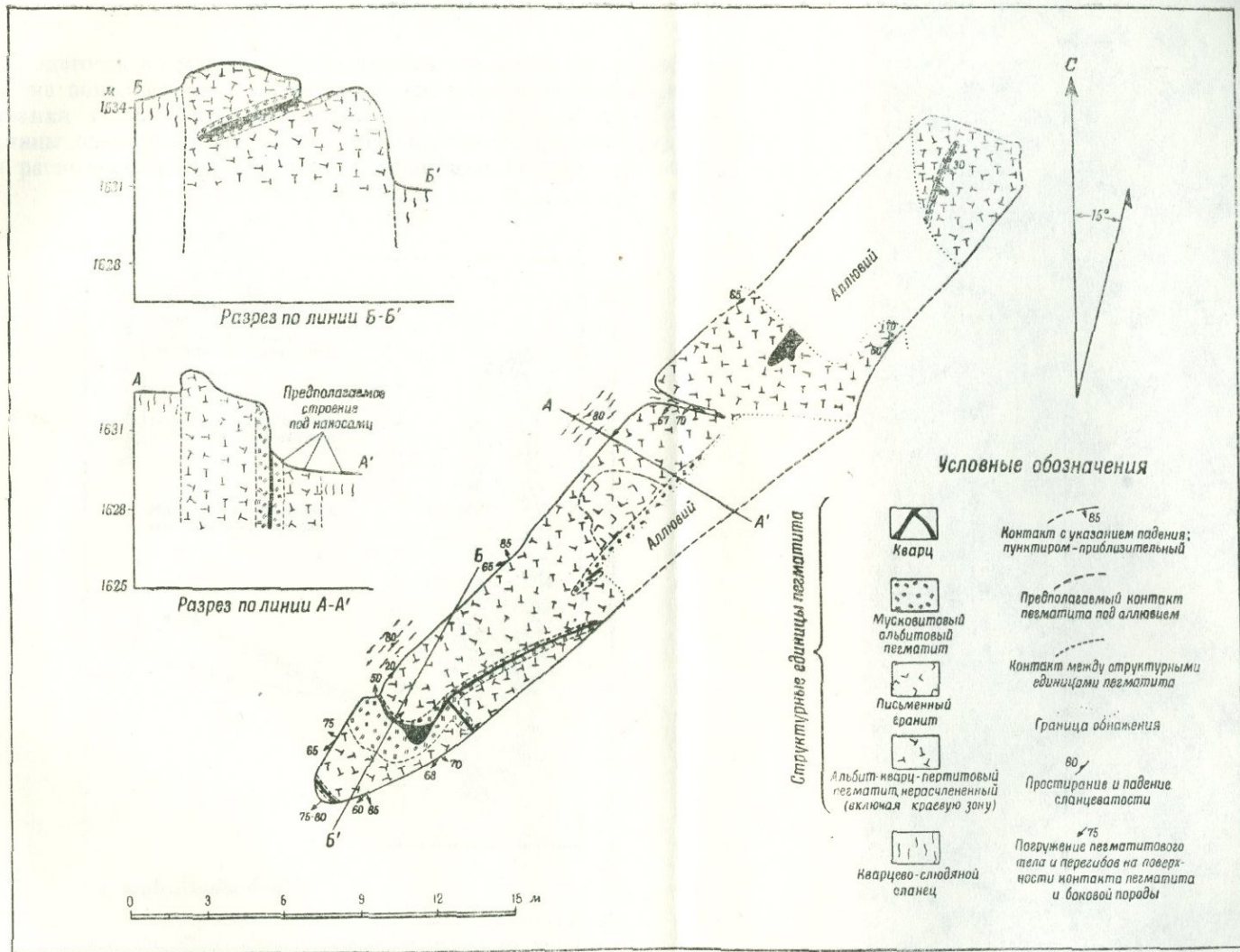
трещинное заполнение не связано с какой либо известной зоной данного пегматита, и для практических целей его следует рассматривать как самостоятельный зональный пегматит. На фигурах 60 и 61 изображены два других примера слоистых трещинных заполнений в пегматитах Южной Дакоты. Отчетливые взаимоотношения между пегматитовыми зонами и слоями



Фиг. 62. План части вертикального забоя с юга, около западного конца главной выработки, рудник Хардинг, графство Таос, Нью-Мексико.

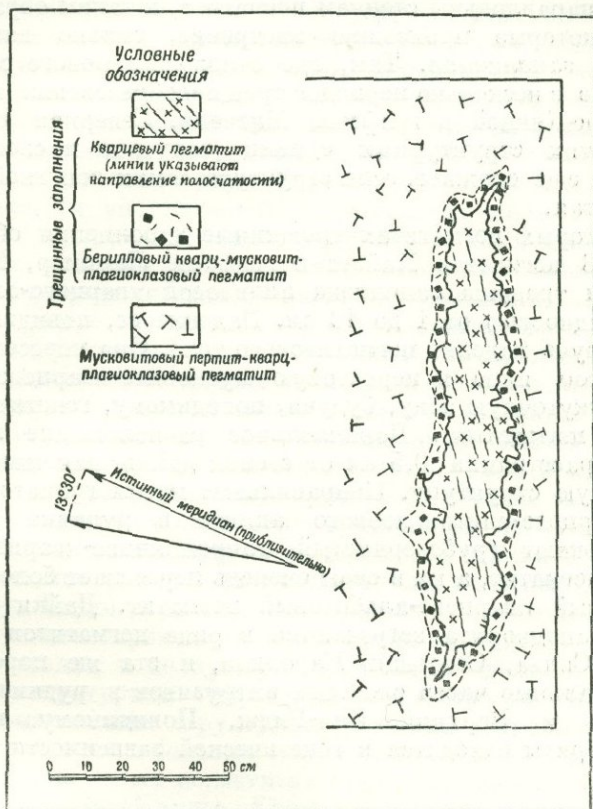
Видны соотношения между слоистыми трещинными заполнениями и зонами в тысячем боку пегматитового тела, которое почти горизонтально и мощность которого достигает в этом месте около 20 м.

в трещинном заполнении, мощностью 10—65 см, были вскрыты в 1943 г. на южной стороне главного карьера Хардинг в графстве Таос, Нью-Мексико. Центральный кварцевый слой в трещинном заполнении связан с очень полого лежащей внешней промежуточной зоной, образованной сплошным кварцем в дайке пегматита, а окаймляющие слои, образованные частью альбитизированным бериллово-мусковитовым пертитово-кварцевым пегматитом, связаны с боковой зоной (фиг. 62). Челнокообразное слоистое трещинное заполнение в Западном пегматите в Миддлтауне, Коннектикут, изображено на фиг. 63.



Фиг. 61. Трещинные заполнения в северо-восточном пегматите Харбач, графство Кастер, Южная Дакота.

Слоистость во многих других трещинных заполнениях не аналогична зональности, а является результатом повторного растрескивания и отложения нового материала. Секущие структурные единицы очень небольшого масштаба являются лучшим средством для распознавания таких слоев. Трещинные заполнения обычно



Фиг. 63. План челнокообразного слоистого трещинного заполнения в Западном пегматите, Миддлтаун, Коннектикут.

секут большую часть или все зоны пегматита, и последовательность их слоев не обязательно соответствует по структуре и минералогическому составу последовательности пегматитовых зон. Обычная последовательность слоев, следуя от боков к центру, в трещинных заполнениях пегматитов, например, в округе Петака на севере Нью-Мексико, такова: а) кварц, б) дымчатый кварц и альбит, в) альбит или кварц, г) кварц, д) дымчатый кварц, тогда как последовательность основной зоны пегматита включает микроклин, кварц

и небольшое количество альбит-олигоклаза. Во многих пегматитах юго-восточных штатов краевые и боковые зоны содержат много кварца и мусковита, отложение которых контролируется трещинами. Небольшие стопки слюды обычно встречаются в кварцевых слоях мощностью от 1 до 7 см. Во многих месторождениях этого типа слои параллельны стенкам пегматита, и таким образом сами зоны, в которые произошло внедрение, сильно напоминают трещинные заполнения. Там, где отложение нового материала происходило в несколько периодов трещинообразования, как в пегматите Мак-Кинней в графстве Митчелл, Северная Каролина, строение этих структурных единиц запутано и сложно. Оно становится еще сложнее, если структура самих зон гнейсовидная или слоистая.

В некоторых пегматитах трещинные заполнения образованы аплитом. В пегматите Хайэтт в графстве Лаример, Колорадо, продольная трещина заполнена аплитовой кварцево-альбитовой дайкой мощностью от 1 до 10 см. Падение ее, повидимому, несколько круче падения пегматитового тела. Она пересекает богатое пертитом ядро и пертитовую мусковито-кварцево-альбитовую промежуточную зону, будучи, повидимому, генетически связанной с пегматитом. Параллельное расположение листочков слюды на расстоянии 0,5 см от стенок дайки напоминает здесь флюидальную структуру. Неправильные массы гранатового мусковито-кварцево-олигоклазового аплита в руднике Мак-Кинней пересекают грубозернистый микроклиново-кварцево-олигоклазовый пегматит, а их в свою очередь пересекает более поздний мусковитовый кварцево-альбитовый пегматит. Дайки тонкозернистого гранодиорита встречаются в ряде пегматитов в округе Франклин-Силва, Северная Каролина, и эта же порода образует центральные части сложных интрузивов в рудниках Мосс, Мак-Крери и Верхний Бил-Ридж. Повидимому, пегматиты и гранодиориты находятся в генетической зависимости [41].

Метасоматические тела

Общие признаки. В литературе о пегматитах Соединенных Штатов и других стран содержатся многочисленные указания на минералы и минеральные агрегаты метасоматического происхождения. Особенно хорошо известны исследования Бьёрликке, Дерри, Жеверса, Хесса, Ландеса и Шаллера, а некоторые пегматитовые структурные единицы в северной Норвегии, центральном Мэне, южной Калифорнии и в других районах стали классическими примерами тел, образовавшихся за счет ранее затвердевшего пегматита. Недавние исследования авторов этой книги и их коллег дополнительно показали, что такие структурные единицы широко распространены. Кроме того, картирование и детальные исследования

показали, что структурные единицы метасоматического происхождения очень редко имеют такую же структуру, как зоны пегматита и трещинные заполнения, и что различия в количестве замещающего материала в телах, которые относятся к группе метасоматических единиц, очень велики.

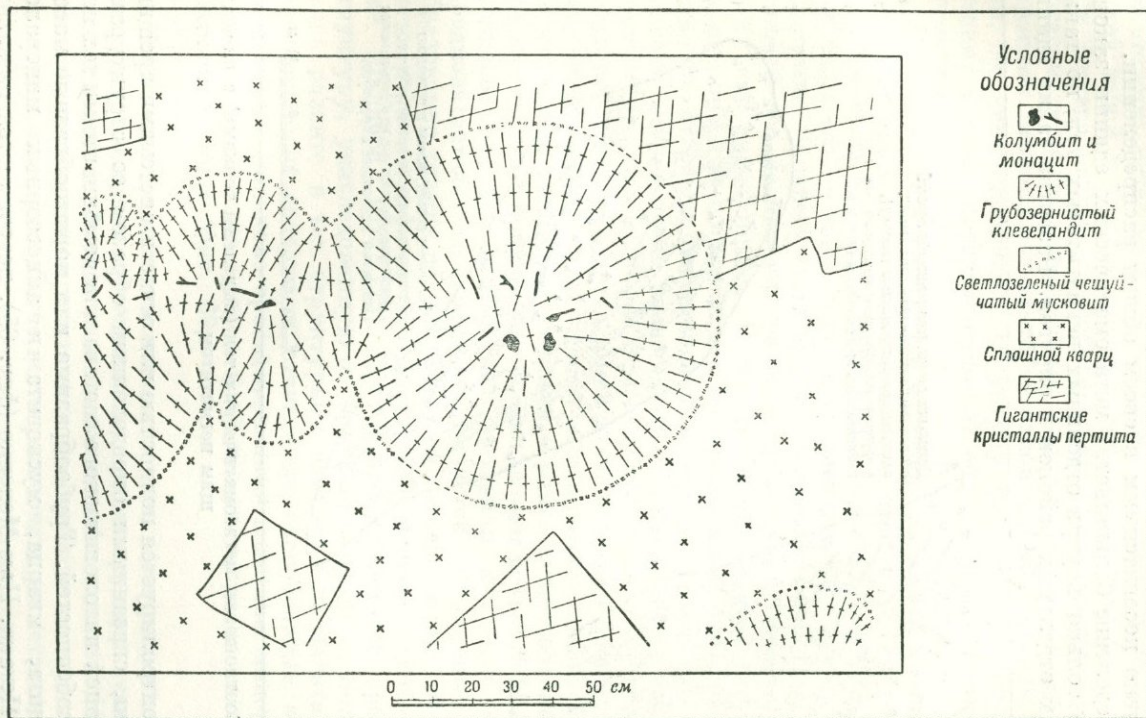
Метасоматические тела в том смысле, как они описываются и рассматриваются ниже, представляют такие литологические и структурные единицы, которые образовались за счет ранее существовавшего пегматита. В каком-либо данном пегматите метасоматическое тело может быть либо продуктом действия растворов, выделившихся из другой части того же пегматита, либо продуктом действия растворов из какого-нибудь источника, находившегося вне пегматита. «Замещение вследствие реакции», включающее коррозию, образование прожилков и замещение зерен минералов во время затвердевания какой-либо зоны пегматита противопоставляется здесь позднему замещению, которое имело место после образования этой зоны. Большей частью при метасоматизме, предшествующем затвердеванию, в пегматите развиваются признаки небольшого масштаба (но зато обычно широко распространенные). Их не всегда легко отличить от признаков, возникших после затвердевания, но это различие имеет большое значение, так как оно важно в генетическом, структурном и практическом отношениях. Поэтому авторы применяют термин «метасоматическое тело» только к структурным единицам пегматита, образованным путем метасоматизма на некоторой стадии после полной кристаллизации частей пегматитового тела, подвергавшегося метасоматизму. Таким образом, этот процесс образования должен соответствовать «промежуточной и низкотемпературной гидротермальной» стадии и по крайней мере концу «дейтерической» или «высокотемпературной гидротермальной» стадиям Шэнда (109).

Метасоматические структурные единицы широко распространены, встречаются в большом количестве и обычно имеют большие размеры в зональных пегматитах округа Петака на севере Нью-Мексико. В Блэк-Хиллсе, Южная Дакота, в некоторых пегматитах, как раз в тех, которые наиболее полно описаны в литературе, встречаются метасоматические тела крупных размеров, а небольшие метасоматические тела присутствуют во многих других пегматитах. Однако во многих пегматитах Нью-Мексико и Южной Дакоты такие единицы в количественном отношении не имеют значения; это касается также большинства таких же единиц в юго-восточных штатах. Единственными заслуживающими упоминания исключениями являются некоторые пегматиты Пидмонта в Виргинии, в которых ясно видны метасоматические структурные единицы. В Новой Англии метасоматические тела в некоторых пегматитах, исследованных во время войны, отчетливо выражены, но вообще они не имеют большого значения в количественном отношении.

Развитие метасоматических тел может контролироваться трещинами, зонами, контактами пегматита с боковой породой или другими структурными и литологическими элементами внутри пегматитовой массы. Метасоматические тела варьируют от тонких прерывистых жилков до почти полных псевдоморфоз по целым зонам или группам зон, достигающих десятков метров мощности и более 150 м длины. Некоторые представлены только разбросанными скоплениями кристаллов вдоль контактов между минералами более раннего образования, и их может быть трудно отличить от типичных продуктов реакции, образовавшихся до затвердевания этих зон. Другие представляют таблитчатые, жилообразные массы, тела в форме челноков или гнезд, прямые или изогнутые линзы, пластообразные или неправильные тела, иные имеют эффектную форму лопастей или вилок цветной капусты и представляют агрегаты с ярко выраженной лучистой структурой (фиг. 64). Конечно, ни одна из этих форм не является сама по себе критерием метасоматического происхождения данной структурной единицы.

В своей простейшей форме метасоматические тела представляют расширенные трещинные заполнения, и имеются все переходы между трещинными заполнениями со слегка корродированными стенками, с одной стороны, и контролируемыми трещинами массами, не обнаруживающими следов первоначальных стенок, — с другой. Во всех этих структурных единицах отношение количества материала, образовавшегося путем метасоматизма, к количеству материала, образовавшегося путем заполнения открытых пространств (пустот), вероятно, изменяется в широких пределах.

Распределение контролируемых трещинами метасоматических тел по отношению к форме пегматитового тела и его зон имеет сходство с тем, что было ранее сказано о трещинных заполнениях. Более сложные тела, обычно связанные с секущими трещинами или системами трещин, имеют более изометрические очертания, чем тела пластообразной формы, и большинство из них проходит через границы двух или более соседних зон. Метасоматические единицы, образованные селективным замещением зон или частей зон, согласны с зональным строением пегматита, и многие из них могут рассматриваться в структурном отношении как некоторые добавочные зоны. Другие образованы селективным замещением особых минералов в зонах. Если идет также селективное замещение особых минералов, то бывает трудно определить, на какой стадии данная структурная единица перестает быть зоной и становится метасоматическим телом. Почти идеальные псевдоморфы по зонам были обнаружены в некоторых пегматитах, где метасоматизм широкого масштаба был фактически ограничен одной единицей. Многие метасоматические тела являются явно секущими. Другие — в грубых чертах залегают согласно, но в деталях пересекают границы зон. Некоторые, хотя и являются согласными,



Условные
обозначения



Колумбит и
монацит



Грубозернистый
клевеландит



Светлозеленый чешуй-
чатый мусковит



Сплошной кварц

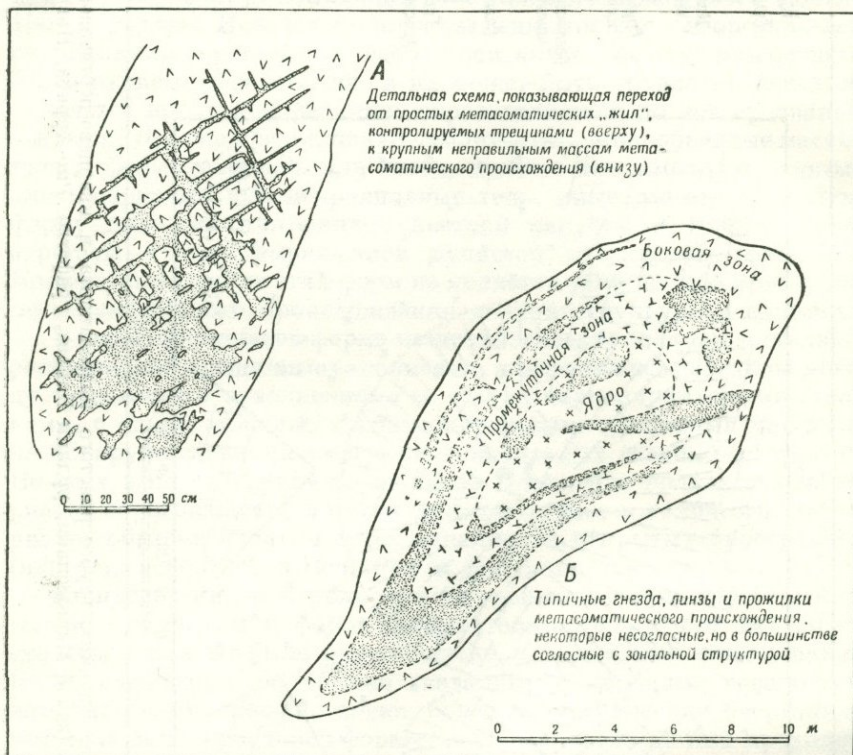


Гигантские
кристаллы пертита

Фиг. 64. Сфероидальные «пучки» грубозернистого клевеландита в кварцево-пертитовом пегматите гигантской структуры (забой Паркьюпайн, рудник Кайава, графство Рио-Арриба, Нью-Мексико).

как это можно наблюдать в некоторых отдельных местах, являются явно несогласными в своем общем распределении.

Распределение большинства метасоматических единиц закономерно не только внутри отдельных пегматитовых тел, но также в пределах отдельных районов и округов. Развитие таких единиц



Фиг. 65. Соотношения метасоматических тел (выделены точками) с вмещающим пегматитом.

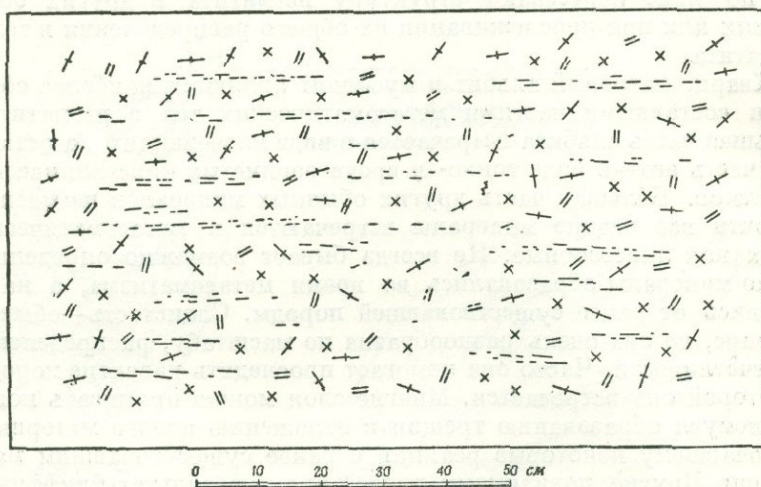
обычно контролируется полностью или отчасти системами трещин, трещинами, связанными определенным образом со структурами зон, разницей литологического состава или комбинациями тех или других особенностей. Трубообразные или корытообразные массы клевеландита, кварца, мусковита и аксессуарных минералов в округе Петака, Нью-Мексико (фиг. 65), погружаются на запад-северо-запад и на запад-юго-запад в соответствии с положениями пегматитовых зон, самих пегматитовых тел и линейных структур в боковой породе. Это замечательное постоянство соотношений открывает большие возможности, если его применять при дальнейших

детальных разведках и разработках таких месторождений. С другой стороны, метасоматизм в некоторых пегматитах ограничивается одной зоной и, повидимому, не связан с какой-либо структурной или минералогической особенностью. В других месторождениях метасоматические структурные единицы, повидимому, следуют строению данного пегматита на одной его обнаженной поверхности, но явно пересекают структуру пегматита в других обнажениях или при прослеживании их общего распределения в телах пегматита.

Кварц, натровый альбит и мусковит являются наиболее обычными составными частями метасоматических тел в пегматитах. Большая часть альбита встречается в виде клевеландита, а остальная часть его—в виде тонко- и среднезернистых кристаллических агрегатов. Большая часть других обычных минералов пегматитов и почти все редкие минералы встречаются в метасоматических телах как аксессуарные. Не всегда бывает возможно определить, какие минералы образовались во время метасоматизма, а какие остались от ранее существовавшей породы. Слоистость—обычное явление, но она очень разнообразна по масштабу, распределению и отчетливости. Часто она помогает проследить развитие породы, в которой она встречается. Многие слои можно приписать повторявшемуся образованию трещин и отложению нового материала, включавшему некоторые реакции с ранее существовавшим материалом. Другие, повидимому, представляют результаты диффузии, особенно там, где замещенный материал довольно однороден. Предполагается, что диффузия является возможным способом образования тонких волнистых слоев граната во многих литиевых пегматитах в графстве Сан-Диего, Калифорния (личное сообщение Шаллера, 1944, [75]). Другой тип слоистости представляет структуру, унаследованную от замещенной породы. Большинство слоев развито в тех структурных единицах пегматита, которые первоначально содержали отчетливые слоеобразные сегрегации минералов, одинаково ориентированные пластины минералов или большое количество кусков и обломков частично растворенной боковой породы (фиг. 66).

Распознавание метасоматических тел. Метасоматические тела распознаются путем изучения и сравнения структур, текстур и минералогического состава различных частей пегматита. На основании этих признаков определяются изменения в минералогическом и в валовом составе. Легче всего распознать те метасоматические тела, которые являются несогласными со строением зон и трещинных заполнений и в которых структуры, текстуры и некоторые минералы явно унаследованы от соседней породы с заметно отличным валовым составом. Метасоматические тела, залегающие согласно с другими структурными единицами, особенно с зонами,

бывает трудно определить, а в некоторых пегматитах на происхождение таких тел указывает только сходство с другими, несогласно залегающими телами. Несогласие само по себе не является критерием метасоматизма, так как большинство трещинных заполнений также залегают несогласно; задача различения трещинных заполнений и метасоматических тел усложняется существованием



Фиг. 66. Грубая слоистость, образованная почти полностью растворившимися полосками слюдяного сланца в метасоматическом теле из мусковитово-квевеландитового пегматита. Забой лежачего бока в месторождении Уайт, графство Рио-Арриба, Нью-Мексико.

тел, образованных частью заполнением трещин, а частью замещением стенок трещин.

Доказательством того, что данная структурная единица является метасоматическим телом, могут служить, как показано в этой книге, достаточные данные, указывающие на то, что: 1) минералы, составляющие ее, образовались в значительной части за счет ранее существовавшего пегматита и 2) материал, подвергшийся замещению, был полностью окристаллизован до начала метасоматизма. Первое обычно гораздо легче установить, чем второе.

Критерии метасоматизма неоднократно рассматривались в литературе (например, [5]). В настоящей книге достаточен краткий обзор критериев, применявшихся при исследованиях пегматитов во время войны. Единственным решающим доказательством метасоматизма являются частичные или полные псевдоморфозы по структурам, текстурам и формам кристаллов. Пегматиты обнаруживают большое разнообразие псевдоморфоз, начиная от таких структурных признаков, как плоскостное расположение минера-

лов, границы зон, слоистость и другие плоскостные структуры зон, до форм кристаллов и рисунка спайности минералов. Сетки жилок со своеобразными неправильными стенками являются удовлетворительным доказательством, особенно если ясно видны различные стадии развития таких сеток. Полезным указанием является также такой случай, когда какой-нибудь минерал встречается в другом вдоль его слабых структурных направлений, если только это не является результатом распада или простого заполнения трещины. «Коррозия» и «заливы» одного минерала в другом являются плохими критериями метасоматизма. Почти все примеры доказательств метасоматизма, кроме псевдоморфоз, представляют только примеры сетей жилок небольшого масштаба с неодинаковыми стенками. Добавочным широко применяющимся критерием является такая неизменная ассоциация какого-либо минерала с другими, о которой известно, что она возникает при метасоматизме. Трудность применения этого критерия заключается в том, что многие пегматиты вскрыты недостаточно, чтобы установить постоянство этой ассоциации.

Доказательством того, что включающая порода совершенно затвердела ко времени образования метасоматического тела, служат факты, указывающие, что между развитием включающей породы и развитием метасоматического тела прошло значительное время. В этом отношении заслуживают внимания три основных типа критериев:

1. Непосредственный подсчет возрастов.
2. Пересечение структур, текстур и минералов.
3. Псевдоморфозы по структурам, текстурам и минералам.

Непосредственное определение возраста производилось во многих районах, главным образом по отношению в радиоактивных минералах свинца к урану или свинца к торию. Результаты тщательных анализов заметно различаются для многих пегматитов, находящихся, повидимому, в явной генетической связи, для различных частей одного и того же пегматитового тела и даже для различных частей кристаллов одного минерала. Некоторые из значительных расхождений можно приписать применению разных методов, другие—анализам различных минералов [1, 11, 32]. Расхождения в определениях возрастов внутри одного пегматита Хесс и Уэллс [43, стр. 19—21, 25—26] и другие считают прекрасным доказательством одной или нескольких стадий метасоматизма, но некоторые исследователи стоят на противоположной точке зрения. По Эллсворту [21], например, различные результаты анализов кальциевого самарскита из Онтарио «показывают в результате, что такие минералы могут иногда не представлять никакой ценности для определения геологического возраста».

Независимо от объяснений кажется очевидным, что существующие способы простого определения возраста не могут широко

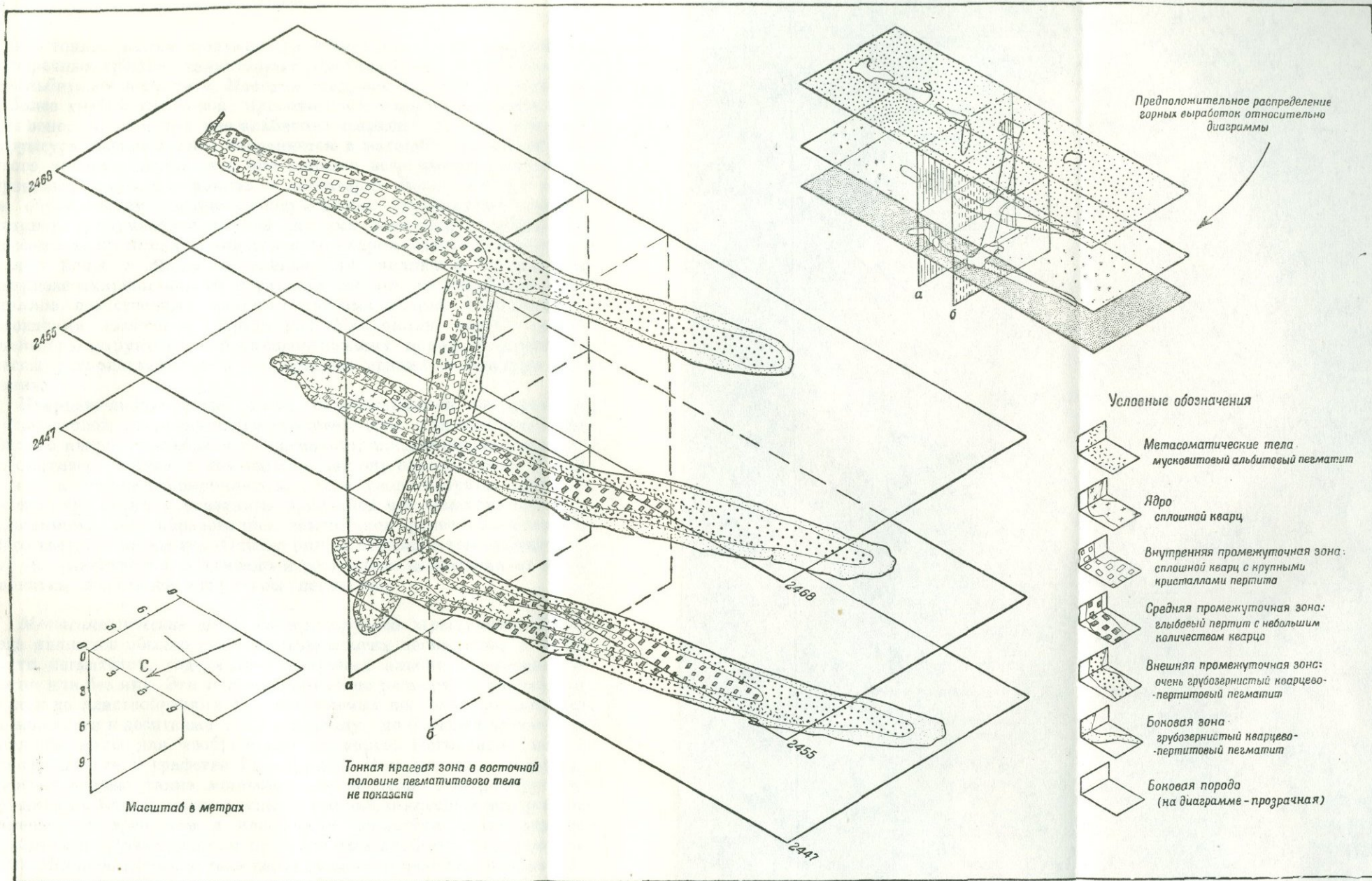
применяться при определении относительных возрастов структурных единиц пегматитов. Подсчеты можно делать только для единиц, содержащих радиоактивные минералы, пригодные для анализов, и кроме того, необходимые анализы весьма дороги и требуют очень много времени.

Различие возраста можно определить по наличию какого-нибудь минерала или группы минералов в телах, пересекающих структуры или текстуры других минеральных ассоциаций. Однако в некоторых пегматитах несогласие метасоматических тел с границами зон и какие-либо другие признаки настолько мало заметны или выражаются в таких крупных масштабах, что их нельзя подметить до детального картирования (фиг. 67). Природа структурных признаков, контролирующих метасоматическое тело, обычно указывает, был ли включающий пегматит уже твердым или нет, когда он подвергся замещению. Если какая-либо метасоматическая структурная единица пересекает две или более последовательно сформировавшихся единиц пегматита и если изучение структур показывает, что пересеченные единицы были в одинаковом физическом состоянии во время деформации, то очень возможно, что обе они были твердыми во время образования метасоматического тела. Если метасоматическое тело контролировалось трещинами, то для того чтобы определить, имело ли место образование трещин в уже твердой или только частью раскристаллизованной породе, нужно опираться на природу трещин и текстурные и структурные особенности их стенок.

Полезным признаком могут оказаться псевдоморфозы. Если метасоматическое тело обнаруживает псевдоморфозы по всей структуре включающей породы, последняя должна была быть уже затвердевшей ко времени замещения.

Несомненно, встречаются промежуточные случаи. Вполне понятно, что во время развития внутренней зоны растворы могли проникать наружу и вызывать развитие метасоматических тел, пересекающих внешние зоны. По направлению внутрь эти тела могут совсем незаметно переходить во внутреннюю зону. Слишком мало пегматитов вскрыто достаточно хорошо, чтобы можно было определить соотношения таких тел с внутренними зонами.

Пегматит Джайант-Волней в Тинтоне, Южная Дакота, поразительно хорошо иллюстрирует трудности, возникающие при попытке точно разграничить структурные зоны пегматита и метасоматические тела. Этот пегматит содержит тела из тонкозернистого сподумена и кварца, достигающие на поверхности 120 м в длину, 12 м по мощности и по меньшей мере 50 м в длину по направлению падения. Эти тела образовались за счет гнейсовой промежуточной зоны из тонкозернистого альбита и небольших линз кварца. Гнейсовая структура сохранилась, за исключением тех мест, где сподумен составляет 75 и более процентов состава породы.



Фиг. 67. Изометрическая плоскостная диаграмма пегматита Лонсом, графство Рио-Арриба, Нью-Мексико, показывающая распределение зон и метасоматических тел.

Очень тонкие жилки сподумена располагаются вдоль мельчайших поперечных трещин, характерных для кварцевых линз в кварцево-альбитовом пегматите. Местами сподумен и кварц развивались в более грубой гнейсовой мусковитовой кварцево-плагиоклазовой зоне, находящейся вне альбитово-кварцевой зоны. Гнейсовая структура внешней зоны сохраняется в материале метасоматического происхождения, и в нем нередко встречаются остаточные мусковит, кварц, плагиоклаз и касситерит. Возможно, что вслед за образованием кварцево-сподуменовых структурных единиц кварцево-сподуменная порода местами замещалась округлыми массами микроклина и аксессуарного кварца. Эти тела достигают 6 м и более в длину и, повидимому, являются сателлитами кварцево-микроклинового ядра. Они состоят из отдельных кристаллов, пересеченных мелкими линзами кварца и массами, не имеющими гнейсовой структуры. Микроклин резко срезает гнейсовую структуру сподуменсодержащих пород, и отдельные массы располагаются под различными углами к текстуре пегматита.

Кварцево-сподуменные тела, образовавшиеся во внешней мусковитовой кварцево-плагиоклазовой зоне и за счет тонкозернистого кварцево-альбитового пегматита, представляют явно метасоматические тела в том смысле, как они определяются в этой книге; а кварцево-микроклиновые тела удовлетворяют двум основным требованиям указанных признаков метасоматических тел: повидимому, они образовались замещением ранее существовавшего твердого пегматита. Однако они не обычны в том отношении, что их развитие тесно связано и составляет значительную часть развития зональной структуры пегматита.

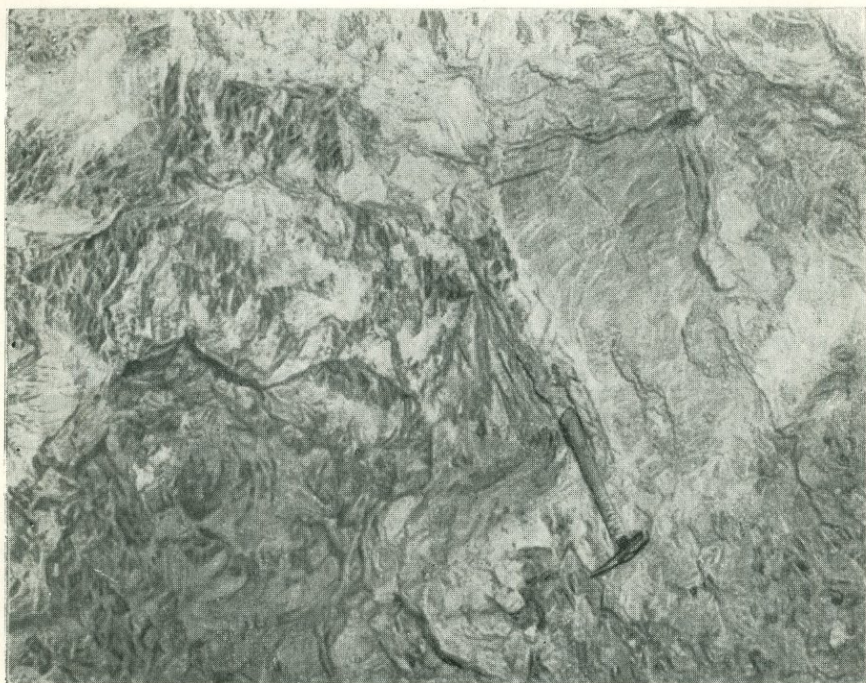
Метасоматические тела, контролируемые трещинами. Такие тела являются обычно особенностью многих пегматитов, в частности пегматитов, содержащих натровый альбит с минералами лития или без них. Эти тела варьируют по размеру от тончайших жилок до пластообразных тел, измеряемых несколькими метрами по мощности и десятками метров в длину, но большей частью они слишком малы для изображения на карте. Пегматиты Глоб и многие другие в графстве Рио-Арриба, Нью-Мексико, содержат многочисленные такие метасоматические тела, контролируемые трещинами. Белый, мясо-красный и кирпично-красный микроклин замещен по трещинам и плоскостям спайности сахаровидным альбитом и грубозернистым пластинчатым альбитом (клевеландитом). Метасоматические тела варьируют от тончайших неправильных жилок до крупных сетей жилок контролируемых спайностью (фиг. 68). Такие же альбитовые жилки пронизывают серый до зеленовато-голубого пертит промежуточной зоны и ядра пегматита Морфилд в графстве Амелия, Виргиния.

В пегматите Девилс-Холл в графстве Фримонт, Колорадо, имеются многочисленные контролируемые трещинами метасоматические тела, образованные телами грубого зеленого «клинчатого» мусковита, окаймленными снаружи плагиоклазом. Они пересекают кварцево-пертитовый пегматит, вскрытый в главной открытой выработке (фиг. 69). Трещины заполнения заняты стопками мусковита со спайностью, параллельной трещинам. В метасоматических телах, примыкающих к трещинам, стопки мусковита имеют спайность, перпендикулярную поверхности трещин. Мусковит из некоторых трещин, повидимому, рос наружу в обоих направлениях, из других трещин—в одном направлении, а в третьих—только заполнял сами трещины. Метасоматические тела достигают 2 м в ширину и 6 м в длину. Такие же контролируемые трещинами мусковитовые тела встречаются во многих кварцево-пертитовых зонах пегматитов в округе Блэк-Хиллс и исключительно хорошо вскрыты в руднике Уайт-Элефант в графстве Кастер.

Пегматит Руби и Барни в Графтоне, Нью-Гемпшир (фиг. 20), содержит богатую мусковитом структурную единицу, состоящую из кварца и плагиоклаза с аксессуарными пертитом, апатитом и турмалином. Она достигает от 0,7 до 4 м мощности и 150 м в длину, располагаясь вдоль висячего бока сброса. Один край ее резко обрывается у сброса там, где стопки мусковита не обнаруживают деформации. На другом краю эта структурная единица постепенно переходит в пегматит, содержащий крупные кристаллы пертита, среднезернистый кварц, плагиоклаз, мусковит и биотит. Постоянство богатой слюдой единицы вдоль сброса и отсутствие деформированных стопок мусковита заставляют считать, что последние образовались замещением после затвердевания пегматита и возникновения сброса в уже образовавшемся пегматите.

В пегматитах Южной Дакоты нередко встречаются турмалиновые слои, параллельные трещинам, обросшим мусковитом. Такие богатые турмалином полосы встречаются на расстоянии 15—40 см наружу от тел трещинных заполнений в пегматите Плезант-Валли, графство Кастер (фиг. 59). Турмалин, повидимому, является единственным минералом, внесенным в пегматит, вмещающий трещинные заполнения.

Контролируемые трещинами метасоматические тела, содержащие берилл, встречаются в некоторых пегматитах Южной Дакоты, Нью-Мексико и Новой Англии. Так, например, пегматит Хардинг в графстве Таос, Нью-Мексико, содержит несколько метасоматических структурных единиц, состоящих из кварца, клевеландита и берилла и образующих штокверки в сплошном кварце (фиг. 70). Некоторые из этих тел, обнаженные по стене карьера, грубо слоисты, с чередующимися неправильными полосами дымчатого кварца, кварца с розовым бериллом и белого клевеландита. Внутренние слои тонко пересекают внешние слои; поэтому слоистость



Фиг. 68. Главный слюдяной столб лежащего бока пегматита Глоуб, графство Рио-Ариба, Нью-Мексико. Крупный кристалл пертита над молотком окаймлен белым альбитом и содержит альбитовые же прожилки; мощные столби мусковита левее частично альбитизированы.

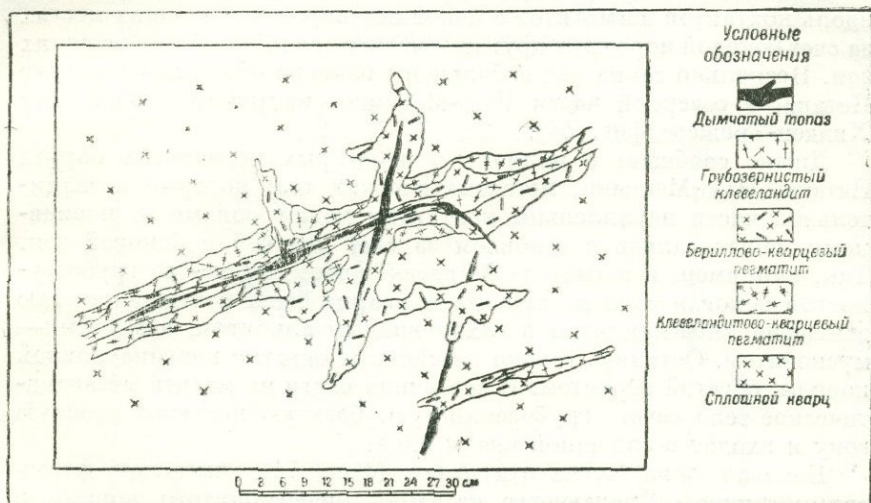


Фиг. 69. Контролируемый трещинами метасоматический плагиоклаз и «клинчатый» мусковит в пегматите Девилс-Хол, графство Фримонт, Колорадо.

Вверху: главная каменоломня, вид с севера; метасоматическое тело за людьми падает направо. *Внизу:* то же обнажение в крупном масштабе, видны стопки мусковита и слои слюды вдоль трещин.

рассматривается как результат повторного образования трещин и внесения нового материала. Общая последовательность образования слоев следующая: 1) альбит, 2) кварц, 3) кварц и альбит, 4) дымчатый кварц, 5) кварц и берилл, 6) альбит, 7) дымчатый кварц.

Некоторые пегматиты содержат метасоматические тела пластообразной формы, позволяющей предполагать развитие их вдоль



Фиг. 70. Детальная карта небольших контролируемых трещинами метасоматических тел. Восточный конец главной каменоломни в горной выработке Хардинг, графство Таос, Нью-Мексико.

трещин, но материал, в котором, возможно, находились трещины, был разрушен во время замещения. Пластообразные агрегаты мусковита, во всем сходные с агрегатами из описанного выше пегматита Девилс-Хол, за исключением того, что здесь не видно никаких трещин, нередко встречаются в богатых пертитом пегматитах Южной Дакоты, Колорадо и Нью-Мексико. Эти пегматиты обычно содержат другие метасоматические тела, явно контролируемые трещинами. В некоторых пегматитах эти тела, богатые клевеландитом и лепидолитом, возможно, были расположены вдоль трещин, которые теперь сгладились.

Другие метасоматические тела. Метасоматические тела, которые нельзя увязать с трещинами, представляют другую группу. Одни из них встречаются вдоль контактов пегматитов с боковыми породами; другие следуют направлению определенных зон или располагаются вдоль границ между зонами или другими структур-

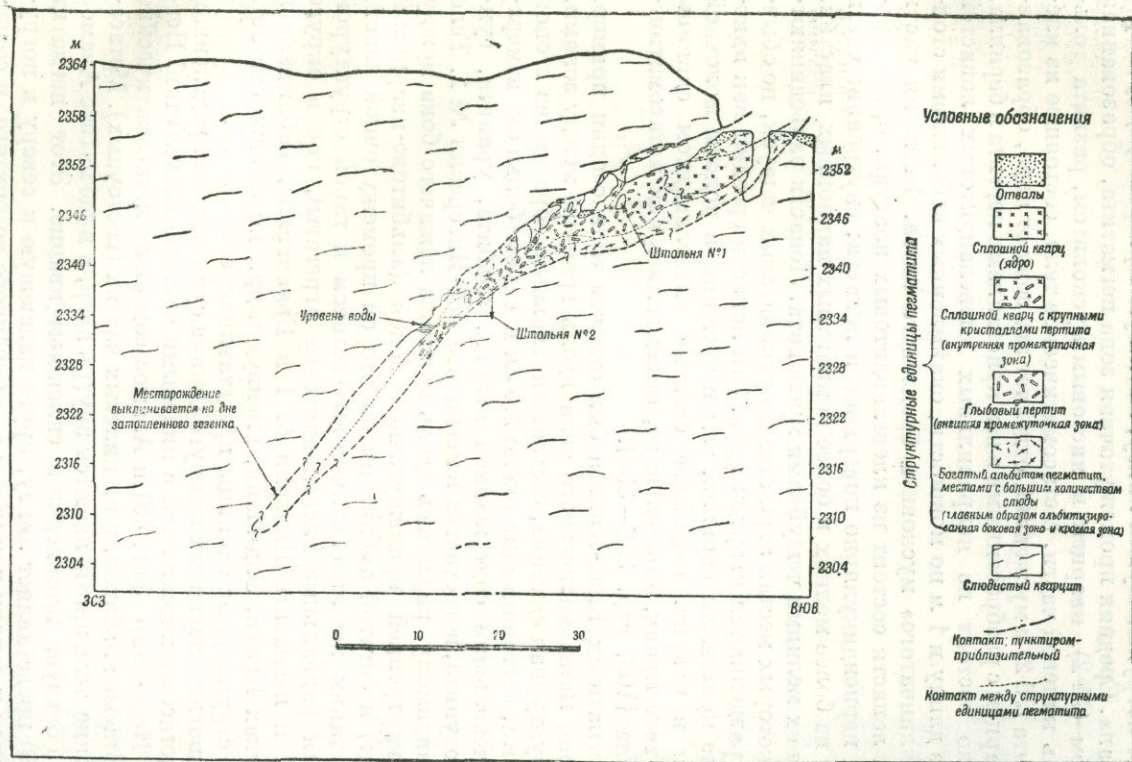
ными единицами; третьи обнаруживают систематическую связь с килевыми частями или гребнями пегматитов. В некоторых пегматитах нахождение метасоматических тел, повидимому, контролируется распределением минералов или агрегатов минералов, способных поддаваться замещению. Еще одна группа включает метасоматические тела, которые не обнаруживают какого-либо структурного, текстурного или минералогического контроля.

Некоторые метасоматические тела, очевидно, развивались вдоль контактов пегматитов с боковыми породами, в одних местах за счет боковой породы, в других—за счет одной или более внешних зон. Несколько таких тел небольшого размера обнажены в округе Петака, в северной части Нью-Мексико, например в пегматите Хидден-Трежер (фиг. 54).

Джанс сообщает о наличии в некоторых пегматитах округа Петака, Нью-Мексико, метасоматических тел, которые в значительной части параллельны контактам между зонами и, повидимому, образовались в основном за счет краевой и боковой зон. Так, например, в пегматите Хидден-Трежер средне- до грубозернистой боковая зона из пертита и кварца была почти полностью замещена клевеландитом и сахаровидным альбитом, а местами— мусковитом. Остались только рассеянные остатки первоначальной породы, богатой пертитом. В восточной части пегматита метасоматическое тело сечет грубозернистую, богатую пертитом краевую зону и входит в сплошной кварц ядра.

Боковая зона пегматита Апач (фиг. 71), имеющая форму асимметричного, падающего на запад, перевернутого корыта, в значительной степени замещена альбитом и мусковитом. Промежуточные зоны, состоящие из сплошного кварца с гигантскими кристаллами пертита и грубого глыбового пертита, местами альбитизированы, и в этих участках контакт между богатым альбитом телом и кварцевым ядром в общем резкий (фиг. 72). Однако в некоторых частях рудника контакт отмечается слоями темного дымчатого кварца, имеющими толщину от 0,15 до 0,8 см. Они чередуются с более мощными слоями клевеландита и настолько правильны и непрерывны, что их рассматривают как результат диффузии. Пегматит Кайава (фиг. 64) в своей килевой части содержит метасоматические тела, богатые клевеландитом, которые тянутся внутрь от краев сегментов ядра или внутренней промежуточной зоны, состоящей из пертита и кварца. Пегматит Пино-Верде (фиг. 73) содержит богатые клевеландитом метасоматические тела по бокам кварцевого ядра. Для этих тел характерны радиальные агрегаты клевеландита до трех метров в диаметре. Ясно, что они образовались путем замещения кварца и пертита ядер, пересекаемых этими агрегатами.

Мак-Нейр сообщает, что пегматит Палермо № 1 в Гротоне, Нью-Гемпшир (фиг. 40), содержит метасоматическое тело, до неко-

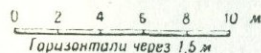
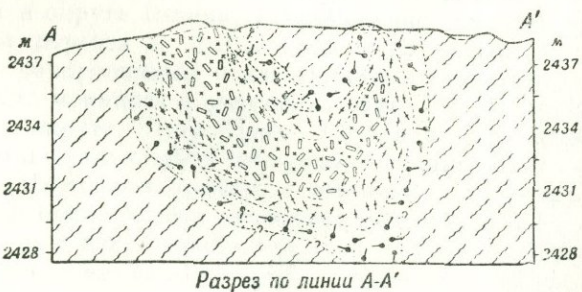
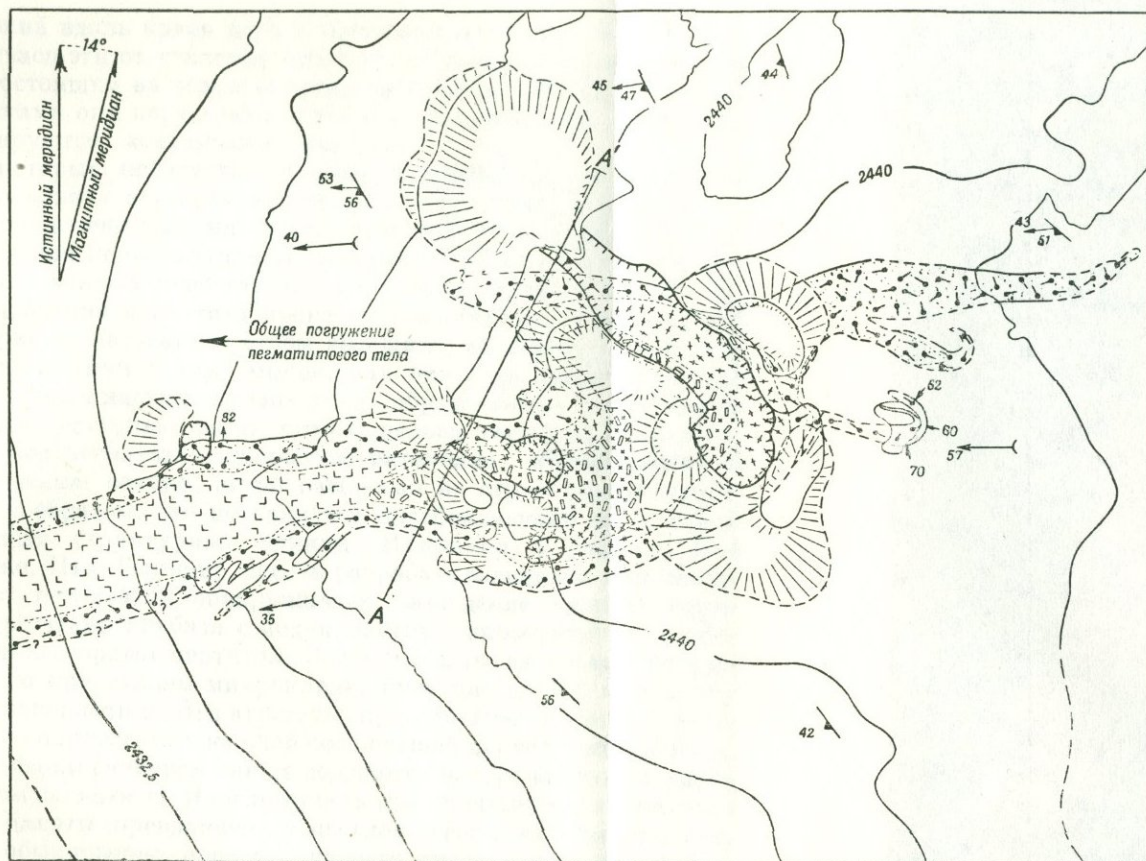


Фиг. 71. Разрез пегматита Апах, графство Рио-Арриба, Нью-Мексико, показывающий соотношение между внутренними зонами и альбитизированными внешними зонами.

торой степени похожее на описанные выше. Этот пегматит представляет погружающуюся линзу, имеющую в разрезе форму широкого овала. Средняя промежуточная зона пегматита, образованная альбитом (№ 2), кварцем и листовым мусковитом, развита только вдоль килевой части. Метасоматическое тело, состоящее из клевеландита (№ 2) и мусковита, отделяет эту зону от ядра, образованного кварцем с разбросанными в нем кристаллами пертита и берилла. Это тело состоит из неправильных клевеландитовых лопастей до 3 м в длину и 1 м по мощности, окаймленных небольшими стопками «клинчатого» мусковита бронзового цвета. Внешняя часть каждой лопасти состоит из клевеландитовых пластин, ориентированных перпендикулярно поверхности лопасти; внутренние части состоят из более мелких и более компактных наклонных пластин, проросших мелкими чешуйками мусковита. Лопастей разъединяются в некоторых местах агрегатами мусковитовых чешуек, но обычно они разделяются кварцем ядра. Эти лопасти срезают как идиоморфные кристаллы берилла, так и трещины и полосы молочной окраски в кварце. Подобные богатые клевеландитом единицы в пегматите Бранч, Коннектикут, описывались как метасоматические тела [108, стр. 336—338].

В пегматитах Блэк-Хиллса был отмечен только один пример, возможно, метасоматического тела вдоль границы между зонами. Эта структурная единица, состоящая главным образом из стопок мусковита, составляющих около 2,5 см в самом большом измерении, с небольшим содержанием кварца, альбита, уранита, гумита и отунита, встречается в пегматите Боб-Ингерсолл № 2. Тело это, повидимому, развилось вдоль контакта лежащего бока между самой внутренней промежуточной зоной (альбитово-кварцевый пегматит) и богатой амблигонитом второй промежуточной зоной. Тела с таким же литологическим составом и такой структурой (включая радиальные клевеландитовые агрегаты), как в округе Петака, и пегматиты Палермо № 1 в Бранчвилле, наблюдались в рудниках Краун, Олд-Майк, Гленвуд и др., но Пейдж считает, что эти структурные единицы представляют собой зоны.

Во многих пегматитах в округе Петака существует определенная связь метасоматических тел с килевыми частями пегматитов. Пегматиты Норт-Стар (фиг. 48) и Аламос содержат метасоматические тела, богатые альбитом, в их килевых частях (восточных). Метасоматические тела протягиваются внутрь ядер, а в пегматите Аламос альбит образует штокверки в сплошном кварце. Этот пегматит (фиг. 39) представляет линзу, круто падающую к северу и погружающуюся к западу под углом от умеренного до крутого, и содержит крупное метасоматическое тело из альбита и мусковита с самарскитом, колумбитом, танталитом, бисмутитом и другими акцессорными минералами. Эта структурная единица лучше всего развита в килевой части пегматита, но тянется на запад в виде двух



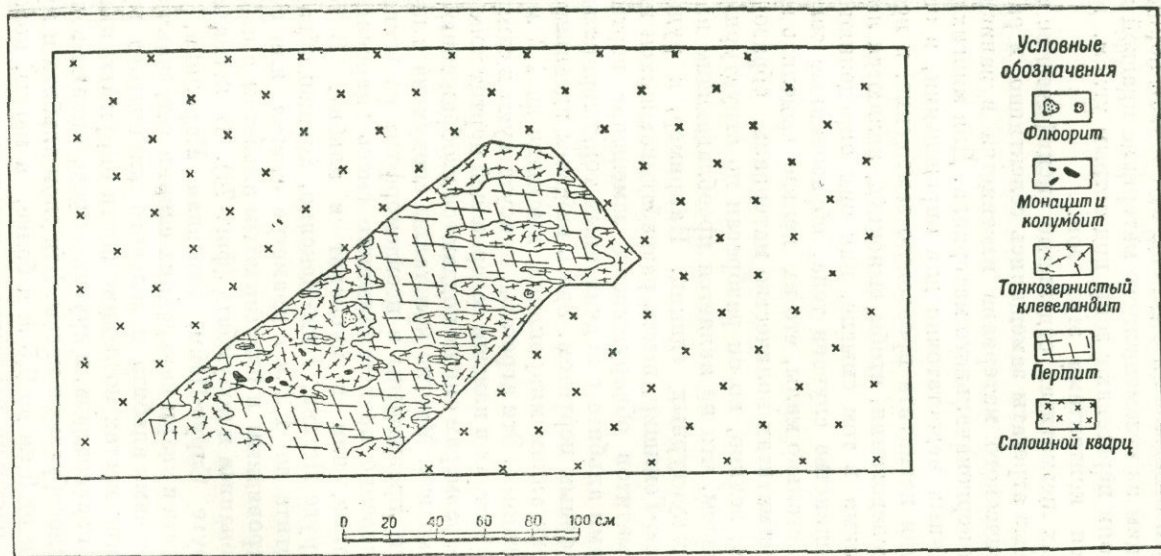
Условные обозначения

- | | | | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------|--|---|---|
| Структурные единицы пегматита | зоны | Метасоматические тела | | Пегматит, богатый альбитом, местами скопления слопок мусковита | с небольшим содержанием альбита и слюды |
| | | | | Клевеландитовый кварцевый пегматит | |
| | | | | Сплошной кварц с крупными кристаллами пертита (ядра) | |
| | | | | Очень грубозернистый пертит, богатый письменным гранитом (промежуточная зона) | |
| | | | | Грубозернистый кварцево-пертитовый пегматит (боковая зона) | |
| | | | | Тонко-до среднезернистого кварцево-пертитовый пегматит (краевая зона) | |
| | Слюдистый кварцит (структура показана на разрезе) | | | | |
| | | | | Простирание и падение сланцеватости с указанием поворухения и линейности, еде она видна | |
| | | | | Поворухение осей мелких складок | |
| | | | | Контакт с указанием падения; пунктиром - приблизительный | |
| | | | | Контакт между структурными единицами пегматита | |
| | | | | Контур выработки или копи | |
| | | | | Отвалы | |

Фиг. 73. Геологическая карта и разрез пегматита Пино-Верде (Луна), графство Рио-Арриба, Нью-Мексико, показывающие богатые альбитом метасоматические тела, окаймляющие корытообразное ядро.

ответвлений вдоль краев ядра и промежуточных зон. В большинстве случаев эти ответвления отделены от боковой породы тонким слоем, состоящим из незамещенного материала краевой и боковой зон. Местами они пересекают зоны под острым углом, вообще же контролируются контактами этих зон.

В некоторых пегматитах отдельные специфические минералы или минеральные агрегаты замещались селективно, и распределение метасоматического материала изменяется в зависимости от распределения первоначального материала. Для многих таких тел имеющихся данных недостаточно для определения, в какую стадию образования пегматита произошло замещение, и необходимы дальнейшие исследования, чтобы выяснить, являются ли эти тела метасоматическими в том смысле, как они определяются в этой книге. В большинстве случаев тела, образованные селективным замещением, настолько малы, что их нельзя выделить на картах. В некоторых пегматитах количество материала, образовавшегося при замещении, велико, но он разбросан по структурным единицам таким образом, что не является преобладающим ни в одной из крупных структурных единиц. Например, в руднике Киз в Орандже, Нью-Гемпшир, шесть разрабатывающихся или разведываемых пегматитов обнаруживают замещение пертита пористыми агрегатами альбита с подчиненным тонкозернистым мусковитом и аксессуарным пертитом. Здесь найдены идеальные псевдоморфозы по кристаллам микроклина, имеющие до 1,2 м в длину и 0,5 м в поперечнике. Эти агрегаты присутствуют в самых разнообразных количествах в каждой содержащей пертит зоне пегматитов, но по своим размерам они не поддаются изображению на карте ни в одном пегматите. Многие кристаллы сподумена в пегматитах Южной Дакоты превращены в псевдоморфозы из «гнилого сподумена», обыкновенно представляющего смесь гидрослюд и глинистых минералов, или в мусковит и альбит. В пегматите Фритленд в округе Петака, Нью-Мексико, хорошо образованные кристаллы пертита до 1,2 м в диаметре слегка или полностью замещены сахаровидным и пластинчатым альбитом с небольшими кристаллами монацита и колумбита (фиг. 74). В пегматите МакКинни в округе Спрус-Пайн, Северная Каролина, крупные кристаллы пертита и кварц внутренних единиц встречаются сопровождаемые фестонами альбита и зеленого клинчатого мусковита (фиг. 75). В одних местах последние почти окружают яйцевидные массы кварца и плагиоклаза, в других—представляют волнообразно изогнутые, слоеобразные массы. Эти слои альбита и мусковита имеют мощности от 5 см до 0,5 м и более, а массы, которые они полностью или частично заключают, достигают 5 м в диаметре (в среднем 0,75 м). Некоторые из плагиоклазово-кварцевых тел, очевидно, образовались путем замещения гигантских кристаллов пертита, другие—замещением пертитово-кварцевых или



Фиг. 74. Кристалл пертита, частично замещенный сахаровидным клевеландитом в пегматите Фритленд, графство Рио-Арриба, Нью-Мексико.

плагноклазово-пертитово-кварцевых агрегатов, третьи не содержат распознаваемого остаточного материала. Как указанные фестоны, так и яйцевидные массы образуют структурный рисунок, отличный от структурного рисунка зон этого месторождения, и, несомненно, являются метасоматическими телами в том смысле, как мы их здесь определяем.

В ряде пегматитов встречаются метасоматические тела, располагающиеся без определенных отношений к структурным, текстурным или минералогическим признакам. Некоторые из изученных пегматитов содержат неправильные структурные единицы, образованные существенно клевеландитом, клевеландитом и кварцем или мусковитом и кварцем, которые пересекают границы между зонами или спорадически встречаются в отдельных зонах. Кварцево-мусковитовые массы в пегматите Бичер-Лоуд и в других пегматитах Южной Дакоты содержат неправильные массы мусковита и кварца внутри зон или пересекающие зоны. Эти массы возникли, по видимому, после образования заключающих их структурных единиц, и их с известной осторожностью можно также отнести к метасоматическим телам. Кварцево-лепидолитовые массы, достигающие 1 м в диаметре, которые встречаются в пегматите Стрикленд-Кramer в Коннектикуте, распределяются совершенно беспорядочно, если не считать того обстоятельства, что они ассоциируются с клевеландитово-кварцевым пегматитом метасоматического происхождения. Несомненно, что многие метасоматические тела, беспорядочно распределяющиеся в пегматите, связаны с такими признаками включающего их пегматита, которые исчезли или скрыты в процессе замещения. Факторы, контролирующие распределение других, может быть, остаются неизвестными вследствие недостатка убедительных обнажений.

Происхождение структурных единиц пегматитов

Общие положения. Исследования, произведенные в военное время, доставили много сведений о происхождении структурных единиц пегматитов, и представляется желательным разобраться в некоторых данных и изложить те выводы, которые из них можно сделать. Авторы сознают, что загадка происхождения пегматитов еще далека от разрешения. Необходимо детальное изучение изменений, происходящих в минеральном составе в связи с зональной структурой, надо сопоставить последовательность парагенезисов с развитием внутреннего строения пегматитов, и должен быть сильно пополнен имеющийся сейчас скудный запас физико-химических сведений, прежде чем можно будет сформулировать вполне приемлемую теорию происхождения пегматитов. В то же время, однако, нельзя игнорировать большое количество данных, которые получены при изучении их строения. Цель настоящего рассмотре-

ния состоит в том, чтобы указать на характерные признаки зональных пегматитов, невольно обращающие на себя внимание, как это показали исследования их во время войны, и представить гипотезу относительно их происхождения, которая, насколько это сейчас возможно, увязывала бы эти особенности с другими имеющимися сведениями о пегматитах.

Рассматривая проблему происхождения пегматитов, нужно постоянно помнить, что трещинные заполнения и метасоматические тела характерны тем, что они образуют структурный рисунок, как бы накладывающийся на более раннее зональное строение. Таким образом, структурные единицы пегматита, естественно, распадаются на две большие группы: одну—состоящую из зон, другую—из трещинных заполнений и метасоматических тел. Эти подразделения не всегда резко очерчены, так как в каком-либо данном пегматите обе группы могут переходить одна в другую уже во время их образования. Тем не менее, так как большинство трещинных заполнений и метасоматических тел, повидимому, развились после завершения образования зональной структуры и так как даже те из них, которые развились одновременно с внутренними зонами и все же являются более молодыми, чем вмещающие их части пегматитового тела, то разделение на указанные две группы осуществимо постольку, поскольку мы можем принимать во внимание возможные случаи перекрытия разных образований.

Две большие группы структурных единиц пегматита нельзя точно сопоставить со стадиями его развития, которые намечались прежними исследователями. До сих пор эти стадии соотношались в значительной степени на основании изучения соотношений минералов, а развитие минералов не всегда рассматривалось с точки зрения соответствующих структурных единиц. Однако в общем и другими исследованиями различались две основные стадии: 1) ранняя стадия, которую рассматривали как магматическую [12, 101, 105, 107, 58, 61, 63, 44] или эпимагматическую [30], и 2) более поздняя стадия, которую рассматривали как гидротермальную [101, 105, 107, 58, 59, 63], как пневматолитическую¹ [44] или как ту и другую [12, 23, 30]. Ранняя стадия может включать как эпимагматическую, так и пегматитовую стадии Ферсмана [23]. Поздняя стадия разделяется различными авторами на семь подстадий, начиная от пневматолитической до низкотемпературной гидротермальной.

Явления замещения минералов допускаются некоторыми авторами в обеих стадиях [30], но именно для последней стадии характерны трещинные заполнения и метасоматические замещения пред-

¹ Хесс не пользуется термином «пневматолитическая»; он указывает (стр. 298), что «неизвестно, являются ли эти растворы жидкостью или газом, но я думаю,—прибавляет он,—что трудно считать их за что-либо иное, чем газ».



Фиг. 72. Альбитизация пегматита Апач, графство Рио-Арриба, Нью-Мексико.

Вверху: альбитизированная кварцево-микроклиновая боковая зона (белое в центре) между слоистым кварцитом (слева) и сплошным кварцевым ядром (справа); забой в конце штольни № 2. *Внизу:* слои дымчатого кварца в виде фестонов (темное) и грубый клевеландит (светлое); штольня № 1; большая часть забоя — сплошной кварц (серое); альбитизированная боковая зона выработана слева сверху.



Фиг. 75. Западный бок главной каменоломни Мак-Кинней, графство Митчелл, Северная Каролина. Виден богатый плагиоклазом «шар», окаймленный столками «клинчатого» мусковита. Сплошной кварц внизу содержит крупные кристаллы пертита. Следует обратить внимание на диагональные трещинные заполнения выше и ниже человеческой фигуры.

существовавшего пегматита, доходящие в некоторых пегматитах до того, что ранее образовавшиеся строение и литологические структурные единицы почти стираются. Является ли образование зон магматическим или каким-либо иным процессом, оно, повидному, вообще относится к ранней стадии, выделяемой другими исследователями, а образование трещинных заполнений и метесоматических тел — к более поздним. Наблюдения авторов настоящей работы и их коллег подтверждают, таким образом, заключение других исследователей о том, что в развитии пегматитов можно различать две главные стадии, но как будто ясно, что в некоторых пегматитах эти две группы перекрывают друг друга. Из произведенных исследований, однако, очевидно, что в некоторых пегматитах более ранняя стадия является более сложной, чем это вообще признавалось, и что происхождение зон, являющихся главными структурными единицами, которые развиваются в раннюю стадию, составляет не только одну из основных проблем генезиса пегматитов, но имеет также большое практическое значение, особенно потому, что зоны и в количественном и в экономическом отношении гораздо важнее других структурных единиц пегматита.

Происхождение зон. Выше нами были рассмотрены характерные признаки зон и зональных пегматитов. Существует много разновидностей в деталях, тем более если переходить от одного района к другому, но следующие особенности как будто являются основными характерными чертами зональных пегматитов:

1. Зональные пегматиты состоят из последовательных оболочек, полных или неполных, располагающихся концентрически по отношению к самой внутренней зоне или ядру. Разные зоны различаются по минералогическому составу или по структуре, или и по тому и другому признаку.

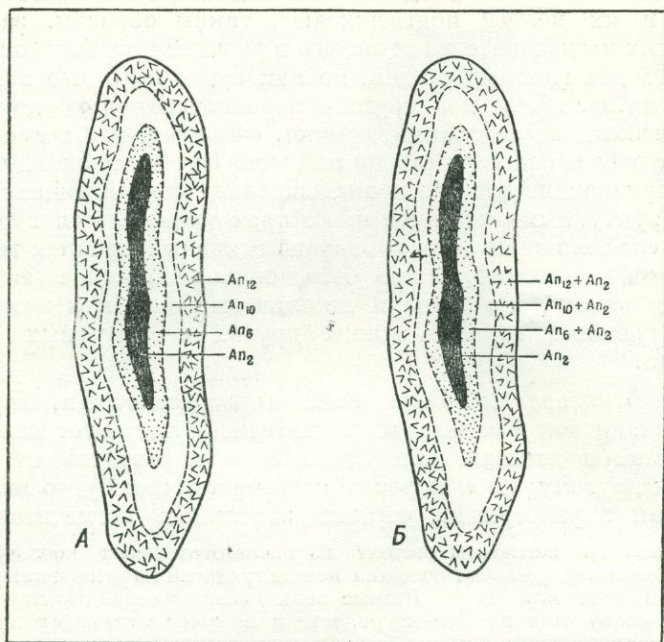
2. Границы между зонами бывают или с постепенными переходами, или резкие. Постепенный переход большей частью происходит в интервале шириной от двух или меньше сантиметров до полутора и более метров.

3. Материал, слагающий какую-нибудь внутреннюю зону, может пересекать внешнюю зону или замещать некоторую часть внешней зоны. Обратного явления не бывает.

4. Зональные пегматиты обнаруживают определенную последовательность минеральных ассоциаций при переходе от стенок пегматитового тела внутрь, к ядру. Общая (обобщенная) последовательность преобладающих минеральных ассоциаций представляется в таком виде:

- 1) плагиоклаз-кварц-мусковит
- 2) плагиоклаз-кварц
- 3) кварц-плагиоклаз-пертит ± мусковит ± биотит
- 4) пертит-кварц
- 5) пертит-кварц-плагиоклаз-амблигонит-сподумен
- 6) плагиоклаз-кварц-сподумен
- 7) кварц-сподумен
- 8) лепидолит-плагиоклаз-кварц
- 9) кварц-микроклин
- 10) микроклин-плагиоклаз-литиевые слюды-кварц
- 11) кварц.

Последовательность минеральных ассоциаций почти во всех исследованных зональных пегматитах соответствует этому порядку. Ни один пегматит не содержит всех членов этого ряда ассоциаций, но в общем всюду, где присутствуют различные ассоциации минералов, они встречаются в той же самой последовательности, как соответствующие им ассоциации в их общем ряду. Отклонения от этой общей последовательности являются исключениями. В очень немногих изученных пегматитах присутствуют другие ассоциации минералов, но добавление их к написанному ряду усложнило бы



Фиг. 76. Типы изменений содержания аортита в плагиоклазе от боковой зоны к ядру в зональном пегматите.

данную выше последовательность непропорционально их значению. В некоторых пегматитах какая-либо данная литологическая ассоциация встречается в двух местах этого ряда, в других—две или более минеральных ассоциаций накладываются одна на другую, а в некоторых—минералогический состав данной ассоциации несколько отличается от нормы. Однако в целом последовательность минеральных ассоциаций обнаруживает в общем замечательное приближение к единообразию.

5. Члены 4—11 указанного ряда в общем отвечают парагенетической последовательности минералов, отмеченной для гранитных пегматитов (как это определил Шаллер в 1933 г.) некоторыми прежними исследователями. Однако многие пегматиты содержат члены 1—3 ряда между членом 4 и боками жилы. Члены 4—11 целиком или частью отсутствуют во многих из этих пегматитов.

6. Минералогически члены 1—3 ряда характеризуются плагиоклазом и мусковитом. Плагиоклаз здесь обыкновенно колеблется по составу от андезина до среднего альбита в противоположность более натриевому альбиту, встречающемуся в членах 5—10 этого ряда.

7. В некоторых зональных пегматитах имеет место систематическое изменение в содержании анортита в плагиоклазе от зоны к зоне по типу, указанному в пегматите А, фиг. 76. Для содержания анортита характерно убывание от стенок пегматитового тела внутрь; обратных соотношений не встречалось.

8. Однако в некоторых пегматитах в определенных зонах присутствуют два рода плагиоклаза: или в виде отдельных кристаллов, или в виде зональных кристаллов. Насколько известно, в этих случаях изменения состава бывают того рода, как это показано в пегматите Б, фиг. 76. Здесь мы имеем то же самое, что в пегматите А, но с тем исключением, что внешние зоны из более известковистого плагиоклаза сопровождаются более натровым альбитом. Обратных соотношений не встречалось. Подобным же образом имеют указания на систематическое возрастание щелочей в берилле с переходом от зоны к зоне по направлению внутрь от стенок пегматита. Есть также указания на возрастание по направлению внутрь жилы содержания лития в слюдах и Ta_2O_5 в колумбит-таунталите. Однако для того, чтобы ясно установить изменения в составе минералов в связи с зональным строением, нужна еще значительная дальнейшая работа.

9. Замещение одного минерала другим в пределах какой-либо зоны может быть установлено по структурным соотношениям между этими двумя минералами.

Указанные признаки, повидимому, являются особенно характерными для зон и зональных пегматитов, и попытки авторов сформулировать гипотезы о происхождении зон концентрируются вокруг этих признаков. Предполагают три возможности происхождения зон:

1) Развитие кристаллизации пегматитовой магмы *in situ*. Пегматитовая жидкость была инъецирована в некоторую полость и подвергалась фракционной кристаллизации. Реакция между кристаллами и остаточной жидкостью является несовершенной, и на стенках отлагаются последовательные накопления кристаллов, пока не будет ими заполнено все пространство. В результате получаются последовательные зоны различного состава. Эти зоны развиваются в таких условиях, которые могут быть названы «ограниченно-замкнутой» системой. Система эта замкнута в том отношении, что к ней ничто не прибавляется из источника пегматитовой жидкости за время от начала инъекции до конца развития зон; но она является открытой настолько, что из нее может удаляться вещество во время кристаллизации и могут иметь место реакции между пегматитом и его стенками.

В числе тех авторов, которые по разным причинам пришли к заключению, что зоны развились частью или полностью из магматического раствора *in situ*, были Брэггер [12, стр. 230], Кросби и Фуллер [18, стр. 157], Уоррен и Палач [119, стр. 146], Кемп [53, стр. 708, 722], Ландес [62, стр. 388] и Шауб [111].

2) Развитие путем последовательного отложения в открытой системе. Пространство, занятое зональным пегматитом, представляет часть канала, по которому проходили пегматитовые растворы. Прогрессирующие изменения температуры, давления и состава раствора являются причиной отложения последовательных слоев различного состава. Эта теория с разными видоизменениями поддерживалась некоторыми геологами, из которых надо упомянуть Андерсена [2] и Квирке и Кремерса [98].

3) Развитие в две стадии: а) магматическая или эпимагматическая стадия, во время которой пегматитовые растворы были инъецированы и кристаллизовались в виде массивного пегматита [или аплита] в ограниченно-замкнутой системе, и б) гидротермальная стадия (или пневматоли-

тическая и гидротермальная стадии), во время которой последовательное замещение в открытой системе вызывали растворы, проходящие через пегматит. Если эти растворы двигались вдоль стенок пегматитового тела, то в результате могло произойти периферическое замещение пегматита, создающее структурную единицу, облекающую ядро незамещенного пегматита. Дальнейшие волны замещения могли дать в результате пегматит, состоящий из нескольких оболочек.

Эта гипотеза представляет приспособление и расширение некоторых теорий образования пегматитов, поддерживаемых с начала этого столетия Галлином [29, стр. 27], Шаллером [101, 105, 107], Жеверсом [30, 31], Бюрликке [8, 9] и др.

Гипотеза Успенского [118] относительно происхождения зональных структур в некоторых забайкальских аплитово-пегматитовых дайках представляет комбинацию черт всех трех указанных гипотез. Он рассматривает две зоны пегматитового материала, присутствующие в теле пегматита, как результат частичной перекристаллизации аплитовых дайк, происходящей симметрично по отношению к средней части дайки. Эта часть, по крайней мере частично, оставалась открытой после кристаллизации аплита и служила каналом для циркулирующих растворов. Но так как эти растворы как будто бы рассматриваются как остаточные от кристаллизации аплита [118, стр. 441], то, повидимому, Успенский не имеет в виду открытую систему в обычном, петрологическом смысле слова.

Оценивая признаки зон с точки зрения трех указанных способов образования пегматитов, представляется очевидным, что эти признаки имеют неодинаковое значение. Как постепенные, так и резкие границы могут возникать при любом из трех способов происхождения. Подобным же образом не имеет особого значения и тот факт, что внутри какой-либо зоны один минерал может замещать другой. В ограниченно-замкнутой системе взаимодействие между кристаллами и остаточной жидкостью может происходить на любой стадии, и вызванные этим структурные соотношения могут оказаться неотличимыми от тех, которые возникают при гидротермальном замещении в открытой системе.

Концентрическое строение само по себе также не является каким-либо указанием на способ образования. Концентрические структурные единицы могут быть образованы как благодаря фракционной кристаллизации в замкнутой системе, так и в результате последовательного гидротермального замещения в массивном пегматите (или аплите) в открытой системе. Авторы, однако, думают, что вероятность того, что концентрическое расположение является результатом последовательных стадий отложения и замещения в открытых каналах, невелика. Если бы зоны имели такое происхождение, то при каком же процессе в пегматитах достигалось полное развитие внутренних, более поздних зон, когда уже было закончено образование внешних, более ранних зон? По своему

строению наиболее полно вскрытые выработками камеры¹ пегматитов не похожи на открытые каналы; и действительно, по крайней мере в некоторых пегматитах видно, что каналы, подходящие к камерам, должны были быть фактически закрыты на ранней стадии образования внешних зон пегматита. К сожалению, только немногие пегматиты вскрыты настолько полно, что можно видеть, являются ли зоны, развивающиеся в камерах, вполне замкнутыми и отделенными от источника пегматитовой жидкости или нет. Кроме того, надо еще объяснить присутствие вторичной сланцеватости смятия и мелких складок в боковых породах, по соседству с некоторыми зональными пегматитами. Положение этих структурных признаков, повидимому, указывает на то, что многие зональные пегматиты были инъецированы под давлением. Трудно примирить такую инъецию под давлением с существованием открытых каналов. Однако можно допустить видоизменение подобного механизма, как оно рассматривалось Андерсеном [2, стр. 30—33]. Если имеется местный быстро падающий градиент давления, обусловленный сужением канала, через который вытекают пегматитовые растворы, то стенки канала перед сужением могли подвергаться их механическому воздействию и могли получиться структуры, неотличимые от структур, возникающих при инъеции под давлением.

Характерные признаки границ зон, явления замещения и концентрическое строение являются признаками, заслуживающими того, чтобы их здесь отметить; но еще более замечательным является тот факт, что материал какой-либо внутренней зоны может проникать наружу по трещинам во внешнюю зону и даже за пределы ее в боковую породу, тогда как обратного явления не бывает. Также важным обстоятельством представляется то, что тогда как какой-нибудь минерал внутренней зоны может замещать минерал внешней, обратных случаев не бывает. Там, где в пегматитах присутствует несколько разновидностей какого-либо минерала, это правило выдерживается по отношению к каждой разновидности. Все эти признаки, повидимому, указывают, что зоны развиваются последовательно от стенок внутрь. На это же указывают, как кажется, и имеющиеся данные об изменении минералов с переходом от одной зоны к другой. В соответствии с общепринятым представлением, что образование пегматита происходит при падающей температуре, плагиоклаз с относительно высоким содержанием анортита должен образовываться первым, а позднее — плагиоклаз, все более и более богатый натрием. Так как в тех пегматитах, где обнаруживается изменение состава плагиоклаза, содержание

¹ Термином «камера» пегматита в настоящей работе называется только та часть земной коры, которая теперь занята данным пегматитовым телом.

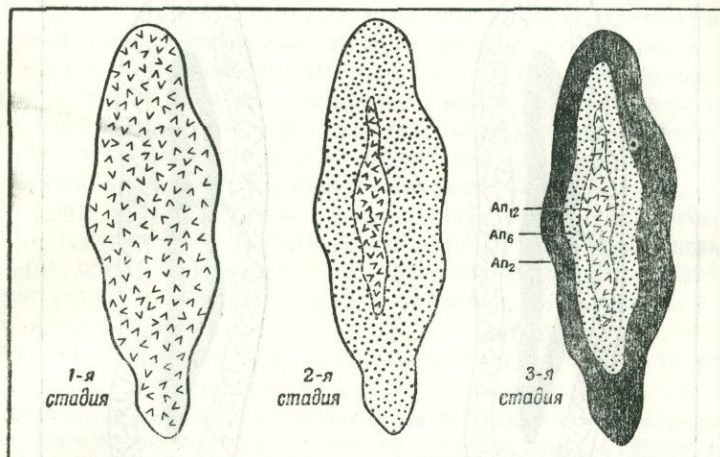
анортита от внешней зоны к более внутренним заметно убывает, то, повидимому, пространственное расположение зон от стенок внутрь вместе с тем отвечает хронологическому порядку их образования.

То же заключение подсказывает и соответствие между литологической последовательностью зон и общей последовательностью парагенезисов минералов, как это было установлено уже прежними исследователями для гранитных пегматитов в узком смысле слова. Отложение калиевого полевого шпата сменяется отложением минералов, богатых натрием и литием. Однако раньше стадии образования калиевого полевого шпата во многих пегматитах, не являющихся гранитными в узком смысле слова, а скорее кварцево-монцитовыми или даже гранодиоритовыми, образуются плагиоклазово-мусковитовые зоны. Но во многих таких пегматитах плагиоклаз в этих внешних зонах богаче анортитом, чем плагиоклаз в зонах более поздних.

Расположение последовательных оболочек от стенок пегматита внутрь с их характерными особенностями и указанными выше соотношениями можно ожидать в том случае, если зоны образовались при фракционной кристаллизации и несовершенной реакции в ограниченно-замкнутой системе. Большую часть фактов можно объяснить также и как результат отложения последовательных слоев в открытых каналах растворами с прогрессивно меняющейся температурой, давлением и концентрацией. Но в этом случае концентрическое расположение зон и тот факт, что внутренние более поздние зоны целиком заключены во внешних, более ранних зонах, понять трудно. Пока эта особенность не получит удовлетворительного объяснения, гипотеза отложения в открытой системе остается неприемлемой.

Кажется невероятным, что последовательное замещение ранее существовавшего массивного пегматита (или аплита) может привести к таким соотношениям. Там, где замещение контролируется контактом между пегматитом и его боковой породой, периферическая оболочка может развиваться вокруг ядра незамещенного пегматита (фиг. 77); позднее за счет пограничной части структурной единицы, образовавшейся при первом замещении, может развиваться и другая структурная единица. Стадия 3 на фиг. 77 изображает конечный результат для случая, когда имеются три литологические единицы, которые могут контролировать процесс замещения. Но может ли быть вероятным, чтобы все дальнейшие замещения представляли только такие явления периферического замещения? Не могло ли замещение контролироваться какой-либо другой литологической границей? Чем больше число зон, с которыми мы имеем дело в данном пегматите, тем более невероятным становится предположение, что последовательность зон от стенок внутрь будет выражать только хронологический порядок, в кото-

ром развиваются зоны. Кроме того, если только мы допустим, что зоны образовались путем последовательного периферического замещения, то надо ожидать, что содержание анортита в плагиоклазе должно возрастать по направлению внутрь, как это показано на стадии 3 фиг. 77, а не убывать в этом направлении, так как наиболее поздние минералы должны были бы концентрироваться в более внешней зоне. Это было бы обратным тому, что встречается в действительности. По тем же соображениям надо отказаться и от предположения Успенского [118], даже если сформулировать



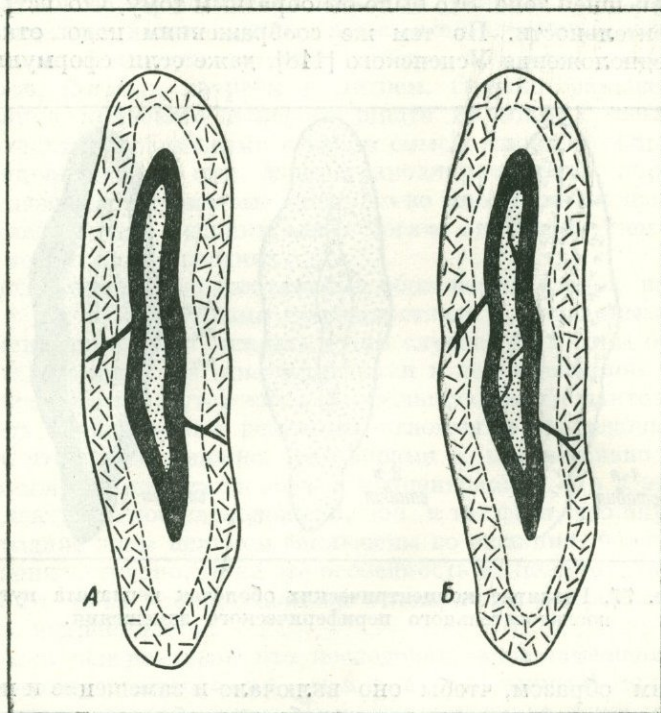
Фиг. 77. Развитие концентрических оболочек пегматита путем последовательного периферического замещения.

его таким образом, чтобы оно включало и замещение и перекристаллизацию, так как оно тоже требует, чтобы во внешних зонах находились более низкотемпературные минералы.

Отношения зон к трещинным заполнениям также требуют рассмотрения. Возникновение трещин во время развития пегматита представляет обычное явление. Пегматит А на фиг. 78 показывает, как трещинные заполнения развиваются во время образования некоторой внутренней зоны (черное), и типичные отношения этого заполнения к внешним зонам. Если бы внутренняя зона развивалась путем замещения по краям ядра, то можно было бы ожидать, что трещинные заполнения будут проникать в ядро так же, как и во внешние зоны (фиг. 78, пегматит В).

Существует еще другая возможность. Мы можем представить, что кристаллизация однородного аплита или пегматита из интродуцированного тела магмы продвинулась вперед так, что незатвердевшей осталась только средняя часть. Если затем эта средняя

часть становится путем (каналом) для прохождения циркулирующих растворов, как это предполагает Успенский, то последовательные волны замещения могут распространяться наружу к стенкам пегматита и в результате могут получиться последовательные оболочки различного состава. Однако, чтобы объяснить систематическое убывание содержания анортита в плагиоклазе по



Фиг. 78. Схематический рисунок, показывающий соотношение трещинных заполнений с зонами: А—трещинные заполнения, развитые как ответвления внутренней зоны; Б—трещинные заполнения, развитые как ответвления метасоматического тела, образовавшегося вдоль промежуточного контакта.

направлению от стенок внутрь, пришлось бы допустить, что каждая последовательная волна замещения в общем быстро сменяет предыдущие волны. Помимо других вопросов, возникающих при этой гипотезе, крайне трудно допустить совершенное отсутствие незамещенных остатков самых внешних зон как во внешних, так и во внутренних промежуточных зонах изученных пегматитов.

Конечный довод против развития зон путем последовательного замещения массивного пегматита состоит в почти постоянной от

района к району литологической последовательности зон от стенок пегматита внутрь его. Если бы зоны развивались при последовательном замещении существовавшего ранее пегматита, то было бы крайне невероятно, чтобы такая почти постоянная последовательность зон обнаруживалась в огромном числе пегматитов в столь многочисленных округах.

По этим причинам авторы считают себя обязанными принять как рабочую гипотезу представление, что зоны пегматита развивались от стенок наружу главным образом вследствие фракционной кристаллизации и неполной реакции в ограниченно замкнутой системе. Доказательства этой гипотезы не могут быть даны в настоящее время, но наблюдаемые в поле факты объясняются более просто и логично именно таким образом, чем с точки зрения отложения в открытой системе, вызванного непрерывным протеканием растворов по каналу. Кроме того, авторы находятся под сильным впечатлением от сходства между зональными пегматитами и некоторыми зональными интрузивами—Шонкин-Саг [120, 48], Маутен-Джирнар [72], Хауфорд-Бридж [117], Раана [25], Каррок-Фелл [40] и другими,—которые, повидимому, наличием зональной структуры обязаны прежде всего фракционной кристаллизации от стенок внутрь с некоторой реакцией между кристаллами и остаточной жидкостью.

Если зоны образовались предполагаемым способом, то можно сделать следующие обобщения:

1. Зоны представляют последовательные накопления кристаллов, отложившихся последовательными слоями на стенках камеры, заключавшей тело пегматитовой жидкости, и, следовательно, обязаны своим происхождением прежде всего фракционной кристаллизации.

2. Реакции между кристаллами и остаточной жидкостью могут происходить на любой стадии и могут приводить к замещению какого-либо минерала, части минералов или всех минералов одной или нескольких зон другим минералом или группой минералов.

3. Постоянная последовательность зон, характерная для групп изученных пегматитов, отражает нормальный ход кристаллизации гранитных или родственных им пегматитовых жидкостей. Отклонения от обычной последовательности обязаны своим происхождением различиям в первоначальном составе тел пегматитовой жидкости, реакции с боковыми породами, оседанию или всплыванию кристаллов или разнице в скорости охлаждения, перемене температурного градиента или различной степени реакции между остаточной жидкостью и кристаллами.

4. Укрупнение (размера зерна) структуры от стенок внутрь, вероятно, связано с понижением вязкости, которое в свою очередь зависит от прогрессирующего обогащения остаточной жидкости сверхплавкими компонентами.

5. Неполные или прерывистые зоны являются или результатом отложения, ограниченного некоторыми местами на внутренней поверхности следующей внешней зоны, или реакции полной зоны с остаточной жидкостью с сопровождавшим ее удалением части зоны.

6. Развитие зон можно сравнить с развитием концентрических структурных единиц в некоторых телах, сложенных нормальными изверженными породами.

Происхождение других структурных единиц. Трещинные заполнения и метасоматические тела переходят одни в другие и являются более молодыми, чем зоны, которые они пересекают или которые контролируют их развитие. Некоторые трещинные заполнения являются отпрысками более внутренних зон и поэтому одновременны с этими зонами и, так же как и некоторые метасоматические тела во внешних зонах, несомненно, одновременны с внутренними зонами. Повидимому, однако, большинство трещинных заполнений и метасоматических тел образовалось после развития части или всей зональной структуры пегматитового тела.

В некоторых пегматитах развитие трещинного заполнения или метасоматического тела может быть связано с развитием некоторой внутренней зоны, и этим путем может быть установлен источник материала. Когда такая корреляция с зонами невозможна, источник растворов, из которых образовались подобные тела, остается под вопросом. Ферсман [24, стр. 200] рассматривает пегматиты как продукты кристаллизации в замкнутой системе и, следовательно, должен, видимо, рассматривать гидротермальные растворы, вызывавшие замещение, как остаток от затвердевшей пегматитовой жидкости. Ландес [58, стр. 411; 62, стр. 389] предположил, что метасоматические тела в пегматитах Бакфилд и Гринвуд, Мэн, и Барингер-Хилл, Техас, обязаны своим происхождением растворам, выделявшимся из более глубоких частей пегматитов, но позднее он замечает [63, стр. 54], что растворы могли поступать из первичной гранитовой магмы, из которой произошли пегматиты. Стеррет [114, стр. 10], Шаллер [101, 105, 107], Андерсен [2], Дерри [20], Бьёрликке [9, стр. 145—161], Свитцер [116], Рой и другие [99, стр. 162] и Маклаулин [74] принадлежат к тем исследователям, которые пришли к заключению, что растворы поступали в пегматитовые камеры извне, после затвердевания первоначальной пегматитовой жидкости. Эти авторы или устанавливают, или допускают, что растворы произошли из той же родоначальной магмы, из которой произошли пегматиты. Жеверс [31, стр. 353] указывает, что растворы могли также возникнуть *in situ*, как это предполагал Мякинен [71, стр. 26], в связи с появлениями изменений в некоторых пегматитах Финляндии или других тел пегматитов, находящихся в более низких горизонтах. Жеверс рассматривает растворы из более глубоких источников как первичную причину метасоматических тел в пегматитах Намакваланда, но заключает, что в частях отдельных пегматитов решающую роль играли ненормальные концентрации минерализующих флюидов из нескольких различных источников.

Как указывал Ландес [58], в некоторых пегматитах объем материала, заключающегося в метасоматических телах, настолько

мал по сравнению с объемом ранее образовавшегося пегматита, что, кажется, имеются основания рассматривать эти тела как результат переработки конечными остатками при кристаллизации тех же пегматитов, в которых они находятся. Там, где объем материала замещения велик по отношению ко всему объему пегматита, гипотеза, ссылающаяся на растворы, поступающие в пегматит извне, является более вероятной. Однако Жеве́рс [31, стр. 360] предупреждает, что многие явления изменений не являются полным замещением, а лишь указывают на обмен некоторыми радикалами и удаление небольшой части замещенного материала. Если не считать частного случая альбитизации микроклина, которую он рассматривает, следует помнить, что мы имеем мало данных о тех изменениях (если только они вообще происходят) в валовом составе пегматита, которым этот состав подвергался во время метасоматизма. Большая часть данных и наблюдений приложима только к ограниченным частям пегматитового тела, а сведения относительно более вскрытых выработками пегматитов имеют скорее качественный, чем количественный характер.

В общем исследования пегматитов в разных частях света наводят на мысль о нескольких источниках растворов, которые приводят к образованию трещинных заполнений и метасоматических тел, но имеющиеся сведения настолько ограничены, что в настоящее время невозможно оценить относительное значение этих источников. При современном состоянии изучения пегматитов кажутся правдоподобными несколько возможностей, и мы не достигнем значительного успеха, обращаясь к какой-нибудь одной из них с целью найти общее объяснение. Метасоматические тела и трещинные заполнения образуют различные ассоциации, и кажется маловероятным, чтобы одно и то же объяснение могло удовлетворить всем этим случаям.

ПРИМЕНЕНИЕ К РАЗРАБОТКАМ И РАЗВЕДКАМ

С практической точки зрения основной результат исследований пегматитов, выполненных в военное время, состоит в том, что они показали систематическую связь распределения минералов во многих пегматитах со структурными особенностями, прежде всего—с контактами пегматита с боковой породой. Поскольку это доказано, детальный структурный анализ при нормальных благоприятных условиях обнажения обычно дает полезные сведения для поисков, разведки и вскрытия пегматитовых минеральных месторождений. Конечно, не следует ожидать неизменного успеха, как и при исследовании других типов минеральных месторождений, но, кажется, можно заключить, что правильно примененные геологические данные окажутся ценными для разработок пегматитов, так же как и для другого рода горной промышленности.

Приходится сознаться, что геологическая практика отстала от горной промышленности в признании того факта, что распределение минералов в пегматитах далеко не случайно. Кто бы ни изучал и ни картировал детально выработки пегматитовых рудников, он сейчас же убеждается в том, что концентрация минералов в «струях», «зонах», «столбах» и т. п. известна уже десятки лет наиболее сведущим и опытным горнякам. Это всегда являлось важным фактором при горных работах, хотя не было сведений, на которых промышленность могла бы обосновать общее представление о распределении минералов в пегматитах. Наоборот, некоторые геологи подчеркивали отсутствие закономерностей в строении пегматитовых месторождений и сомневались в успехе попыток подойти к ним с теми систематическими методами, которые с успехом применялись к рудным месторождениям вообще.

Работа в военное время была сосредоточена на тех способах, которые содействовали бы немедленному увеличению продукции минералов стратегического значения. Однако в будущем использование структурных данных для улучшения существующих способов поисков, повидимому, станет еще более важным. С начала разработок пегматитов исследователи в значительной степени полагались на поверхностные обнажения при определении того, содержатся ли в пегматитовых телах промышленные концентрации минералов. Опробовались только те пегматиты, которые содержали ценные минералы в поверхностных обнажениях,

а значительная часть других оставлялась без внимания. Понижение продуктивности поисковых и разведочных работ в пегматовых округах с ранее развитыми разработками говорит о том, что поиски, проводящиеся таким образом, уже достигли предела. Настоящие исследования обнаруживают, что для пегматитов нужен анализ в трех измерениях и что поверхностные обнажения, если их рассматривать безотносительно к строению, рассматриваемому в трех измерениях, могут показать в недостаточной степени или совсем не показать наличие минералов в подземных частях пегматитов. Пегматит, бедный каким-либо минералом или даже «пустой» с поверхности, может содержать промышленные количества его ниже. Ключом к обнаружению таких участков является применение широкого знания строения пегматитов и распределения в них минералов и тщательное изучение и сопоставление внутреннего строения и последовательности литологических особенностей различных пегматитов для данного округа. Нам кажется, что при этом условии успешные поиски могут быть расширены за пределы, определявшиеся практикой прошлого.

Приложение

ИЗОБРАЖЕНИЕ ПЕГМАТИТОВ НА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ, РАЗРЕЗАХ И СРАВНИТЕЛЬНЫХ ДИАГРАММАХ

Общие положения. При исследованиях в военное время большое внимание уделялось задаче изображения пегматитов и их структурных единиц на картах, разрезах и других схемах, употребляемых обычно для изображения строения минеральных месторождений. На ранних стадиях этой работы работниками в разных округах были выбраны в соответствии с их личными вкусами различные условные обозначения, и в результате неизбежно получалась путаница из символов и обозначений для структур пегматитовых единиц. Пока картированных пегматитов было мало, отсутствие единообразия в системе условных обозначений почти не ощущалось, но по мере того как картированию подвергается все большее число пегматитов во многих округах, необходимость общей системы обозначений стала очевидной. И хотя не встречается и двух пегматитов, совершенно подобных литологически, однако пегматиты обнаруживают много общих черт, и единообразная схема очень облегчила бы использование и сравнение результатов различных исследований.

Первые попытки выработать общую систему были неудачны, так как не были еще установлены и достаточно ясно определены типы находящихся в пегматите структурных единиц и не были достаточно известны все изменения литологических особенностей пегматитов. Кроме того, не было установлено противоречие между практическими и научными целями картирования. С чисто научной точки зрения карта пегматита предназначается для того, чтобы показать минералогический состав и расположение различных литологических единиц. С практической точки зрения основная цель карты—показать распределение ценных минералов или ценной горной породы. С более широкой точки зрения обе цели по существу одинаковы, но на практике возникает некоторое противоречие, так как структурные единицы пегматитов являются литологически сложными. Невозможно выработать определенные условные обозначения для всех видоизменений минералогического состава и структуры, которые встречаются в разных структурных единицах любой большой группы пегматитов. Данная единица на 90% или даже больше может состоять из кварца и полевого шпата, и условное обозначение, выражающее эти минералы, будет приемлемо для геолога, так как оно соответствует обычному способу классификации горных

Рыхлый материал



Навал (на разрезах)



Отвалы или закладка
(на разрезах)



Аллювий

Пегматит

Условные обозначения минералов употребляются
в отдельности или в комбинациях



Пегматит нерасчлененный



Кварц и плагиоклаз



Краявая зона



Пертит или микроклин,
кварц и плагиоклаз



Пертит и кварц



Клевеландит и кварц



Микроклин или пертит



Письменный гранит



Плагиоклаз (кроме
клеветандита)



Клевеландит



Кварц



Мусковит с крупными
пластинками слюды



Мусковит
(слюдяная мелочь)



Лепидолит



Биотит



Берилл



Сподумен



Амблизонит



Турмалин



Топаз



Танталит и колумбит



Микролит



Касситерит



Урановые минералы



Сподумен, кварц и
плагиоклаз



Плагиоклаз, лепидолит
и кварц



Фосфаты, кроме амблизонита

Горные породы, обычно связанные с пегматитом



Основные дайки



Сланец



Кварцит



Гнейс



Амфиболит



Гранитизированный сланец



Сланец, инфицированный
пегматитом



Гранит (с прибавлением точек - для
обозначения аляскита или аллита)

Условные обозначения №2



Пертит-плагиоклаз-
кварцевый пегматит



Пегматит
нерасчлененный



Пертитово-кварцевый
пегматит



Альбитово-кварцевый
пегматит



Мусковитово-кварцевый
пегматит



Мусковитово-альбитовый
пегматит



Плагиоклаз-пертит-
кварцевый пегматит



Биотитовый пертитово-
кварцевый пегматит



Мусковитовый кварцево-
плагиоклазовый
пегматит

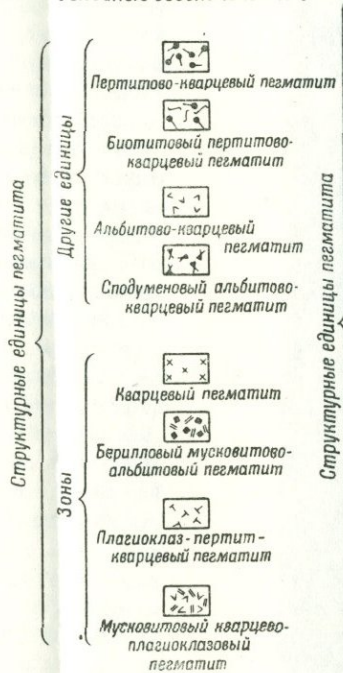


Клевеландитовый
лепидолитовый пегматит



Микролитовый
лепидолитовый пегматит

Условные обозначения №1



Фиг. 79. Условные обозначения и значки, использованные при составлении карт и диаграмм.

пород. Однако для горняка такие аксессуарные минералы, как, например, берилл, слюда или колумбит-танталит, могут быть гораздо интереснее, и карта, которая не может показать распределение этих минералов, представляет для него мало пользы.

Другая трудность заключается в том, что многие пегматиты содержат две или более структурных единиц, имеющих одинаковые существенные минералы, но в заметно различных количествах. Например, ассоциация кварца и пертита (№ 4 в общей последовательности) представлена во многих пегматитах двумя отчетливыми единицами: внешней зоной, состоящей из очень грубых глыбовых кристаллов пертита с кварцем, заполняющим промежутки между ними, и внутренней зоной, состоящей из кварца с разбросанными крупными идиоморфными кристаллами пертита. Внешняя зона, если она достаточно велика, является важным потенциальным источником керамического полевого шпата; внутренняя зона во многих рудниках невыгодна для промышленных разработок. Поэтому различие между двумя зонами важно с практической точки зрения. Более того, в некоторых пегматитах имеется еще третья структурная единица, состоящая существенно из пертита в письменном прорастании с кварцем. Эта зона дает в некоторых рудниках промышленный полевой шпат, но второго сорта. Эту зону надо отличать от двух описанных выше.

Эти примеры далеко не исчерпывают всех задач, возникающих при составлении карт и других изображений пегматитов, но они указывают на сложности, с которыми приходится иметь дело при составлении системы рисунков и условных обозначений, когда она рассчитывается на широкое употребление. Система, описываемая ниже, представляет то, что было принято наконец по соглашению различными геологическими партиями, изучавшими пегматиты Соединенных Штатов. Она не является простой системой, так как ни одна простая система не охватила бы такой разнообразной группы образований, как пегматитовые тела. Как и все системы, та, которая предлагается здесь, несовершенна, но длительный опыт применения ее в поле показывает, что она широко применима и облегчает достижение основных целей картирования пегматитов. Эта схема дается как ключ к сотням карт пегматитов, снятых во время войны, и мы надеемся, что она окажется полезной и другим исследователям при определении геологических особенностей пегматитовых тел.

Система изображения

Данная система отражает различия в отношении трех типов литологических и структурных единиц пегматитов, описанных в этой работе. На фиг. 79 изображены условные обозначения употребляемые для изображения структурных единиц пегматитов.

Для полноты и удобства ссылок включены условные обозначения горных пород, связанных обычно с пегматитами.

Условные обозначения, употребляемые при изображении структурных единиц пегматитов, представляют собой значки для отдельных минералов или обычных комбинаций минералов (например, кварц, плагиоклаз и пертит). Особое условное обозначение употребляется для краевых зон, так как последние обычно слишком тонки для изображения их значками, употребляемыми для других единиц. Особое условное обозначение дается также для «пегматита нерасчлененного». Это обозначение употребляется в том случае, когда структурные единицы пегматита или его части не различаются на карте или вследствие плохой обнаженности, или за недостатком времени, или по экономическим соображениям.

Рисунок для обозначения какой-либо литологической единицы составляется или путем комбинации отдельных значков для ее преобладающих существенных минералов, или путем использования каких-либо специальных обозначений для комбинаций существенных минералов, например, кварц-плагиоклаз. Там, где можно употребить один значок для обозначения двух наиболее обильных минералов, к ним иногда прибавляется второй значок, чтобы показать наличие в этой единице пегматита пластинчатой слюды, берилла или другого ценного минерала. Для различения двух структурных единиц, состоящих из одинаковых существенных минералов, но отличающихся по содержанию аксессуарных минералов, значки для характерного второстепенного минерала могут быть добавлены к значкам, изображающим структурную единицу пегматита, содержащую этот минерал, в том случае, если два наиболее распространенных в ней минерала могут быть выражены одним значком. Мы избегаем смешения трех и более значков для составления рисунка условного обозначения, так как это усложняет черчение и запутывает читателя.

Структурные единицы пегматита, отличающиеся по структуре, но не по минералогическому составу, различаются добавлением точек для обозначения одной из структурных единиц и применением комбинированного значка или смесью отдельных значков двух преобладающих минералов для условного обозначения другой. Так, если имеются две единицы, образованные кварцем и плагиоклазом, для одной единицы можно пользоваться различно ориентированными «птичками», а для другой—комбинацией косых крестиков (кварц) со сплошными черными квадратами (плагиоклаз). Так же можно обозначать две различные структурные единицы с одинаковыми существенными минералами, присутствующими в наибольших количествах. В редком случае, если имеются три структурные единицы, такого рода структура третьей единицы изображается комбинацией значков

для первого и третьего минералов, имеющих в наибольших количествах. Или же, если две самые крупные единицы можно изобразить одним значком, то значок характерного второстепенного минерала можно добавить к условному обозначению этой комбинации, чтобы выразить это отличие.

Для некоторых единиц пегматита нет какого-либо одного значка, который выражал бы два преобладающих минерала. Рисунок условного обозначения для единицы такого рода получается комбинированием значков двух соответствующих минералов. Две зоны с одинаковыми двумя главными минералами могут различаться маленькими точками, если они обладают разной структурой. Если их структура одинакова, то для одной из структурных единиц пользуются значками первого и третьего главных минералов.

Структурные единицы, кроме краевой зоны, настолько узкие, что их нельзя показать условными обозначениями, изображаются сплошной черной линией. Если на карте имеются две и больше таких единиц, от каждой проводится стрелка к кружку сбоку, заключающему соответствующее условное обозначение.

Условное обозначение для какой-либо структурной единицы единообразно применяют на всей карте. Если по геологическим или практическим соображениям требуется показать распределение минералов внутри какой-нибудь структурной единицы, это делается при помощи отдельной карты для этой единицы. Таким образом можно детально показать распределение всех минералов, употребляя отдельные значки для каждого минерала, или можно воспользоваться обычным обозначением данной структурной единицы с прибавлением одного и более значков минералов, чтобы показать распределение минералов, представляющих особый интерес.

Система условных обозначений

По общепринятому соглашению литологические единицы в легенде на геологических картах изображаются в хронологическом порядке, и мы, насколько это возможно, следуем этому правилу в данной схеме. Конечно, возникают трудности там, где не выяснена структурная классификация или относительный возраст структурных единиц, или то и другое.

В легендах основные условные обозначения располагаются в следующем нисходящем порядке: 1) рыхлый материал, 2) структурные единицы коренных горных пород, более молодых, чем пегматит, 3) структурные единицы пегматита, 4) единицы более древних окружающих пород, 5) условные обозначения структурных признаков, 6) обозначения искусственных сооружений. Внутри каждой группы структурных единиц пород отдельные

члены перечисляются хронологически в условном порядке. Расположение и обозначения структурных единиц, данные в легендах № 1 и № 2, фиг. 79, охватывают большинство случаев, с которыми авторам приходилось встречаться. Если все структурные единицы пегматита представляют зоны, то пользуются самым нижним разделом легенды № 1 (фиг. 79), включающим зоны, объединенные вертикальной фигурной скобкой, видоизменяя его соответственно числу структурных единиц пегматита. Если имеются другие типы структурных единиц, используется вся легенда, видоизмененная в соответствии с числом и типом этих единиц. Для всех трещинных заполнений или метасоматических тел структурные единицы перечислены в нормальной хронологической последовательности.

Для некоторых пегматитов может оказаться неизвестным либо положение структурной единицы или ряда таких единиц в классификации, либо их относительный возраст, либо и то и другое. Если нельзя определить положения в классификации ни для одной из структурных единиц, они объединяются посредством вертикальной скобки, которая сопровождается надписью «структурные единицы пегматита». Самый общий случай показан на легенде № 2. Он рассчитан для карт, на которых показаны: 1) существенно однородный пегматит, состоящий полностью из кварца, плагиоклаза и пертита, или пегматит, имеющий ядро такого состава и краевую зону, слишком тонкую для изображения, 2) «пегматит нерасчлененный», как это было определено выше, и 3) пегматит, состоящий из девяти структурных единиц. Если относительный возраст структурных единиц 2 и 9 неизвестен, то обозначения их даются внизу. Единицы 4—7 зон располагаются сверху в порядке от стенок к ядру. Может быть известен относительный возраст структурных единиц 1—3; внутреннее же строение с разделением на зоны, трещинные заполнения или метасоматические тела может быть либо известным, либо—неизвестным. Если относительный возраст известен, структурные единицы располагаются в соответствии с ним.

Иллюстрации, приведенные в этой книге, служат примером такой системы обозначений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alter, C. M. и McColley, E. S., The lead-uranium-thorium ratios of various zones of a single crystal of uraninite from Spruce Pine, North Carolina (abstr.). *Am. Mineralogist*, 27, 213, 1942.
2. Andersen, Olaf, Discussions of certain phases of the genesis of pegmatites. *Norsk. geol. tidsskr.*, XII, 1—55, 1931.
3. Bannerman, H. M., Structural and economic features of some New Hampshire pegmatites: New Hampshire Mineral Resource Survey, pt. 7, New Hampshire State Planning and Development Commission, Concord, 1—22, 1943.
4. Bannerman, H. M. and Cameron, E. N., The New England mica industry. *Am. Inst. Min. Met. Eng. Tech. Pub.* № 2024, 8, 1946.
5. Bastin, E. S., Graton, L. C., Lindgren, W., Newhouse, W. H., Schwartz, G. H. и Short, M. N., Criteria of age relations of minerals. With especial reference to polished sections of ores. *Econ. Geol.*, 26, 561—610, 1931.
6. Billings, M. P. и Williams, C. R., Geology of the Franconia quadrangle, N. H. New Hampshire Planning and Development Commission, Concord, 1935.
7. Billings, M. P., Geology of the Littleton and Moosilauke quadrangles, N. H. New Hampshire Planning and Development Commission, 1935.
- 7a. — Regional metamorphism of the Littleton-Moosilauke area, N. H. *Geol. Soc. America Bull.*, 48, 463—566, 1937.
8. Björlykke, H., The granite pegmatites of southern Norway. *Am. Mineralogist*, 22, 241—255, 1937.
9. — Norwegische Mikrolithminerale: *Norsk. geol. tidsskr.*, XIV, 145—161, 1933.
10. Blake, W. P., Tin. *Mineral resources of U. S., 1883—1884*, 606—607, 1885.
11. Bliss, A. D., Analysis and age of monazite from Deer Park No 5. mine, Spruce Pine, North Carolina (abstr.). *Am. Mineralogist*, 27, 215, 1942.
12. Brögger, W. C., Die Mineralien der syenitpegmatitgänge der Südnorwegischen Augit und Nephelinsyenite. *Zeitschr. f. Kristallographie*, 16, 215—235, 1890.
13. Chapman, C. W., Geology of the Mascoma quadrangle, N. H. *Geol. Soc. America Bull.*, 50, 127—180, 1939.
14. Cameron, E. N., Jahns, R. H., McNair, A. H. и Page, L. R. The internal structure of granitic pegmatites (abstr.). *Econ. Geol.*, 40, 588, 1945.
15. Cameron, E. N., Larrabee, D. M., McNair, A. H. и Stewart, G. W., Characteristics of some New England mica-bearing pegmatites (abstr.). *Econ. Geol.*, 39, 89, 1944.
16. Cameron, E. N., Larrabee, D. M., McNair, A. H., Page, J. J. и Shainin, V. E., Structural and economic characteristics of New England mica deposits. *U. S. Geol. Survey Press Bulletin*, September 1944; *Econ. Geol.*, 40, 369—393, 1945.

17. Cook, C. W., The molybdenite deposits near New Pass, Nova Scotia. *Econ. Geol.*, 20, 185—188, 1925.
18. Crosby, W. O. и Fuller, M. L., Origin of pegmatite. *Am. Geologist*, 19, 147—180, 1897.
19. De Almeida, S. C., Johnston, W. D., Leonardos, O. H. и Scorza, E. P., The beryllantalite-cassiterite pegmatites of Paraiba and Rio Grande do Norte, northeastern Brazil. *Econ. Geol.*, 39, 209, 1944.
20. Derry, D. R., The genetic relationships of pegmatites, aplites, and tin veins. *Geol. Mag.*, 68, 454—475, 1931.
21. Ellsworth, H. V., A mineral related to samarskite from Parry Sound, Ontario. *Am. Mineralogist*, 13, 66—67, 1928.
22. Ферсман А. Е., Минеральные ассоциации в Хибинских и Ловозерских тундрах. *Изв. РАН*, 6 сер., XVII, № 1—18, 65—80, 1923.
- 22a. — Закономерные сростания минералов в Хибинских и Ловозерских тундрах. *Изв. РАН*, 6 сер., XVII, № 1—18, 275—290, 1923.
23. Fer smann, A. E., Über die Geochemisch-Genetische Klassifikation der Granitpegmatite. *Miner. Petrog. Mitt.*, XLI, 64—83, 1931.
24. — Zur geochemie der Granitpegmatite. *Miner. u. Petrogr. Mitt.*, XLI, 200—213, 1931.
25. Foslie, Sternar, Field observations in northern Norway. *Jour. Geology*, 29, 704—716, 1921.
26. Fowler-Lunn, Ketharine и Kingsley, Louise, Geology of the Cardigan quadrangle, N. H., *Geol. Soc. America Bull.*, 48, 1363—1386, 1937.
27. Foye, W. G., Mineral localities in the vicinity of Middletown, Connecticut. *Am. Mineralogist*, 7, 4—12, 1922.
28. Fraser, H. J., Paragenesis of the Newry pegmatite, Maine. *Am. Mineralogist*, 15, 349—364, 1930.
29. Galpin, S. L., A preliminary report on the feldspar and mica deposits of Georgia. *Georgia Geol. Survey Bull.*, 30, 27, 1915.
30. Gevers, T. W. и Fromm urze, H. F., Tin-bearing pegmatites of the Erongo area, South-West Africa. *Geol. Soc. South Africa Trans. and Proc.*, 32, 111—149, 1929.
31. — Phases of mineralization in Namaqualand pegmatites (1936). *Geol. Soc. South Africa Trans. and Proc.*, 331—377, 1937.
32. Gonyer, F. L., Report of the Committee on geologic time, National Research Council, 1937.
33. Grou t, F. F., The pegmatites of the Duluth gabbro. *Econ. Geol.*, 13, 185—197, 1918.
34. — Magnetite pegmatites of northern Minnesota. *Econ. Geol.*, 18, 253—269, 1923.
35. — Petrography and Petrology, McGraw-Hill Book Co., срп. 522, New York, 1932.
36. Griffitts, W. R., Heinrich, E. Wm., Jahns, R. H., Olson, J. C. и Parker, J. M., III, Occurrence of mica-bearing pegmatites in the Southeastern States (abstr.). *Econ. Geol.*, 40, 592, 1945.
37. Hanley, J. B., Stratigraphy, structure and petrology of the Mt. Cube area, New Hampshire. *Geol. Soc. America Bull.*, 53, 113—176, 1942.
38. — Lithia pegmatites of the Brown Derby mine, Gunnison County, Colorado (abstr.). *Econ. Geol.*, 40, 593, 1945.
39. — Geology of the Poland quadrangle, Doctorate thesis, The Johns Hopkins University, 1939.

40. Harker, A., Carrock Fell. *Geol. Soc. London Quart. Jour.*, 50, 311—337, 1894.
41. Heinrich, E. Wm., Composite pegmatites of the Franklin-Sylvania mica district, North Carolina (abstr.). *Econ. Geol.*, 40, 594, 1945.
42. Hess, F. L., Pegmatites. *Econ. Geol.*, 28, 447—462, 1933.
43. Hess, F. L. и Wells, R. C., Samarskite from Petaca, New Mexico. *Am. Jour. Sci.*, cep. 5, 19, 17—26, 1930.
44. — The natural history of the pegmatites. *Eng. and Min. Jour.-Press*, 120, 289—298, 1925.
- 44a. Hess, F. L. и Fahney, J. J., Cesium biotite from Custer County, South Dakota. *Am. Mineralogist*, 17, 173—176, 1932.
- 44b. — Spodumene pegmatites of North Carolina. *Econ. Geol.*, 35, 942—966, 1940.
45. Hitchen, C. W., The pegmatites of Fitchburg, Massachusetts. *Am. Mineralogist*, 20, 9, 1935.
46. Holmes, A., Radioactivity and geological time. *Nat. Research Council Bull.*, 80, 124—459, 1931.
47. Hunt, T. S., Notes on granitic rocks. *Am. Jour. Sci.*, cep. 3, 1, 89, 182—186, 1871.
48. Hurlbut, C. S., Igneous rocks of the Highwood Mountains, Pt. I. *Geol. Soc. America Bull.*, 50, 1043—1112, 1939.
49. Johns, R. H., Mica deposits of the Petaca district, Rio Arriba County, New Mexico. *New Mexico Bur. Mines Bull.*, 25, 39—51, 289, 1946.
50. Johns, R. H. и Wright, L. A., The Harding beryllium-tantalum-lithium pegmatites, Taos County, New Mexico (abstr.). *Econ. Geol.*, 39, 96—97, 1944.
51. Johnston, W. D., Beryl-tantalite pegmatites of northeastern Brazil. *Geol. Soc. America Bull.*, 56, 1015—1070, 1945.
52. Julien, A. A., Notes on the origin of the pegmatites from Manhattan Island and North Carolina. *New York Acad. Sci. Annals*, 13, 508, 1901.
53. Kemp, J. F., The pegmatites: *Econ. Geol.*, 19, 697—723, 1924.
54. Kesler, T. L., The tin-spodumene belt of the Carolinas, a preliminary report. *U. S. Geol. Survey Bull.* 936—J, 245—269, 1942.
55. Kesler, T. L. и Olson, J. C., Muscovite in the Spruce Pine district, North Carolina. *U. S. Geol. Survey Bull.* 936—A, 1—38, 1942.
56. Kruger, F. C., Structure and metamorphism of the Bellows Falls quadrangle of New Hampshire and Vermont. *Geol. Soc. America Bull.*, 57, 161—206, 1946.
57. Lacroix, A., Mineralogie de Madagascar, ctp. 310, 355—356, Paris, 1922.
58. Landes, K. K., Paragenesis of the granite pegmatites of central Maine. *Am. Mineralogist*, 10, № 11, 355—411, 1925.
59. — Sequence of mineralization in the Keystone, South Dakota pegmatites. *Am. Mineralogist*, 13, 519—530, 537—558, 1928.
60. — Lithium, caesium, and radium. *Foot-Prints*, 1, № 11, 5—17, 1928.
61. — Criteria of age relations of minerals. *Econ. Geol.*, 27, 211, 1932.
62. Landes, K. K., The Baringer Hill, Texas, pegmatite. *Am. Mineralogist*, 17, № 8, 381—350, 1932.
63. — Origin and classification of pegmatites. *Am. Mineralogist*, 18, № 2, 33—56, 95—103, 1933.
64. — The beryl-molybdenite deposit of Chaffee County, Colorado: *Econ. Geol.*, 19, № 7, 697—702, 1924.
65. — Age and distribution of pegmatites. *Am. Mineralogist*, 20, 81—105, 153—175, 1935.
66. — Colorado pegmatites. *Am. Mineralogist*, 20, 319—333, 1935.

67. Landes, K. K., Pegmatites and hydrothermal veins. *Am. Mineralogist*, 22, № 5, 551—560, 1937.
68. — Minerals of Eight-Mile Park, Colo. (abstr.). *Am. Mineralogist*, 24, 188, 1939.
69. — Pegmatites. *Compass*, 21, 155—163, 1941.
70. Laubmann, H. и Steinmetz, H., Phosphatführende pegmatite des Oberpfälzer und Bayerischen Waldes *Zeitschr. Kristallographie Min.*, 55, 584, 1915—20.
71. Mäkinen, Eero, Die granitpegmatite von Tammela in Finnland und ihre minerale. *Comm. geol. Finlande Bull.*, 35, 22, 26, 1913.
72. Mathur, K. K., Dubey, V. S. и Sharma, N. L., Magmatic differentiation in Mt. Girnar. *Jour. Geology*, 34, 289—307, 1926.
73. Maurice, C. W., The pegmatites of the Spruce Pine district, North Carolina. *Econ. Geol.*, 35, 49—78, 158—187, 1940.
74. McLaughlin, T. G., Pegmatite dikes of the Bridger Mountains, Wyoming. *Am. Mineralogist*, 25, 46—68, 1940.
75. Merriam, Richard, Igneous and metamorphic rocks of the southeastern part of the Ramona quadrangle, San Diego County, California. *Geol. Soc. America Bull.*, 57, 223—260, 1946.
76. Muench, Oscar Brauer, The analysis of cyrtolite for lead and uranium. *Am. Jour. Sci.*, cep. 5, 21, 350—357, 1931.
77. — The results of the analysis of a Canadian cyrtolite. *Am. Jour. Sci.*, cep. 5, 23, 273, март 1932.
78. — The age of a Canadian cyrtolite. *Am. Jour. Sci.*, cep. 5, 25, 487—493, июнь, 1933.
79. — Analysis and age of a Quebec monazite (abstr.). *Pan-Am. Geologist*, 64, 156, 1935.
80. — Sulfur in cyrtolite and its indication of galena (with a note by A. C. Love). *Am. Mineralogist*, 21, 374—378, 1936.
81. Müllbauer, F., Die phosphatpegmatite von Hagendorfi, Bayern, *Zeitschr. Kristallographie*, 61, 318—336, 1925.
82. Newton, H. и Jenney, W. P., Report on the geology and resources of the Black Hills of Dakota. *U. S. Geog. and Geol. Survey Rocky Mth. Region Rept.* (Powell), 1880.
83. Norman, G. W. H., Molybdenite deposits and pegmatite in the Preisac-LaCorne area, Abitibi County, Quebec. *Econ. Geol.*, 40, 1—17, 1940.
84. Olson, J. C., Parker, J. M., III, и Page, J. J., Mica distribution in western North Carolina pegmatites (abstr.). *Econ. Geol.*, 39, 101, 1944.
85. Olson, J. C., Mica-Bearing pegmatites of New Hampshire. *U. S. Geol. Survey Bull.* 931—P, 336—403, 1942.
86. Page, L. R., The geology of the Rumney, N. H., quadrangle. New Hampshire, unpublished Doctorate thesis, University of Minnesota, 1937.
87. — Geologic map and structure sections of the Rumney, N. H., quadrangle. New Hampshire State Highway Commission, Concord, 1940.
88. — Igneous and metamorphic rocks of the Rumney quadrangle, N. H. (abstr.). *Geol. Soc. America Bull.*, 51, 1936—1937, 1940.
89. — Igneous and metamorphic rocks of the Rumney quadrangle, N. H. (abstr.). *Am. Mineralogist*, 26, 200, 1941.
90. — Tin and tungsten deposits at Silver Hill, Spokane County, Washington. *U. S. Geol. Survey Bull.* 931—H, 177—203, 1942.
91. — Structural and economic characteristics of South Dakota pegmatites (abstr.). *Econ. Geol.*, 40, 600, 1945.
92. Page, L. R., Hunley, J. B. и Heinrich, E. Wm., Structural and mineralogical features of beryl pegmatites (abstr.). *Econ. Geol.*, 38, 86—87, 1943.

93. Palache, C., A topaz deposit in Topsham, Maine. *Am. Jour. Sci.*, cep. 5, 27, 37—48, 1934.
94. Pecora, W. T., Nepheline-syenite pegmatite, Rocky Boy stock, Bearpaw Mountains, Montana. *Am. Mineralogist*, 27, 406, 1942.
95. Pegau, A. A., The pegmatites of the Amelia, Goochland, and Ridgeway areas, Virginia. *Am. Jour. Sci.*, cep. 5, 17, 543—547, 1929.
96. — Origin of pegmatites (abstr.). *Virginia Acad. Sci. Proc.*, crp. 39, 1930—1931.
97. — Pegmatite deposits of Virginia. *Virginia Geol. Survey Bull.*, 33, crp. 123, 1932.
98. Quirke, T. T. и Kremers, H. E., Pegmatite crystallization. *Am. Mineralogist*, 28, 571—580, 1943.
99. Roy, S. K., Sharma, N. L. и Chattapadhyay, G. C., The mica-pegmatites of Kodarma, India. *Geol. Mag.*, 76, 145—164, 1939.
100. Schaller, W. T., Lithium minerals, thorium minerals, zirconium and rare-earth minerals. *U. S. Geol. Survey Min. Res.*, 1916, табл. 2, crp. 7—17, 233—237, 377—386, 1917.
101. — The genesis of lithium pegmatites. *Am. Jour. Sci.*, cep. 5, 10, 269—279, 1925.
102. Schaller, W. T. и Henderson, E. P., Purple muscovite from New Mexico: *Am. Mineralogist*, 11, 5—16, 1926.
103. — How pegmatites form (abstr.). *Am. Mineralogist*, 11, 41—42, 1926.
104. — Genesis of lithium pegmatites (abstr.). *Washington Acad. Sci. Jour.*, 16, 76, 1926.
105. — Mineral replacement in pegmatites. *Am. Mineralogist*, 12, 59—63, 1927.
106. Schaller, W. T. и Fairchild, J. F., Bavenite, a beryllium mineral, pseudomorphous after beryl, from California. *Am. Mineralogist*, 17, № 9, 409—422, 1932.
107. Schaller, W. T., Pegmatites: Ore deposits of the western States crp. 144—151, *Am. Inst. Min. Met. Eng., New York*, 1933.
108. — A large monazite crystal from North Carolina. *Am. Mineralogist*, 18, № 10, 435—439, 1933.
- 108a. Shainin, V. E., Economic geology of some pegmatites in Topsham, Maine. *Maine Geol. Survey Bull.*, 5, 17, 1948.
- 108b. — The Branchville, Conn., pegmatite. *Am. Mineralogist*, 31, № 7—8, 329—345, 1946; опечатки указаны в № 11—12, 598—599, 1946.
109. Shand, S. J., The terminology of late-magmatic and post-magmatic processes. *Jour. Geology*, 52, 346—350, 1944.
110. Shaub, B. M., The occurrence, crystal habit, and composition of the uraninite from the Ruggles mine, near Grafton Center, New Hampshire. *Am. Mineralogist*, 23, 334—341, 1938.
111. — On the origin of some pegmatites in the town of Newry, Maine. *Am. Mineralogist*, 25, 673—688, 1940.
112. Smith, W. C. и Page, L. R., Tin-bearing pegmatites of the Tinton District, Lawrence County, South Dakota. *U. S. Geol. Survey Bull. 922-T*, 595—630, 1941.
113. Spurr, J. E., Geology of the Yukon gold district. *U. S. Geol. Survey, 18th Ann. Rept.*, табл. III, 231, 1898.
114. Sterrett, D. B., Mica deposits of the United States. *U. S., Geol. Survey Bull.*, 740, 342, 1923.
115. Stoll, W. C., Mica and beryl pegmatites in Idaho and Montana. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper* (в печати).
116. Switzer, George, The paragenesis of the Center Strafford, New Hampshire, pegmatite. *Am. Mineralogist*, 23, 811—820, 1938.

117. Tyrrell, G. W., On some dolerite sills containing analcite-syenite in Central Ayrshire. *Geol. Soc. London Quart. Jour.*, 84, 540—569, 1928.
118. Успенский Н. М.—Uspensky, N. M., On the genesis of granitic pegmatites. *Am. Mineralogist*, 28, 437—447, 1943.
119. Warren, C. H. и Palache, C., The pegmatites of the riebeckite-aegirite granite of Quincy, Mass. *Am. Acad. Arts. Sci. Proc.*, 47, 125—171, 1911.
120. Weed, W. H. и Pirsson, L. V., Geology of the Shonkin Sag and Palisade Butte Iaccoliths, Montana. *Am. Jour. Sci.*, сер. 4, 12, 1—17, 1901.
121. Zeigler, V., The differentiation of a granitic magma as shown by the paragenesis of the minerals of the Harney Peak region, South Dakota. *Econ. Geol.*, 9, 264—277, 1914.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Краткое содержание	7
Введение	9
Общие черты гранитных пегматитов	12
Распределение и возраст	12
Связь пегматитов с гранитными интрузивами	13
Различия между группами пегматитов, связанных с различными интрузивными породами	15
Отношение типа пегматита к типу боковой породы	17
Размер и форма	18
Отношение пегматитов к структурам боковых пород	19
Изменения боковых пород вблизи пегматитовых тел	20
Исторический обзор	21
Структурные единицы пегматита	24
Общие положения	24
Общие признаки зон	27
Краевые зоны	34
Боковые зоны	42
Промежуточные зоны	54
Ядра	64
Последовательность минеральных ассоциаций в зональных пегматитах	73
Общие положения	73
Последовательность минеральных ассоциаций в полевошпатово-слюдяных пегматитах юго-восточных штатов	77
Последовательность минеральных ассоциаций в пегматитах Новой Англии	80
Последовательность минеральных ассоциаций в пегматитах округа Петака, Нью-Мексико	82
Последовательность минеральных ассоциаций в пегматитах Южной Дакоты	82
Последовательность минеральных ассоциаций в других изученных округах	86
Трещинные заполнения	86
Общие признаки	86
Состав и внутренняя структура	94

Метасоматические тела	102
Общие признаки	102
Распознавание метасоматических тел	107
Метасоматические тела, контролируемые трещинами	111
Другие метасоматические тела	113
Происхождение структурных единиц пегматита	119
Общие положения	119
Происхождение зон	121
Происхождение других структурных единиц	130
Применение к разработкам и разведкам	132
Приложение. Изображение пегматитов на геологических картах, разрезах и сравнительных диаграммах	134
Общие положения	134
Система изображения	135
Система условных обозначений	137
Литература	139

Редактор *Л. С. Балашов*

Техн. редактор *Е. С. Герасимова*

Корректор *Б. А. Ерусалимский*

Сдано в производство 9/IV 1951 г.

Подписано к печати 26/VI 1951 г.

А 05552. Бум. 60×92¹/₁₆=6,8 бум. л.

13,6 печ. л. в т/ч 20 вкл.

Уч.-издат. л. 13,3. Изд. № 5/1085.

Цена 12 р. 70 к. Зак. 1079.

16-я типография Главполиграфиз-
дата при Совете Министров СССР.
Москва, Трехпрудный пер., 9.

**КНИГИ ПО ГЕОЛОГИИ,
ВЫПУЩЕННЫЕ ИЗДАТЕЛЬСТВОМ
ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

ШРОК РОБЕРТ, *Последовательность в свитах слоистых пород*, 564 стр. Цена 33 руб. 40 к.

ДЭНА ДЖ. Д., ПЭЛАЧ Ч., БЕРМАН Г., ФРОНДЕЛЬ К., *Система минералогии*, том I, полутом 1, 607 стр. Цена 36 р. 25 к.

Проблема образования гранитов, 2-й сборник статей, 385 стр. Цена 19 руб. 20 к.

ТЕРНЕР Ф. ДЖ., *Эволюция метаморфических пород*, 283 стр. Цена 17 руб. 20 к.

ПЕЧАТАЮТСЯ И В БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ ВЫЙДУТ
В СВЕТ СЛЕДУЮЩИЕ КНИГИ:

ДЭНА ДЖ. Д., ПЭЛАЧ Ч., БЕРМАН Г., ФРОНДЕЛЬ К., *Система минералогии*, том I, полутом 2. Цена 25 руб. 75 к.

ШИПАРД Ф., *Геология моря*. Цена 21 руб. 60 к.

Книги продаются в книжных магазинах и киосках Книготорга и других книготорговых организаций, высылаются почтой наложенным платежом без задатка всеми отделами «Книга — почтой», областных, краевых и республиканских отделений Книготоргов.

В случае отсутствия книг на месте заказы можно направлять по адресу: Москва, Арбат, 36, магазин № 69 Москниготорга.

LD

APR 10 15
P. 10 15

268