

МАТЕРИАЛЫ К ТЕКТОНИКЕ ИНТРУЗИВОВ

Г. Л. Поспелов

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая работа представляет, с одной стороны, изложение сущности теории Ганса Клооса о тектонике гранитов и критику ее, и, с другой стороны, теоретическое исследование в области прототектоники и, частью, трещинной тектоники интрузивов, проведенное на основе многочисленных личных наблюдений и обширного литературного материала, имеющегося по данному вопросу.

Общий характер темы, взятой мной по предложению акад. М. А. Усова, обуславливается тем, что в процессе анализа тектоники конкретных интрузивных массивов, на которых мне приводилось делать детальные съемки и тематические экскурсии (некоторые районы Алтая, Хакассии и Мартайги в Сибири, щелочные массивы Кольского полуострова, некоторые районы развития молодых интрузий на Кавказе), выявился ряд особенностей, которые при их сопоставлении заставили задуматься над целым рядом принципиальных вопросов из области тектоники интрузивов вообще. Важность подобной работы, подкрепленной критическим анализом методологических основ, на которых базируются современные тектонические школы, в частности школа Г. Клооса, очевидна. Не только среди русской, но и среди иностранной литературы еще мало работ, которые были бы посвящены этому вопросу, хотя интерес к нему геологов непрерывно возрастает в связи с изучением структур рудных полей; но и те работы, которые имеются, в большинстве ограничивают свои построения в пределах принципов классической механики, не пытаясь подойти к анализу внутренней тектоники интрузивов с точки зрения общего взаимодействия процессов, обуславливающих возникновение и развитие интрузивов и тектонических структур в них. А между тем, подход к данной теме именно с этой стороны открывает, как оказывается, целый ряд крупных физических проблем, целую область сложных явлений, почти не затронутую исследованием. Он приводит к возможности принципиально новых решений целого ряда вопросов, касающихся генезиса структур интрузивов.

Поэтому создание таких работ даже в виде материалов, способствующих постановке новых проблем в этой области, является делом весьма своевременным и нужным.

В заключение я должен поблагодарить Ленинградских геологов, доктора Н. А. Елисеева, Н. К. Нефедова и С. Д. Покровского, оказавших мне большую помощь по ознакомлению с тектоникой Ловозерского щелочного плутона.

1. СУЩНОСТЬ ТЕОРИИ ГАНСА КЛООСА О ТЕКТОНИКЕ ИНТРУЗИВОВ

Основной теорией, на которой главным образом базируется современный структурный анализ интрузивов, является теория Ганса Клооса о тектонике гранитных массивов, впоследствии усложненная и модернизированная разными исследователями, в результате применения ее в области тектоники интрузивов вообще, но сохранившая свое принципиальное содержание.

На русском языке изложение теории Г. Клооса и его методики структурного анализа интрузивов (основные его работы в этой области см. в списке литературы) имеется в целом ряде книг (14; 3; 8; 13; 18), кроме которых имеется ряд интересных работ А. А. Полканова, Е. А. Елисеева, А. В. Пэка и др., где делается рациональное применение методов Г. Клооса к геологической практике, с попутным их усовершенствованием и развитием. Это освобождает от необходимости давать детальное изложение теории Клооса в данной работе. Поэтому я ограничусь здесь приведением тех основных моментов, которые определяют существо взглядов Г. Клооса, и которые, кстати сказать, часто проскальзывают мимо внимания геологов, пользующихся методикой Г. Клооса в своей практической деятельности.

Ганс Клоос не является первым геологом, который занимался изучением тектоники интрузивов. Ориентированные структуры в интрузивах, неодинаковая способность к раскалыванию гранита по разным направлениям, выявленная в связи с развитием каменного дела, привлекали внимание исследователей еще в XVIII веке и с тех пор неоднократно служили предметом обсуждений. Равным образом исследователи давно уже обратили внимание на закономерное расположение трещин в интрузивах, которое в большинстве объясняли силами контракции—уменьшением объема интрузива при его охлаждении.

Однако Г. Клоос оказался первым из тех, кто подошел к решению вопросов о структурах интрузивов не с точки зрения объяснения частных случаев без их взаимообъединения, а с точки зрения развития общего интрузивного процесса. Вскрывая закономерности, присущие вообще всем интрузивам, он, последовательно развивая свои взгляды, создал стройную картину интрузивной тектоники, выявив, что различные ее элементы являются выражением различных фаз вторжения и формирования плутона.

Ганс Клоос рассматривает вулканический процесс, как специфическое движение весьма пластического материала, происходящее на фоне общего движения масс континента. Причины всех этих движений он видит в различных тектонических давлениях: в гидростатическом давлении, выталкивающей расплавленную массу из магматического очага, в ориентированном боковом давлении и в гравитационном давлении вышележащих толщ, формирующих поступившие в верхние горизонты земной коры магматические массы и приводящих к возникновению в разные фазы их становления различных структур.

В первую тектоническую предгранитную фазу, т. е. до появления магмы, движение масс континента подготавливает для нее пути проникновения и вместилища—полости. Это выражается, во-первых, в складчатости, в связи с которой может иметь место конкордантная интрузия, т. е. вторжение магмы в процессе складчатости, сопровождаемое проникновением ее, как наиболее пластического элемента, во все возникающие ослабленные места и пустоты, особенно в сводовые области, заполняемые ею со значительным совершенством (14, 45).

Во-вторых, это выражается в глыбовых движениях, если континент оказывается уже консолидированным предыдущей складчатостью и вул-

канической деятельностью, что приводит к возникновению дискордантной интрузии, часто проникающей, как показали исследования Г. Клооса в Германии, по границе между более древними образованиями и налегающими на них молодыми складчатыми формациями (гарполиты).

Движение жидкой магмы, происходящее на фоне общего движения вмещающих масс, приводит к дифференциации ее во время движения и к возникновению разнообразных структур течения. В наиболее раннюю, так называемую гранитную фазу (52, 93), охватывающую явления, происходящие в довольно текучей магме, происходят движения, обнаруживающиеся в ориентации эндогенных шпир, в параллельном вытягивании в цепь включений боковых пород в магме и т. д. Это явление нельзя назвать просто выражением текучести или флюидального движения, так как оно представляет также выражение изменения формы магматической массы и приноравливания ее к какому то другому объему. Движение похоже на движение жидкости в круглом сосуде, который деформируется в овальный (52, 93). В более вязкую фазу, при прогрессирующей раскристаллизации магмы, растяжение магматической массы под влиянием тех же продолжающихся ориентированных давлений (бокового и гравитационного), происходящее в направлении к ним перпендикулярном, обнаруживается в образовании ориентированных перпендикулярно к давлениям структур, или штрекунга (Streckung—растяжение), выражающихся обычно в параллельном расположении листочков слюды и реже—полевых шпатов и кварца. Это как бы выражение сланцеватости в затвердевавшем интрузиве, в котором магма становится настолько вязкой, что в ней не происходит никаких особых дифференцированных движений, как в стадию образования шпир, и она, вместе со всеми включениями, двигается, растягиваясь как нечто целое (56, 123) и приводя к явлениям протоклаза. Это растягивание может продолжаться и в период затвердевания и сопровождаться в этом случае катаклазом, иногда весьма значительным, идущим в том же направлении (56, 123). При этом первичный штрекунг переходит во вторичный штрекунг—в гнейс, особенно близ контактов, где с самого начала существовало резкое противоречие между движущейся магмой и неподвижными стенками. В результате этого возникают так называемые окраинные гнейсы.

Таким образом, штрекунг постепенно и незаметно переходит в послегранитную фазу, когда, благодаря возросшему с охлаждением сопротивлению гранита, последний, продолжая растягиваться под влиянием все тех же ориентированных сил, начинает раскалываться и образовывать трещины, находящиеся вследствие общности причины в закономерной связи со штрекунгом. Эти трещины могут быть заполнены жильными дериватами той же магмы, но в общем они отражают постмагматическую тектонику, не стоящую уже в связи с образованием данного массива, а относящуюся к последующим тектоническим движениям, на которые гранит реагирует просто как жесткая часть континента, как „тектонический трансформатор“.

Все структуры, возникшие в плутоне в фазу его истечения, объединяются в понятие „прототектоника“, или первичная тектоника; все трещинные структуры в нем объединяются в понятие „трещинная тектоника“.

Остановимся немного на более подробной генетической характеристике прототектоники и трещинной тектоники интрузивов.

Вступление магмы в полость влечет за собой прежде всего состояние крайней негомогенности, ибо в твердую раму вступает масса хотя уже вязкой, но все-таки вполне текучей магмы. К этому времени резкого противоречия между твердым и жидким относится образование шпир (56, 119). Биотитовые листочки, из скоплений которых существенно и образуются

эти шлиры в гранитах, иначе реагируют на текучие движения, чем полевые шпаты и кварц. На определенной стадии вязкости они стремятся расположиться параллельно, подставляя движению плоскости с наименьшим сопротивлением. В процессе движения листочки могут группироваться в шлиры, тем более совершенные, чем сильнее было движение (56, 130—131). Таким образом, листоватые ленточные шлиры есть результат дифференциации магмы в процессе ее движения. Глыбы вмещающих пород, как менее подвижные части, обтекаются шлирами (54, 132).

Противоречие между более текучей и менее текучей средой, приводящее к образованию шлир, естественно наиболее резко проявляется на

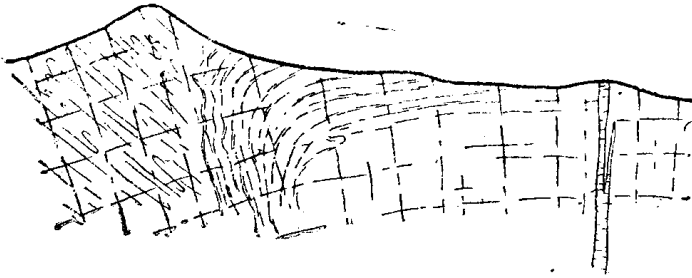


Рис. 1. Тектоника шлир и трещин у контакта гранитового плутона в Ризенгебирге (по Г. Клоосу)

границе твердой и текучей массы, т. е. на контактах, около которых и образуются наиболее резкие явления шлироватости и вообще параллельного сложения, повторяющие контуры контакта. Так возникает окраинная тектоника плутонов (56, 119—120). Выражением подобного же рода окраинной тектоники является шлироватость в жилах, которая всегда располагается параллельно контактам, независимо от их направления по отношению к общему давлению. Контакты плутонов часто являются крутыми; соответственно этому и окраинная тектоника их является также крутой.

Однако в центральных частях многих плутонов шлиры располагаются полого и в общей совокупности образуют выпуклый кверху дугообразный свод (рис. 1). Такое пологое расположение шлир не есть следствие влияния пологой кровли интрузива, а есть нормальный, регионально выраженный результат восходящего движения расплава, которому противостоит гравитационное давление, в результате чего происходит растекание магматических масс от ядра массива к его периферии в направлении перпендикулярном к боковому и гравитационному давлению (рис. 2). Влияние последнего и обуславливает пологое расположение элементов прототектоники, не зависящих в этом случае от формы плутона.

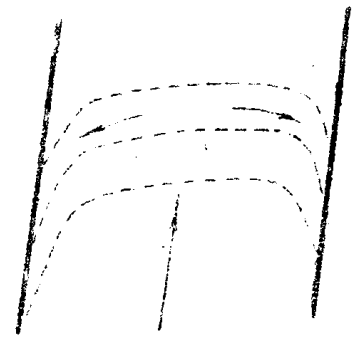


Рис. 2. Отношение параллельных структур к границам плутона и к движению магмы в Ризенгебирге. Вертикальное сечение. (по Г. Клоосу).

Штрекунг, образуемый в результате общего вытягивания перпендикулярно к давлениям гомогенизированной далеко зашедшими процессами кристаллизации магмы, обнаруживает иногда поразительно равномерное направление. Очевидно, что он почти не зависит от строения, положения и ограничения плутона, обнаруживая повсюду одинаковое положение в пространстве (53, 71—79). Штрекунг, по мнению Г. Клооса, не является собственно флюидалным образованием, будучи связан только с очень незначительными боковыми движениями; и, возможно, что в значительной своей части он является результатом молекулярных движений на месте (54, 95). В доказательство этого Г. Клоос приводит ряд случаев, когда штрекунг в гранит-аплитовых и гранит-порфировых жилах располагается под самыми разнообразными, часто прямыми, углами к контактам жилы, (рис. 3, а, б, в) (52, 94—96; 55, 17). Такие структуры

не являются результатом воздействия давления на уже затвердевшую магму, так как явлений катаклаза и кристаллобластеза здесь не видно. За это же говорит наличие мелких включений боковых пород в жиле, ориентированных согласно с ее штрекунгом (рис. 3а). Оказывается, что ориентация штрекунга в жиле совпадает с ориентацией штрекунга (сланцеватости) в боковых породах, причину чему Клоос видит в одинаковой ориентации сил, обусловивших образование штрекунга и во вмещающих породах и в жилах.

Так как положение штрекунга, равно как и шпир, определяется, с одной стороны, боковым давлением (стрессом), а, с другой стороны, давлением нагрузки, следует, что штрекунг должен в общем быть перпендикулярным к той и другой действующей силе. В связи с этим, на основе своих наблюдений, Г. Клоос выделяет два типа штрекунга. Один из них, представляющий план-параллельную структуру, возникает благодаря перераспределению в магме плоскопараллельных компонентов (слюды, полевых шпатов) и располагается обычно горизонтально, т. е. перпендикулярно к давлению нагрузки. Другой представляет линейный штрекунг, обусловлен-

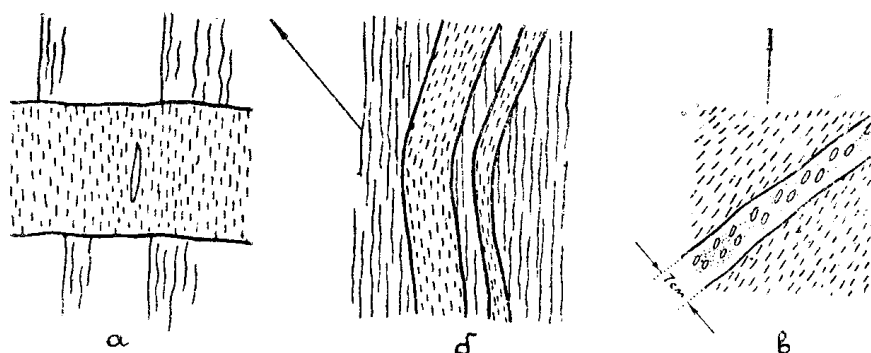


Рис. 3. а и б--аплитовые жилы в сланцах; штрекунг в жилах (черточки) располагается согласно со сланцеватостью в сланцах. в--гранитная жила с аплитовым зальбандом в нормальном граните; штрекунг в жиле (вытянутые зернышки кварца) располагается согласно со штрекунгом в граните (по Г. Клоосу).

ный линейным расположением столбчатых минералов преимущественно в направлении перпендикулярном к боковому давлению.

Кроме термина „штрекунг“ Клоос употребляет еще термин „волоконистость“ (Faserung), главным образом к случаям, где штрекунг выражен слабо.

Штрекунг или волоконистость, даже в том случае, если они выражены слабо, обуславливают направленную делимость гранита при его искусственном раскалывании, которой пользуются в каменном деле. Такая делимость гранита в общем совпадает с естественными трещинами в граните, образующимися по Г. Клоосу под влиянием тех же сил, которые обуславливают формирование прототектоники, и потому находятся с ней в закономерных отношениях. Однако, в то время, как прототектоника, возникшая в процессе движения магмы, должна, кроме приспособления к ориентированным давлениям, отражать также положение контактов, располагаясь близ них согласно с ними, трещинная тектоника следует по направлениям, которые характеризуют самое широкое окружение массива, и потому пересекает границы контакта, сливаясь с трещинной тектоникой окружения (56, 110), (рис. 1). Таким образом, расхождение между трещинной тектоникой и прототектоникой выражается в том, что в то время, как в большей части массива они точно или приблизительно совпадают друг с другом, у контактов прототектоника стоит более круто и перекрещивается трещинной тектоникой (56, 108).

В какой мере трещинная тектоника интрузивов связывается с их контракцией при охлаждении?

Если бы появление трещин было связано с самой магмой, то при охлаждении последней должны бы были возникнуть периферические, параллельные контактам трещины и жилы, которые однако на практике не встречаются (56, 127). Г. Клоос предлагает объяснить отсутствие типичных трещин контракции влиянием бокового давления, которое закрывает несоответствующие ему контракционные трещины „прежде чем они образуются“, позволяя развиваться только тем трещинам, которые отвечают общей закономерной их системе (52, 92). Благодаря трещинам на контакте, интрузив тесно связывается с тектоникой окружающих пород, потому что почти во всех местах контакта главные трещины переходят из интрузива во вмещающие породы, обнаруживая здесь определенные отношения к тектоническим признакам, которые старше интрузива, например, к сланцеватости, к осям складок и т. д. (56, 127—128). Это указывает на то, „что образование массива хоть и создает вновь трещины, но направления трещин уже имеются и только применяются“ (56, 110).

Нам еще придется говорить о систематике трещинной тектоники интрузивов, предлагаемой Г. Клоосом, и о механизме возникновения разных систем трещин, так что этот самостоятельный вопрос я здесь опускаю.

II. ПРОБЛЕМА ТЕКТониКИ ИНТРУЗИВОВ В СВЕТЕ УЧЕНИЯ О САМОРАЗВИТИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Теория Г. Клооса о тектонике интрузивов, сущность которой я только что изложил без всяких комментариев, целиком основана и, в свою очередь, служит основанием для так называемой теории пассивного вулканизма, сторонники которой составляют большинство среди представителей современных магматических школ. Естественно, что прежде чем говорить о прочности здания клоосовской теории, необходимо сначала взглянуть, насколько прочен фундамент, на котором построено это здание, ибо прочность фундамента в первую очередь определяет прочность и устойчивость всей постройки.

В своих общих кратких замечаниях по этому поводу я не буду проводить детальной фактической критики, оставив это для другого раза, а ограничусь главным образом только методологической стороной вопроса, ибо достоверность любого научного обобщения определяется прежде всего степенью соответствия его основным законам диалектического материализма, как это с достаточной неопровержимостью показали его великие основоположники.

Современная геология располагает многочисленными фактами, указывающими на наличие какой-то общей генетической причины не только для земного вулканизма, но и для всех основных видов движения в земной коре. Например известно, что проявления вулканизма приурочены ко времени и месту проявлений механических движений в земной коре, причем не везде одинаково, а в соответствии с интенсивностью и характером этих движений. Так, с местами наиболее интенсивных движений („замыкающаяся“ геосинклиналь) связан наиболее интенсивный—интрузивный тип вулканизма, сопровождаемый переработкой и поглощением колоссальных масс в земной коре, в то время, как с местами менее интенсивных движений (главным образом колебательного типа), связан менее интенсивный,—эффузивный тип вулканизма, характеризуемый упрощенными взаимоотношениями магмы со вмещающей ее толщей. Известно также, что определенные эпохи вулканизма обладают повсеместно выраженными общими чертами как со стороны вещественного состава образуемых пород и характера связанных с ними полезных ископаемых (рудных и нерудных), так и со стороны формы

вулканизма (преобладающей глубинной, или преобладающей поверхностной), хотя вместе с тем каждая вулканическая область обладает также и индивидуальными геологическими и химическими чертами. Кроме того известно, что наиболее мощные эпохи вулканизма проявляются одновременно на обширных участках земли, хотя сама вулканическая эпоха состоит из многократных (многофазных) вторжений магм, проявляющих себя в разных районах по разному. В вещественном отношении уже давно установлено, что несмотря на многообразие химических элементов в магмах и окружающих их породах, существуют не какие угодно, а определенные типы изверженных горных пород и их ассоциаций, которые кроме того проявляются не везде одинаково, а в зависимости от характера движений земной коры. Например, для областей, где происходили наиболее интенсивные и сложные движения (геосинклиналей), более характерны кислые, гранитные породы, в то время, как для областей, где происходили менее интенсивные и сложные движения (платформ) более характерны основные, базальтовые, щелочные породы и т. п.

Подобные примеры, перечисление которых можно далеко продолжить, указывают на глубокую внутреннюю связь, существующую между общим развитием Земли и проявлениями вулканизма, как частного случая этого развития. Казалось бы, что все эти факты должны были привести теоретиков к критическому пересмотру господствующих представлений о развитии Земли и к глубокому всестороннему анализу тех процессов, чье взаимодействие обуславливает совокупное движение верхних зон Земли во всех его конкретных формах. Однако теоретики предпочитают идти по старому метафизическому пути, стараясь вывести все геологические движения, в том числе вулканизм, из существующих воззрений на Землю, предполагающих отсутствие общего качественного изменения всей ее материи, и стремящихся свести все геологическое развитие Земли существенно к механическим отношениям¹⁾.

Особенности вулканизма по отношению к другим структурообразующим процессам, имеющим место в земной коре, определяются тем, что в формировании геологических структур здесь принимают участие сложные надмеханические процессы, приводящие к созданию высокоэнергетических систем—магм, способных к самостоятельному качественному изменению и к активному преобразованию окружающих их толщ. Поэтому центральным вопросом проблемы вулканизма является вопрос о природе вулканизма, как наиболее сложной формы проявления общего развития Земли, т. е. о природе тех процессов, которые обуславливают образование, вторжение магматических материалов и завоевание ими пространства.

Как же решают петрологи и тектонисты этот вопрос?

Современная геотектоника строит свои обобщения главным образом на постулате о том, что Земля может развиваться только за счет унаследованной от звездного состояния тепловой энергии, унаследованной радиоактивной энергии и внешних сил—притяжения солнца и луны, вращения Земли и проч. Этот постулат предполагает, что если между центральными и внешними зонами Земли и существует надмеханическое взаимодействие, выражающееся в миграции тепла от центра к периферии, то оно определяется только теплопроводностью, которая так мала, что практически можно говорить о надмеханической независимости развития верхних зон Земли от развития ее внутренних зон. Поэтому, раз в верхних зонах Земли имеют место надмеханические геологические движения, такие, как вулканизм и глубинный метаморфизм, то эти движения обладают определенной автаркией, надмеханической независимостью от центральных зон

¹⁾ Этому вопросу посвящена готовящаяся мной к печати работа: „Проблема развития Земли“.

Земли и разыгрываются за счет энергетических ресурсов верхних ее зон, черпаемых ими из унаследованного запаса тепловой энергии, или посредством радиоактивного распада, или перехода механических движений в свой тепловой эквивалент.

Но такие надмеханические причины не имеют необходимой связи с общим развитием всей материи Земли, и зависят главным образом от местных условий, имея частный характер. Поэтому из таких надмеханических причин нельзя вывести общие закономерности вулканизма, требуемые фактами, хотя вулканизм и есть явление прежде всего надмеханического порядка.

Теоретическое разрешение данного противоречия производится старым испытанным в метафизическом естествознании способом: собственно вулканизмом объявляется только вторжение магмы и завоевание ею пространства, в то время как образование магмы относится к подготовительному периоду вулканизма, когда при помощи имеющихся в распоряжении теоретиков надмеханических причин создаются сходные материалы—магмы, как необходимая предпосылка вулканизма, являющая собой особую проблему, разрешаемую отдельно.

При таком разрешении вопроса о роли надмеханических движений в вулканическом процессе объяснение причин совпадения вулканизма с механическими движениями в земной коре естественно ищут в механической взаимообусловленности этих движений, т. е. в механических взаимодействиях готовой магмы и ее окружения, сопровождаемых, в силу специфических свойств магмы (высокая температура, выделение активных газовых продуктов и т. д.), некоторыми надмеханическими явлениями (расплавление, ассимиляция, контактовый метаморфизм и т. д.), не имеющими непосредственного отношения к движению магмы и представляющими самостоятельную группу процессов, разбираемых отдельно. Короче говоря, теоретическое обобщение проблемы вулканизма пошло не по пути выявления общего взаимодействия процессов вулканизма и тектонических движений во всей их сложности и многогранности, а по пути разделения общего процесса на ряд самостоятельных, изолированно рассматриваемых процессов, по пути выдвижения идей родоначальных материалов, в которых взаимоотношения движений оказались подмененными взаимоотношениями тел, вещей.

Как обычно решается проблема: тектоника и вулканизм?

Принимается, что во всем процессе вулканизма магма выступает как более или менее компактное тело, способное передавать механическое давление, чем и обуславливаются основные черты взаимодействия магмы с ее окружением. Магма или давит на это окружение, будучи распираема собственными газами, чем и вызывает в нем дислокации (так называемый „активный вулканизм“), или воспринимает давление со стороны окружения, передвигаясь под его влиянием (так называемый „пассивный вулканизм“).

Но если придерживаться активного вулканизма, т. е. идеи самодвижения магмы, то при неясности и частном характере надмеханических предпосылок вулканизма общие его закономерности не поддаются удовлетворительному объяснению, тем более, что сам способ активного движения магмы, рисуемый сторонниками активного вулканизма, основывается на целом ряде недоказанных допущений, поскольку он применяется ими не для частных случаев, а для основных проявлений вулканизма и тектоники. Поэтому большинство теоретиков предпочитает придерживаться идей пассивного вулканизма, выводящих общие закономерности вулканизма и тектоники через общность механических сил, якобы единственно обуславливающих и то и другое движение, ибо в глазах большинства геологов вторжение магмы и заполнение ею пространства есть процесс

тектонический, т. е. такой процесс, который представляет механическое движение, приводящее к преобразованию структур.

Стремление свести почти всю геотектонику именно к механическим силам весьма характерно для современной геологической мысли, представители которой в своей главной массе предпочитают не утруждать себя проникновением в тайны строения и развития земной материи, отдаваясь предпочтительно легко доступным для так называемого „здорового смысла“ упражнениям в плавании среди мелководной стихии механистических рассуждений. Здесь не нужно исходить из анализа того или иного сложного геологического явления, как необходимости, вытекающей из сущности внутреннего развития Земли. Стоит только найти источник достаточной по величине механической силы, хотя бы и не имеющей никакого отношения к собственному развитию Земли, как задачу уже можно считать наполовину решенной: сила есть, теперь можно, отвлекаясь от происхождения этой силы, употребить ее для производства различных геологических структур.

Принимается, что дифференциация общего тектонического движения, вызванного полученной каким-либо образом силой, на ряд производных или относительных движений, обуславливающих разнообразие геологических структур, зависит, в соответствии с механическим экспериментом, от механических свойств деформируемых материалов. Механические силы и механические свойства различных участков коры—вот главное, что определяет развитие геологических структур на Земле.

Применительно к вулканизму эту мысль наиболее ярко выразил немецкий теоретик С. Бубнов в своей полуфилософской работе „Основные проблемы геологии“.

„Плутогенез, т. е. поднятие расплавленных масс и образование вмещающего их пространства, и орогенез, т. е. перемещение в пространстве твердых пород, являются только отдельными проявлениями одного и того же процесса, различие которых зависит от физического состояния материала в каждый данный момент. Этот вывод, показывающий, что плутогенез является только орогенезом высокоподвижного, т. е. очень пластического материала, естественно не должен еще сейчас претендовать на абсолютную достоверность в смысле логически полной законченности цепи умозаключений. Однако...данная „рабочая гипотеза“ имеет сравнительно с другими предположениями гораздо больше вероятия, основываясь в несравненно меньшей степени на недоказанных и не могущих быть проверенными на фактах допущениях“ (стр. 76).

Таким образом, сторонники „пассивного вулканизма“ считают, что пластические свойства магмы есть причина вулканизма, как особого геологического движения, и что сущностью вулканизма является механическое перемещение готового материала в пространстве, при неизменном качестве этого движения, являющегося от начала до конца механическим движением.

К подобным взглядам в геологии весьма подходит характеристика Энгельса, данная им современникам Видеману и др., проповедывавшим механические теории электрического тока.

„Исключительный эмпиризм, позволяющий себе мышление в лучшем случае разве лишь в форме математических вычислений, воображает себе, будто он оперирует бесспорными фактами. В действительности же он оперирует преимущественно традиционными представлениями, устаревшими большей частью продуктами мышления своих предшественников... Последние кладутся им в основу бесконечных математических выкладок, в которых из-за строгости математических формул легко забывается гипотетическая природа предпосылок. Насколько скептически этот эмпиризм относится к результатам современной ему научной мысли, настолько же суе-

верно относится он к результатам мышления своих предшественников. Даже экспериментально установленные факты связываются у него мало по малу неразрывным образом с соответственными традиционными толкованиями их.... Этот эмпиризм не в состоянии изображать правильно факты, ибо в изображение их у него неизбежно входит традиционное толкование фактов" (Диалектика природы 1932 г., стр. 184—185).

Примером подобного традиционного толкования фактов и является теория Клооса, который на фактах внутренней тектоники интрузивов постарался доказать, что „следы движений в жидкой и застывающей массе совершенно гармонично и согласно отвечают горообразовательным движениям в окружающих породах“ (3,76), чем представил „неопровержимые доказательства“ достоверности теории пассивного вулканизма и торжества метафизики.

Между тем, накопленные геологические факты, достижения таких новых наук, как геохимия, открывшая новые пути для глубокого анализа содержания процесса вулканизма, все это представляет в ином свете взаимоотношения отдельных процессов в общем вулканическом процессе. Все более начинает проясняться, что образование, внедрение и становление магмы не есть отдельные независимые друг от друга процессы, а есть явления, причинно тесно связанные друг с другом далеко не механическими связями. В этом отношении различные явления, сопровождающие вулканический процесс, такие как палингенез, анатексис, различные виды ассимиляции и контактового метаморфизма, и, с другой стороны, случаи отсутствия значительного преобразования пород в обломках погруженных в магму и в контактах, все эти противоречивые факты начинают выступать не просто, как отдельные случаи магматического процесса. Рассмотрение вулканического процесса в его развитии заставляет нас подойти к анализу этих „отдельных случаев“ в их взаимосвязи между собой, вскрывающей развитие общего процесса вулканизма. Все эти различия явлений, сопровождающих и характеризующих вулканический процесс, начиная от сложных процессов преобразования пород в магму и смешения глубинных и местных материалов и кончая простой инъекцией без контактово-метаморфических изменений, показывают нам на стадийность развития вулканического процесса, который так же, как и всякий другой естественно развивающийся процесс, должен иметь свою магистральную линию эволюции.

Многочисленные споры о том, как магма завоевывает себе место в пространстве, сопровождаемые приведением обильных фактических доказательств, в сумме противоречащих друг другу, основаны на понимании вулканического процесса, как процесса, лишенного внутреннего эволюционного развития, основаны на понимании геологической жизни Земли, как суммы механических движений, происходящих под влиянием суммы неких механических сил.

Современная наука о вулканизме обладает достаточными материалами для того, чтобы сверху до низу пересмотреть старые механистические представления о вулканизме, и в частности механистические представления о внутренней структуре изверженных тел, ибо структуры и динамическая взаимосвязь структур, вытекающих одна из другой и следующих одна вслед за другой, есть отображение содержания процессов, их породивших, вытекающих один из другого и следующих один вслед за другим.

В этом отношении всестороннее изучение прототектоники интрузивов может оказать огромную услугу теоретику, посвятившему свой труд изучению сущности вулканического процесса, характера движений, обуславливающих его и взаимосвязи этих движений в ходе общей эволюции вулканического процесса, ибо все эти процессы не могут не отразиться на структуре возникающих из магмы пород.

В самом деле, ход процесса кристаллизации магмы и характер возникающих при этом структур, должны протекать во взаимодействии с симметрией кристаллизационной среды (16, 58), а посленая должна зависеть от характера интрузивного процесса. Известное правило взаимодействия симметрии растущего кристалла и кристаллизационной среды гласит, что „во внешней форме кристалла сохраняются только те элементы симметрии, которые являются общими для среды и для идеального кристаллического многогранника“ (43, 166). Это влияние симметрии кристаллизационной среды сказывается не только на форме кристалла, но и на ходе процесса кристаллизации (16, 116), на ориентации возникающих кристаллов (79), и т. д. Математический анализ показывает, что всякая среда, состоящая из статистически распределенных частиц, может обладать весьма разнообразной симметрией, отличающейся от шаровой симметрии пустого Эвклидова пространства (43, 164; 16, 116). Эта симметрия будет определяться, с одной стороны, внешними причинами, создающими в данной среде определенное поле: гравитационное, магнитное, поле, созданное внешним ориентированным давлением и т. д.; с другой стороны, симметрия среды будет определяться внутренними причинами, обусловленными внутренним развитием самой среды: ее движением, энергетическими процессами, имеющими в ней место, и т. д. Следовательно, симметрия такой среды, как магма, будет определяться, с одной стороны внешней исторической обстановкой, в которой имеет место развитие интрузивного процесса, а, с другой стороны, характером развития этого интрузивного процесса, его эволюцией.

Возможности, которые объективно уже имеются в области изучения структур изверженных тел и анализа при их помощи существа вулканических процессов, далеко перешагнули те метафизически ограниченные идеи, на которых пока еще остаются современные ведущие течения в структурной геологии (Клоос, Зандер и др.). Вместо всестороннего анализа взаимодействия структурообразующих процессов, все эти тектонические школы фактически занимаются тем, что пытаются все тектонические структуры, начиная от складки и трещины и кончая прототектоникой изверженных пород, объяснить на один механический лад, выставляя в своих рассуждениях магму как просто пластический материал, как глину, как жидкость „вообще“; а не как сложнейшую энергетическую систему, в которой под эволюцией внешних механических свойств (расплавление—твердое тело), скрываются сложные, почти неразгаданные еще надмеханические процессы, о которых мы пока имеем только поверхностные сведения.

Однако тектонические построения Г. Клооса содержат в себе моменты, выходящие из границ той метафизической методологии, которая делает теорию Г. Клооса принципиально неприемлемой. В его идеях содержится признание того, что условия механического движения магматических масс меняются с их развитием, а следовательно, меняется и характер возникающих в результате этого структур, которые рассматриваются им в динамической связи друг с другом. Иными словами, Клоос развивает идею тектонической эволюции магмы, что выгодно отличает взгляды Г. Клооса и его последователей от взглядов других сторонников школы пассивного вулканизма, ограничивающих свои рассуждения проблемой перемещения магмы в пространстве. И хотя эта эволюция сводится почти целиком к изменению механических свойств магмы, т. е. к одной стороне многогранного процесса эволюции вулканического акта, при забвении ее других сторон, все-таки это уже значительный шаг вперед, сдвигающий учение о структурах изверженных тел с мертвой точки, на которой оно стояло до Клооса. К этому следует добавить по крайней мере следующие ценные моменты, которые можно поставить

в заслугу Г. Клоосу перед теоретической мыслью в области структурной геологии.

1) Признание, что ориентированные структуры интрузивов возникают в движении магматических масс.

2) Выдвижение положения о том, что в процессе движения магматических масс могут иметь место явления дифференциации, как следствие этого движения.

3) Утверждение, что после затвердевания магмы интрузив теряет свои специфические свойства высоко-подвижной системы и превращается в „тектонический трансформатор“, в простой передатчик механических напряжений, приравниваясь в этом отношении к вмещающим его породам. Под влиянием воздействия общих, независимых от интрузива, механических напряжений, в нем возникают однотипные с его окружением структуры—системы трещин, ориентация которых является в общем случае одинаковой с ориентацией тех же структурных элементов во вмещающих породах, поскольку она обусловлена ориентацией общих механических напряжений.

4) Доказательная защита положения, что некоторые интрузивы тела возникают в результате простого заполнения магмой образующегося вмещающего пространства, происходящего без значительного участия ассимиляционных явлений.

5) Разработка положения о том, что такие интрузивные тела могут возникнуть в процессе складчатости, принимая в этом случае известное участие в ней и завоевывая себе место путем пластического раздвигания магмой вмещающих пород, и что они могут возникнуть после складчатости (в „фазу разломов“), проявив в этом случае известную независимость от складчатых структур и завоевав себе место путем раздвигания магмой расчлененных трещинами глыб вмещающих пород.

Все перечисленные моменты, и то обстоятельство, что Г. Клоос по существу первый провел широкое и планомерное исследование тектоники интрузивов, выработав при этом специальную методику, которая нашла себе широкое применение в практике, в том числе и в промышленности (камнеломное дело), составляют огромную заслугу Г. Клооса и в известной мере объясняют ту большую популярность, которой пользуется его теория (не говоря о его методике) среди массы геологов.

Поэтому, выступая с развернутой критикой теории Г. Клооса и с попытками принципиально нового решения проблемы тектоники интрузивов, я вместе с тем ставлю своей задачей подчеркнуть и несколько развить то наиболее ценное, что внес в структурную геологию Ганс Клоос.

III. ПРОТОТЕКТОНИКА В ИНТРУЗИВНЫХ ТЕЛАХ, КАК РЕЗУЛЬТАТ ПРОЦЕССА САМОРАЗВИТИЯ ИНТРУЗИИ

I. ВЛИЯНИЕ РАЗВИТИЯ МАГМАТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ВНУТРЕНнюю СИММЕТРИЮ МАГМ

Большинство геологов, занимавшихся вопросом о возникновении разнообразных прототектонических структур, понимает это возникновение, как перераспределение в пространстве структурных элементов вследствие механических причин, сводящихся к двум основным моментам: гравитационному эффекту (погружение и всплывание) к поступательному движению магмы, понимаемому как результат давления со стороны. Таким образом, прототектоника понимается как структура, возникающая, главным образом, под действием внешних по отношению к магме, механических сил, проявляющих свое действие не только в магме, но и вне ее.

При таком рассмотрении прототектоники получается, что физические и химические условия возникновения и роста кристаллов или образования той или иной разновидности горной породы, и условия возникновения ориентации кристаллов или ориентации разновидностей пород в интрузии, рассматриваются как два явления, находящиеся между собой лишь в механической взаимосвязи. В соответствии с этим производится своеобразное „разделение труда“: все процессы, в которых проявляются надмеханические формы движения материи в магме (образование минералов, несмешивающихся магм и пород), относятся к области минералогии и петрологии, пользующихся в своих построениях всеми достижениями современных физики и химии; с другой стороны, все процессы, приводящие к возникновению ориентированных структур, считаются областью проявления механической формы движения материи и относятся к области тектоники, пользующейся в своих построениях существенно одной ньютоновской механикой.

Таким образом, магматический процесс искусственно раздваивается на имманентно свойственный магме процесс образования минералов и пород и на процесс образования разного рода ориентированных тектонических структур, обязанных в своем появлении главным образом, причинам, внесенным в магму извне, т. е. независимым от магмы, как саморазвивающейся системы. Благодаря такому пониманию прототектоники, многие тектонисты считают для своих целей возможным рассматривать магму как просто механическую смесь компонентов, обладающих разными механическими свойствами, и в соответствии с этим производят свои экспериментальные исследования, призванные подтвердить ту или иную точку зрения. В этих экспериментах фигурируют смеси из текущей воды и дров в ней плавающих, смеси обломков кристаллов и вязких жидкостей и т. п., т. е. разнообразные механические смеси из компонентов, обладающих разными механическими свойствами, которые качественно (!) уподобляются магме. Благодаря этому качественному уподоблению данные механического опыта почти без изменений переносятся на магму. Например, установив, что дрова в текущей воде стремятся расположиться параллельно, и сравнив полученные результаты с аналогичной по внешнему виду структурой в изверженной породе, делают обобщение, что та и другая структура есть во всех случаях результат механического движения смеси из твердых компонентов и жидкой среды, находящихся между собой в механической взаимосвязи, и на этом ставят точку.

Именно на этом принципе и основаны взгляды Г. Клооса на внутреннюю структуру интрузивов, которые были изложены нами в предыдущей главе.

Однако можем ли мы, даже для тектонических целей, рассматривать магму только как механическую смесь из компонентов, обладающих разными механическими свойствами, хотя бы количественно во времени и меняющимися (повышение вязкости магмы)? Ведь в процессе развития магмы происходит не только количественное изменение различных свойств ее составных частей, но и качественное изменение их, происходящее благодаря их взаимодействию. Это изменение качеств происходит в области надмеханической, где проявляют себя самые разнообразные формы энергии, многие из которых в магме изучены еще слабо, а некоторые, повидимому, еще и совсем неизвестны. Здесь происходят сложнейшие процессы перегруппировки молекул и атомов, обуславливающие явления докристаллизационной дифференциации, еще слабо изученной; здесь имеют место возникновение, рост и изменение кристаллических решеток—разнообразных минералов, и образование их скоплений—определенных видов горных пород и т. д. Если в магме происходят какие либо механические пространственные перемещения, то они влекут за собой пространственные

перемещения других видов энергии, перемещения бесконечного количества заряженных частиц, между которыми имеет место надмеханическое взаимодействие. Поскольку магма является системой энергетически неоднородной, в ней могут иметь место разнообразные энергетические потоки и поля, выходящие из рамок механических движений. Поэтому, когда говорят, что ориентированные структуры являются результатом только механических видов движения, проявляющих себя по отношению к явлениям роста кристаллов и т. д. как бы независимо, и сравнивают процесс возникновения этих структур с распределением хотя бы дров в текущей воде, не пытаясь пойти дальше, то это вызывает весьма законные сомнения, тем более, что нам уже известны из физики примеры, когда ориентация растущих кристаллов определяется не только механическими видами движения.

Например, исследования Гросса еще в 1920 г. (79) показали, что раствор серы в сероуглероде при приложении электрического поля приходил в движение и давал кристаллы серы только на аноде. При этом образовавшиеся ромбические кристаллы серы с осью *c* росли по току. С тех пор была проделана целая серия работ, существенно с переохлажденными жидкостями, по выяснению влияния на кристаллизацию из расплава или раствора ряда диэлектриков радио-излучения, рентгеновских лучей, электрических и магнитных полей. Эти работы показали, что все эти влияния, особенно влияние электрического поля, улучшают условия кристаллизации в веществах, имеющих диполи. Это объясняется тем, что под влиянием электрического поля диполи приобретают общую ориентацию, и этим улучшается самопроизвольное зарождение центров кристаллизации (16, 113). Это же, повидимому, влияет и на ориентацию возникающих кристаллов, как в опытах Гросса. Интересно, что Г. Е. Мухин и С. С. Уразумовский, проделывавшие опыты с салолом, нашли, что химических изменений молекулы салола в электрическом поле не претерпевали. С другой стороны, поле не вызвало освобождения салола от следов загрязнения и влажности. Применялось в опытах электрическое поле порядка 10000 V/см (16, 118).

Не менее интересны исследования Горского, Кондогури и др. о существовании в приграничных слоях плоских препаратов значительных энергетических полей. Влияние поверхности сводится к ориентации частиц, простирающейся глубоко внутрь препарата. С увеличением расстояния от поверхности число ориентированных частиц падает (16, 118—120). В работах Кондогури с серой им было выявлено, что поле, перпендикулярное к плоскости препарата, дает повышение всей кривой кристаллизации системы, в то время как параллельное поле дает понижение кривой. Объясняется это тем, что перпендикулярное поле действует согласно с полем по поверхности покрывающего препарат стекла, поле параллельное расстраивает ориентирующее действие поверхностного поля (16, 120).

К сожалению, подобные исследования еще не многочисленны, мало разработаны и проводятся пока только с легкоплавкими материалами. Однако они довольно наглядно показывают, какое влияние на ход и характер кристаллизации могут оказать электрическое, магнитное и другие поля. Конечно, мы не можем данные этих опытов целиком переносить на магму, тем не менее, они должны побудить в нас инициативу по отысканию явлений подобного рода и в магматических системах, как системах, в которых проявляются высоко-энергетические процессы.

Одинаковые результаты еще не предполагают тождественности причин их породивших—аксиома всем известная, и если, несмотря на это, почти все тектонические структуры выводятся из одних механических движений, то это происходит не из того, что все эти структуры действительно есть результат одной причины, а из того, что тектоника, как наука, построена

в основном на принципах метафизического мышления, и до сих пор не переросла рамок ньютоновской механики, которыми ее ограничило это метафизическое мышление.

Кристаллизация магмы обнимает конечный этап ее развития. Естественно, что механические виды движения в ней могут здесь играть огромную роль в пространственном распределении кристаллизующихся из магмы твердых компонентов, поскольку кристаллизующаяся магма, кроме своих прочих качеств, является также смесью компонентов, обладающих разными механическими свойствами. Однако магма является высоко-энергетической системой, в которой могут проявляться самые разнообразные энергетические процессы, в которой простое механическое движение масс влечет за собой пространственное перемещение и надмеханических видов движения, что может в свою очередь индуцировать различные энергетические поля и т. д. Поскольку магма является системой саморазвивающейся, все процессы, имеющие в ней место, не могут протекать вне общей взаимосвязи. Если магма движется, то свойства этой движущейся магмы не могут быть тождественными со свойствами покоящейся магмы, что не может не отразиться на характере процесса ее развития, на ее внутренней симметрии, как кристаллизационной системы, а, следовательно, и на структуре пород, из нее возникающих. Можно сказать, что этот вопрос почти совсем не изучен; однако это еще не значит, что пока нельзя говорить о возможной роли этих, проявляющихся в магме, сложных энергетических явлений—в дифференциации магм, в проявлениях прототектоники и т. д. И мы постараемся показать в дальнейших описаниях, что имеется целый ряд фактов в проявлениях прототектоники, которые нельзя объяснить одними только механическими причинами и которые указывают на более сложное развитие интрузий, нежели это принимается при распространенных петрологических и тектонических заключениях. Конечно, мы не можем пока выходить в своих исследованиях из рамок простой постановки вопроса в первом приближении, но и такая работа имеет уже известный смысл и значение.

2. ПЕРВИЧНАЯ ПОЛОСЧАТОСТЬ

Наиболее резко прототектоника выражена в так называемых первично-расслоенных плутонах, т. е. плутонах, внутри которых наблюдается резко выраженная первичная полосчатость, проявляющаяся в чередовании полос разного минералогического состава. Это явление особенно распространено в основных и щелочных породах, но встречается оно и в гранодиоритах, проявляясь там подобным же образом. Примеры первично-расслоенных плутонов довольно многочисленны, и многие из них, такие, как например, Бушвельдский комплекс, имеют за собой огромную литературу.

Р. Коутс (15) следующим образом описывает характер первичной полосчатости в основных плутонических породах:

„Во многих телах основных плутонических пород имеется полосчатость, обусловленная чередованием минералогически-несходных слоев. Эта полосчатость может быть в любом положении (направлении), но обычно она параллельна контактам. Мощность полос может колебаться от нескольких миллиметров до многих метров, и переходы между ними могут быть постепенными или резкими. Много полос расщепляется или местами искривлено, искажено, с переменной мощностью. В некоторых интрузиях пластинчатые минералы расположены параллельно полосчатости. Текстуры соприкасающихся полос разнятся очень мало, и кристаллы обычно сообщаются поперек контактов. Протокластическая структура встречается редко“.

Это резюме Р. Коутса в достаточной мере отражает главные черты первичной полосчатости не только в основных плутонах, но также и в плутонах кислых и щелочных.

Холл, описывая Бушвельдский комплекс, отличает местную полосчатость (полосы разной меланократовости, мощностью от нескольких сантиметров до нескольких миллиметров) от региональной (повторение в разных горизонтах мощных пластов или линз высоко-специализированных дифференциатов). В плоскости полосчатости единая линейная ориентация компонентов отсутствует, в то время, как план-параллельное расположение в плоскости полосчатости обнаруживается и в призматических и в столбчатых кристаллах (70).

В габбро-лабрадоритах Волыни, по описаниям А. А. Полканова (29), первично-полосчатая текстура проявляется как в изменении структуры породы—грубозернистой в среднезернистую и крупнозернистую, так и в изменении минералогического состава (существенно в чередовании лейкократовых и меланократовых пород). Границы полос резкие или расплывчатые. В центральных частях плутона помимо полосчатой текстуры развито неправильно-шлировое, приближающееся иногда к эллипсоидальному, сложение, обусловленное появлением вытянутых в горизонтальной плоскости шпир, сложенных теми же породами, что и слои план-параллельной, полосчатой текстуры. Контуры шпир, как и полос, то резкие, то расплывчатые. Своеобразные план-параллельные текстуры образуют порфиновые вкрапленники плагиоклаза, которые иногда перераспределяются в пространстве, вплоть до образования слоев порфировидной породы в среднезернистой породе с небольшим количеством вкрапленников.

Чрезвычайно интересным примером первично-расслоенного плутона является Ловозерский щелочной плутон на Кольском полуострове, с которым мне посчастливилось ознакомиться лично летом 1937 г. Этот плутон весьма детально структурно разработан коллективом сотрудников Сев. Зап. отделения Союзредметразведки: В. А. Унксовым, А. В. Ваниловской, А. С. Сахаровым, Н. К. Нефедовым, К. Зеленковым и целым рядом других, под консультацией Н. А. Елисеева (11, 16).

Согласно их исследованиям, Ловозерский плутон представляет из себя своеобразный „слоеный пирог“, сложенный четырьмя основными горизонтами, каждый из которых представляет самостоятельную фазу интрузии, тем более молодую, чем она выше. Все эти горизонты, залегающие в общем почти горизонтально, сложены разнообразными нефелиновыми сиенитами, причем валовой состав пород, объединенных по фазам интрузии, показывает уменьшение количества калинагрового полевого шпата от фазы к фазе, при увеличении количества эгирина и роговой обманки (45). Внутри каждой фазы наблюдается чередование слоев различного петрографического состава, выдерживающееся на больших пространствах, т. е. образующее своеобразную псевдостратификацию.

Эта псевдостратификация является в некоторых фазах поразительно выдержанной, особенно в комплексе второй фазы, разрез которого более или менее постоянен для всего Ловозерского плутона. Это позволило работавшим на нем геологам при картировании пользоваться методами, употребляемыми при геологической съемке в осадочных породах. Поэтому составленные детальные геологические карты по внешнему виду получились чрезвычайно похожими на геологические карты районов, сложенных осадочными, слабо дислоцированными комплексами.

Помимо такой псевдостратификации, внутри некоторых „стратослоев“ наблюдается еще чередование полос меланократового и лейкократового состава.

Несколько менее широко, чем псевдостратификация, развита трахитоидность, выраженная в субпараллельном расположении лейст полевого шпата с сильно развитыми гранями (010), достигающая в отдельных гори-

зонтах (луявриты) высокого совершенства. Тем не менее линейная ориентировка полевых шпатов и кристаллов эгирина отсутствует. Явлений как такового, за исключением пород первой фазы, также не наблюдается.

Близ контактов, а также около крупных глыб-ксенолитов, псевдостратификация и трахитоидность приобретают крутые углы падения.

Приведенных примеров достаточно, чтобы составить себе известное представление о характере первичной полосчатости в плутонах. Надо заметить, что расположение первичной полосчатости в пространстве встречается крайне разнообразное. Преобладают плутоны со сравнительно пологим залеганием первичной полосчатости, однако не очень редко встречаются и плутоны с крутыми до отвесных падениями ее. Прекрасный пример подобного рода описан В. А. Николаевым (21), изучавшим щелочные породы реки Каинды в Таласском Алатау; первично расслоенный щелочной плутон здесь образует длинновытянутый шток с крутыми, почти отвесными контактами, в котором первичная полосчатость располагается в общем согласно с вытянутостью штока, имея везде параллельное контактам отвесное падение.

Каким образом возникает первичная полосчатость? Как в одном плутоне происходит одновременное образование полос или слоев, имеющих разный минералогический состав или разную структуру, или то и другое вместе и почему при этом обыкновенно возникает также и план—параллельное расположение кристаллов, слагающих эти полосатые породы? Почему первичная полосчатость повторяет контуры плутона?

Над разрешением вопроса о возникновении первичной полосчатости трудились уже многие геологи, предложившие целый ряд своих объяснений, частично сопровождая их экспериментами с искусственно подобранными механическими смесями (15). Здесь выдвигались положения о послойной инъекции (*lit-par-lit*), о выжимании остаточного расплава, об ассимиляции ксенолитов, о давлении кровли, о повторных, пульсационного характера, давлениях, о пульсирующем выделении минерализаторов, о гравитационных явлениях в магматической камере, где кристаллизующаяся магма находится в состоянии покоя и т. д. (см. сводки 12, 15, 67). Мы не будем здесь разбирать каждую из указанных точек зрения, но отметим, что подобные объяснения встречают такое обилие противоречивых данных, что каждое из них, взятое само по себе, утрачивает ту практическую ценность, которую бы хотели видеть в этих объяснениях их авторы, хотя нельзя отрицать известного частного применения той или иной точки зрения, особенно применения явления гравитации (12). Какова же основная причина возникновения первичной полосчатости?

В процессе накопления и обобщения эмпирического материала возникло новое мнение о том, что причиной, обусловившей образование первичной полосчатости в плутонах, является истечение магматического расплава. Это мнение, высказанное Адамсом (45), Харкером (69; 71), Гроутом (67) и другими, было в дальнейшем развито Г. Клоосом, который построил на нем свое учение о прототектонике интрузивов. Г. Клоос в своих работах обосновал положение, что в процессе движения магматического расплава может иметь место дифференциация кристаллизующейся магмы, как результат этого движения, с образованием в гранитах ленточных биотитовых шлиров. Явления дифференциации в процессе движения были в дальнейшем подробно изучены и разработаны Р. Болком и А. А. Полкановым, давшими замечательные образцы рационального структурного анализа интрузивов, и целым рядом других геологов, следовавших по их пути. За последнее время чрезвычайно интересная работа в этом отношении проделана коллективом сотрудников Сев.-Зап. отделения Редметразведки на Ловозерском плутоне под консультацией ученика А. А. Полканова—Н. А. Елисеева, о чем я говорил уже выше

Одной из весьма поучительных работ в области анализа прототектоники является работа А. А. Полканова—„Несимметричная дайка диабаз с побережья Кольского фиорда“ (25). В ней описывается мощная наклонная дайка диабаз, несимметричное строение которой сводится к несимметричному распределению в ней вкрапленников плагиоклаза, образующих несколько поясов в висячем боку дайки, на фоне симметричного строения основной массы диабаз. Детальное структурное изучение дайки показало, что движение диабазовой магмы по тектонической трещине имело пульсационный характер, т. е. происходило как бы рывками, с временными остановками. Количество поясов диабазовой дайки дает количество этих скачков, или фаз движения. От висячего и лежащего боков дайки к ее центру диабаз становится все более крупнозернистым. Однако увеличение зерна от краев к центру происходит прерывисто: каждый новый пояс—имеет в контакте с предыдущим поясом более крупнозернистое строение; кроме того, диабаз лежащего бока каждого верхнего пояса по сравнению с висячим боком диабаз нижележащего пояса более изменен, что является выражением контактового воздействия новых, более нагретых порций магмы, поднимавшихся снизу на отвердевшие уже края вышележащих поясов. Каждый новый скачок движения отмечается флюидальным строением основной массы внешнего края пояса. Временное затухание движения приводит к постепенному исчезновению флюидальной текстуры.

Как уже было сказано выше, вкрапленники плагиоклаза образуют ряд скоплений—поясов в висячем боку жилы. Количество таких поясов характеризует число скачков—движений магмы по трещине. Эти скопления вкрапленников плагиоклаза являются элементами, возникшими в процессе движения магмы, в результате всплывания уже возникших вкрапленников плагиоклаза в неотвердевшей еще массе (явление гравитации) и одновременного переноса их вместе с движущейся магмой. Для подтверждения своей точки зрения автор произвел опыт—расплавил породу дайки и установил, что кусочки недоплавленного плагиоклаза всплыли в жидкой магме. Кроме того, пользуясь формулой Стокса и Аллена для определения падения и поднятия шаров в жидкой среде, автор подсчитал, что чем больше радиус сферы, тем больше скорость всплывания ее; этим он объяснил факт расположения крупных вкрапленников плагиоклаза выше мелких в профиле дайки.

Таким образом, в своей работе А. А. Полканов показал, что в процессе движения магматического расплава могут возникать полосатые текстуры, как результат динамической кристаллизационной дифференциации и что это явление может дать разнообразие горных пород даже в довольно значительных масштабах. Кроме того, и это очень важно, он показал, что движение магмы, образовавшей диабазовую жилу, имело пульсационный характер, т. е. происходило скачкообразно, что является лишним доказательством скачкообразности магматического тектогенеза вообще.

Работы Р. Болка над структурой Адирондакского плутона САСШ (46;47) блестяще показали применимость структурного геологического анализа прототектоники для решения очень сложных и запутанных петрогенических вопросов. В этой работе Р. Болк показывает, как в процессе движения магмы, путем кристаллизационной дифференциации, из исходной магмы приблизительно диоритового состава возникли нориты и габбро, с одной стороны, и анортозиты, сиениты и нормальные граниты—с другой стороны. В результате трения, возникающего между плавающими минералами и жидкой магмой в процессе их общего движения, а также в результате трения минералов друг об друга, о стенки магматической камеры и о включения, происходит замедление движения минералов, которое приводит к началу аккумуляции твердых тел среди жидкости. Раз

начавшаяся аккумуляция будет возрастать при наличии движения и при постоянном притоке твердых плавающих тел и приведет в результате к образованию слоев или тел неправильной формы, но соподчиненной характеру движения жидкости, в которых твердые плавающие тела будут аккумулироваться в относительно большем количестве, чем в окружающей жидкости. Естественно, что такая полосчатость будет повторять контуры стенок магматической камеры и включений, препятствующих свободному движению магмы. Такими обтекаемыми включениями (блоками) могут оказаться наиболее крупные кристаллы или более ранние скопления минералов и обломки этих скоплений. Подобные „блоковые текстуры“ широко распространены в Адирондакском плутоне.

Интрузирующая магма, поступая из выводящего канала в пологую линзовидную магматическую камеру, расположенную среди сланцев, силой собственного напора расширяла эту камеру, завоеывая таким образом себе место. Возникающие напряжения отразились на структуре образуемых пород в виде явлений протоклаза и протобластеза, сопровождающихся грануляцией более крупнозернистых пород, а также на образовании так называемых „шир-зон“—зон рассланцевания, возникших по окончательной раскристаллизации пород, в результате движений блоков друг около друга, сопровождающихся возникновением трещин, зон смятия, которые „залечивались“ с помощью неотвердевшего еще материала.

К подобного же рода выводам о том, что дифференциация в магме совершается не *in situ* в статическом положении, а в процессе движения магмы, приходит Бубнов,

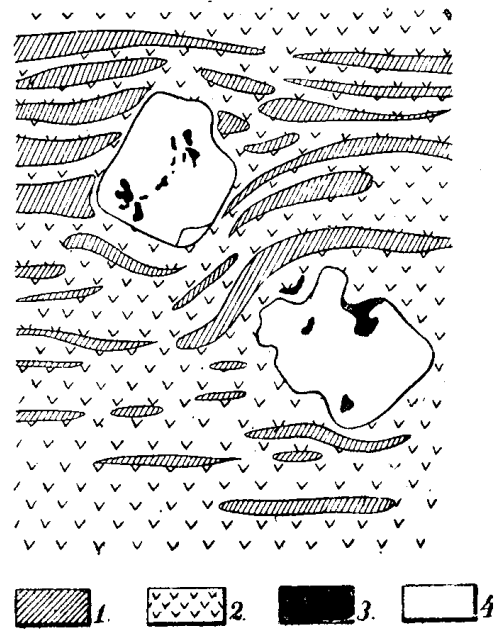


Рис 4. Крупные кристаллы нефелина (блоки) в шлирово-полосатом йолит-уртите (Хибинь). 1—Йолитовые шлиры; 2—уртиты; 3—эгириин; 4—нефелин. (По Н. А. Елисееву)

продельавший детальное тектоно-петрологическое исследование южного Шварцвальда (50), А. А. Полканов, изучавший плутон габбро-лабродоритов на Воьлини (29) и некоторые другие.

Весьма поучительными являются тектонические исследования последних лет, проведенные в Хибинском и Ловозерском щелочных плутонах (11; 12). Здесь широко развиты блоковые текстуры, подробно описанные Н. А. Ели-

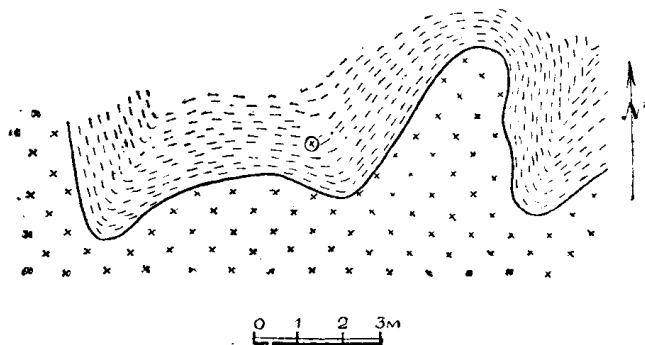


Рис. 5. Непосредственный контакт плотных малинитов с рихсчорритами (крестики) (Хибинь). Трахитоидность в малиньитах повторяет очертания контактовой поверхности (Зарисовка Е. Н. Володина).

сеевым (11), особенно в Хибинах, в районах развития апатитовых месторождений, где кроме кристаллизационной дифференциации в процессе движения магмы, повидимому, была широко развита также и динамическая ликвационная дифференциация.

Пример блоковой текстуры, взятый из работы Н. А. Елисеёва (11), изображен на рис. 4. Но более широко, чем блоковые текстуры здесь развиты текстуры эруптивных брекчий, состоящих из обломков более древней породы (ксенолитов) и еще не застывшего цемента, производного более молодой интрузии (11). Изучение главным образом этих эруптивных брекчий позволило точно установить, что Хибинский и Ловозерский плутоны являются плутонами многофазными, т. е. образованными в несколько

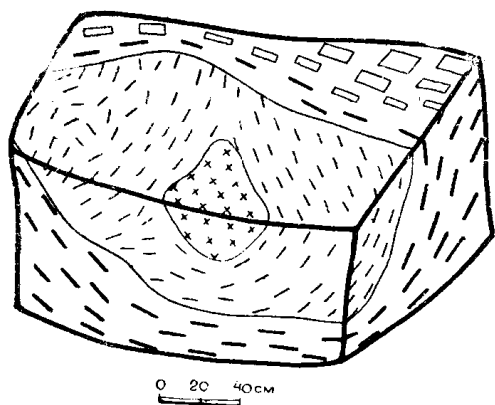


Рис. 6. Блок-зарисовка, показывающая структурные взаимоотношения гнейсов (крестиками), порфириовидных нефелиновых сиенитов, облекающих гнейсы и окружающих их луавритов. Черточками показано направление трахитоидности (Ловозеро).

приемов. Вместе с этим наблюдения над проявлениями эруптивных брекчий еще более убедительно подтвердили, что дифференциация магмы и ориентация компонентов и дифференциатов возникают в процессе движения магмы, а не в ее стационарном состоянии. Эти наблюдения показали, что полосчатость и трахитоидность более молодой фазы повторяют очертания контактов с более древней фазой и ксенолитов более древних фаз и боковых пород, как это показано на рис. 5, взятом из работы Н. А. Елисеёва (11). В результате этого, полосчатость и трахитоидность более молодой фазы могут в известных случаях обрезать полосчатость и трахитоидность более древних фаз, как это, например, изображено на рис. 6, зарисованном мной на г. Страшемпах в Ловозерском плутоне. Мы уже отмечали ранее, что около контактов и крупных ксенолитов вмещающих пород, трахитоидность и полосчатость разных масштабов меняют свое залегание, приспособляясь к форме контакта или ксенолита, как это изображено, например, на рис. 13. Такое изменение залегания прототектоники происходит иногда за несколько десятков, а то и более метров, до контакта, иногда же, как, например, в случае, изображенном на рис. 7, оно охватывает только 5—10 метровую полосу, прилегающую к контакту. Секущие образования жильного типа и прорывающие штоки более молодых фаз имеют свою, независимую от окружающих пород, полосчатость и трахитоидность, следующую границам этих тел, каковые примеры, кстати, явились одним из наиболее веских доказательств, привлеченных Г. Клоосом для объяснения полосчатости, как результата дифференциации в процессе движения магмы.

Чрезвычайно любопытной деталью является имеющая кое-где место гофрировка—складчатость трахитоидности, проявляющая себя как обычная гофрировка в сланцах. Оси мелких складочек, образуемых лейстами плагиоклаза, выдерживаются на довольно значительном протяжении, в местах перегиба складочек лейсты плагиоклаза оказываются кое-где изогнутыми или переломанными. По всем признакам эта гофрировка является простой пластической деформацией, имевшей место до полной раскристаллизации породы. Такую гофрировку я имел случай наблюдать несколько раз в Ловозерском щелочном плутоне. Здесь же вместе с Н. А. Елисеевым мы наблюдали любопытный случай наложения друг

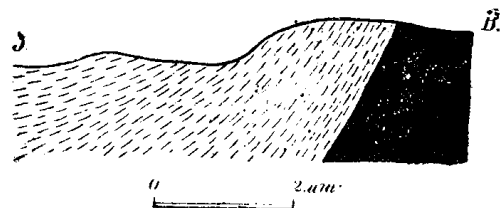


Рис. 7. Контакт луавритов со сланцами (черное). Черточками показана трахитоидность, приспособляющаяся к контакту (Ловозеро).

на друга двух струй одной и той же магмы (луявритовой). Плойчатые луювриты перекрываются неплойчатыми луювритами, слоенными только слегка близ границы, как это изображено на рис. 8. Граница устанавливается отчетливо. Помимо такой правильной пойчатости у контактов с более древними породами кое-где наблюдаются завихрения трахитоидности и переплетения струй, как это изображено на рис. 9 и 10, зарисованных мною также в Ловозерском плутоне.

Приведенные примеры лишней раз подчеркивают роль движения магмы в образовании план-параллельных структур, а также показывают, что в результате проявления местных давлений, до окончательного затвердевания породы, порода может претерпеть деформацию типа складчатости.

Итак, первично-расслоенные плутоны являются, повидимому, плутонами, возникшими путем существенно механического заполнения магмой каким либо способом образующегося в вмещающей толще пространства с параллельной кристаллизационной дифференциацией магмы, проявляющейся в процессе ее движения.

Явления ассимиляции для этого рода плутонов в общем не характерны. Очень часто контактовые воздействия почти не проявляются или проявляются слабо, как это показано, например, на рис. 11.

Г. Клоос, описывая граниты Ризенгебирге, с их тонкой перемежаемостью слоев нормального состава со слоями, резко обогащенными биотитом, приводит спокойное концентрическое расположение полос-ленточ-

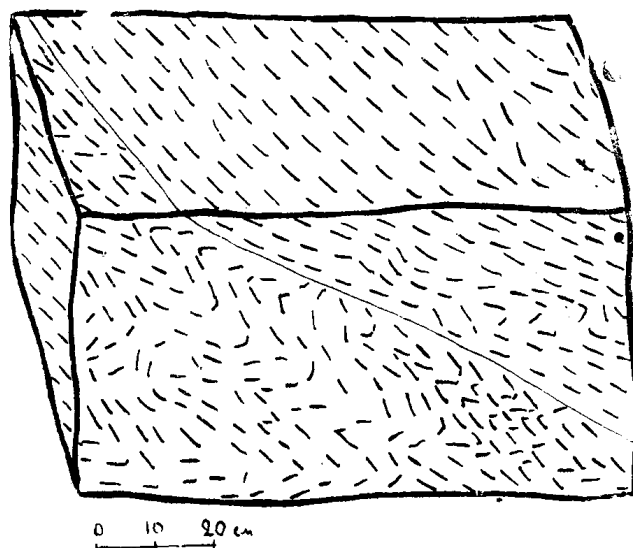


Рис. 8. Блок-зарисовка. Плойчатые луювриты (внизу) перекрываются непойчатыми луювритами (вверху). Черточками показано расположение лейст полевого шпата (Ловозеро).

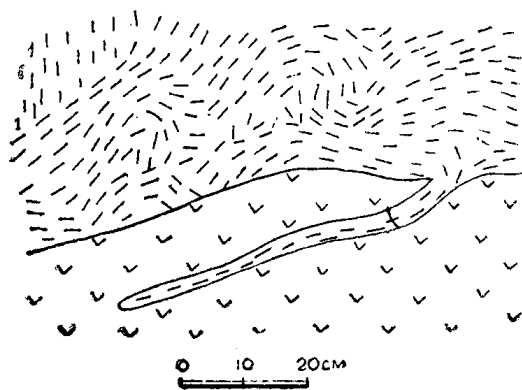


Рис. 9. Деталь поведения трахитоидности луювритов у контакта их с порфиритами. Черточками показано расположение лейст плагиоклаза в луювритах (Ловозеро).

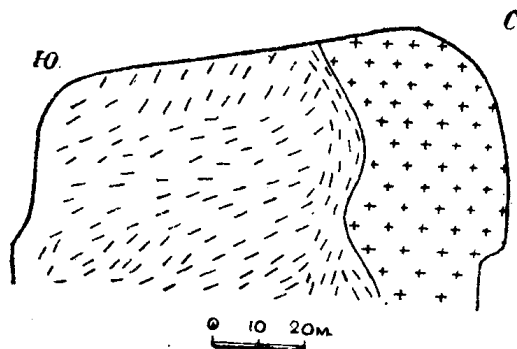


Рис. 10. Переплетение потока трахитоидности в луювритах в контакте их с гнейсами (крестики). Зарисовка обнажения (Ловозеро).

ных шлиров, как одно из доказательств против завоевания магмой себе места путем ассимиляции, так как никаких следов обмена материалов, хотя бы в форме токов конвекции, не наблюдается. Поэтому Г. Клоос считает, что замкнутый фронт сводчатости шлиров несовместим с существованием широкого равномерного подъема магмы в смысле понятия

батолитов, как его трактует, например, Дэли (56, 133). Г. Клоос полагает, что грубое флюидальное строение, или первичная параллельно-полосчатая структура создается в том случае, если магма начала кристаллизоваться перед достижением своего окончательного места. Обратно, в случае, если магма вступила в свою полость во вполне жидком состоянии, образуется не флюидальная структура, а собственно штрекунг. Подобную же мысль о том, что первичная полосчатость возникает в магме, которая начала кристаллизоваться перед достижением своего места, высказывают и другие геологи, в частности Р. Болк и А. А. Полканов. Н. А. Елисеев в статье о геологических структурах Хибинских и Ловозерских интрузивных массивов пишет, что „полосчатость возникла в результате явлений истечения при выполнении полости, в результате выполнения которой и возник интрузивный массив. Очевидно, что в момент выполнения полости магматический материал состоял из смеси твердых кристаллов и жидкой и газообразной фаз, так как лишь в таком случае можно понять возникновение первично ориентированных или послойно расположенных скоплений отдельных кристаллов. Если бы Ловозерский и Хибинский массивы возникли в результате внедрения в полость только жидкой магмы, кристаллизовавшейся в состоянии покоя, как это принято думать, то не было бы и полосчатости“ (12, 5). Что касается генезиса Ловозерских и Хибинских магм, то Н. А. Елисеев считает, что „и структурные взаимоотношения и крайне ограниченные масштабы ассимиляции говорят о сравнительно низкой температуре интрузировавших магматических масс. Наличие хорошо выраженной стратификации, как уже говорилось выше, заставляет думать, что маглообразование совершалось где-то на большой глубине, в пределах же полости (впоследствии интрузивного тела) совершалась кристаллизационная дифференциация, приводившая к возникновению первично расслоенного интрузивного массива за счет первоначальной полупластической массы, представлявшей смесь твердых кристаллов, жидкой и газообразной фаз“ (11, 17).

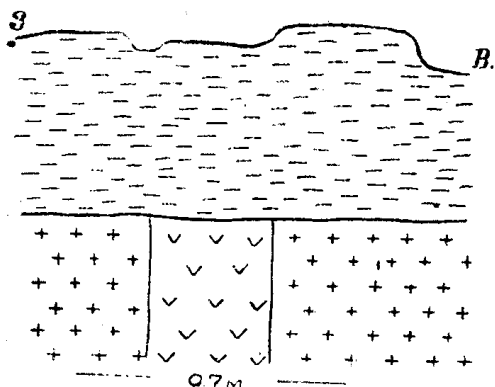


Рис. 11. Зарисовка обнажения. Луявриты, перекрывающие гнейсы, прорваные дайкой порфиринов. Положение трахитоидности в луювритах показано черточками. Все контакты резкие. Контактный метаморфизм гнейсов почти не заметен. (Ловозеро).

Вообще надо сказать, что обычно первично-расслоенные плутоны по казывают значительное или даже резкое отличие по химическому составу от вмещающих пород. Вторгающаяся в полость магма должна обладать значительным внутренним механическим напряжением, чтобы раздвигать стенки своей полости при вторжении. Такое давление магмы на стенки полости может оказать известное влияние на структуру вмещающих пород. Классическим примером в этом отношении являются исследования Болка и Граута (48), которые при изучении одного небольшого (8×5 км) штока нашли, что сиениты и граниты, слагающие шток, по мере приближения к контактам приобретают отчетливо-гнейсовидный облик, причем краевые гнейсы повторяют контуры штока. С другой стороны, осадочная толща (граувакки и сланцы), которая имеет в районе однообразное СЗ простирание, претерпевая около штока ороговикование, вместе с тем приобретает отчетливо выраженную параллельную структуру, приспособляющуюся к контурам штока. По мнению Болка и Граута, согласное расположение краевых гнейсов и ориентированных структур в роговиках

произошло следующим образом: после вторжения интрузии, боковые породы прогрелись и некоторое время находились вместе с краевой частью массива в полупластическом состоянии. В это время произошел повторный напор магмы. Гидростатическое давление, трансформируясь в ориентированное боковое, привело к возникновению краевых гнейсов и структурно согласных с ними роговиков, окружающих шток.

Подобное же приспособление полосчатости в ороговикованных породах к контакту интрузива описывается Н. А. Елисеевым для Хибинского плутона (11,11) и рядом других авторов. Подобное же явление мне доводилось самому наблюдать в контакте Ловозерских луявритов с древними порфиритами. Выше мы уже приводили более или менее подробное описание работ Болка на Адирондакском плутоне, который там развивает идею о постепенном разжижении магмой более или менее пластического окружения.

Помимо такого пластического образования полости, повидимому, возможно образование полости и путем глыбовых перемещений по трещинам, каковую идею развивает Г. Клоос. В этом случае контакты плутона будут в общем следовать направлениям основных систем трещин, а ксенолиты боковых пород в плутоне будут иметь более или менее ясные геометрические очертания, обусловленные плоскостями трещин, по которым был отколот данный ксенолит. Примеры подобного рода в обилии приводятся Г. Клоосом и другими, например, Болком и Граутом (49), изучавшими полосатые граниты Харней-Пик в Дакоте. Такие же примеры можно в обилии встретить в Ловозерском плутоне. Возможно, что известное содействие в образовании полости для плутона, особенно полости, возникающей по межформационному шву, оказывает внешнее боковое давление, как это считает Г. Клоос.

Поскольку общее направление течения магмы определяется в основном положением полости в пространстве, надо полагать, что общая ориентация прототектоники плутона указывает на общее положение плутона в пространстве, т. е. пологое расположение прототектоники говорит о пологом расположении плутона (лакколиты), крутое расположение прототектоники говорит о крутом расположении плутона. Что касается краевой прототектоники в плутоне, то она повторяет очертания его контактов и в общем случае будет отклоняться от некоторого среднего направления, характеризующего общее положение плутона в пространстве.

Однако всем сказанным далеко не исчерпывается вопрос о происхождении первично-полосчатой тектоники в интрузивах. В ней имеется много такого, что одним только механическим способом объяснить нельзя.

Прежде всего надо заметить, что интенсивность проявления первичной полосчатости и трахитоидности не во всех слагаемых первично-расслоенного плутона является одинаковой. Например, в том же Ловозерском плутоне нормальные луявриты II фазы имеют более совершенно выраженную трахитоидность, чем мало петрографически отличающиеся от них луявриты III фазы. Равным образом, II фаза плутона является более резко и совершенно псевдостратифицированной, нежели III фаза. Однако внутри хотя бы II фазы не все „страто-слои“ имеют хорошо выраженную трахитоидность. Например, в то время, как в нормальных луявритах II фазы трахитоидность всегда прекрасно выражена, в фойяитах II фазы, по среднему валовому составу имеющих много общего с нормальными луявритами, трахитоидность выражена слабо и не всегда.

Если мы обратим внимание на другие плутоны, то и там мы встретим такие же особенности. Так, например, в щелочной интрузии Каинды, описанной Б. А. Николаевым (21), резко первично-расслоенными являются породы шонкинитовой серии, в то время как в габбро-монцонитовых породах первичная расслоенность выражена плохо.

Помимо подобных случаев, отражающих разницу между отдельными первичными слоями, известны многочисленные примеры, когда в одном слое, в разных его местах с разной интенсивностью выражается более мелкая расслоенность, ориентация компонентов и т. д.

Подобные случаи нельзя объяснить только одной разницей в скоростях механического движения и вообще только при помощи разного рода механических движений.

В самом деле: почему образуются полосы—пластины разного петрографического состава, выдерживающиеся порой на огромном протяжении, как, например, в Ловозере, где некоторые „страто-слои“ одной фазы выдерживаются на протяжении всего интрузивного массива, образуя подобие самостоятельных интрузивных слоев, тогда как можно считать доказанным, что они являются одновозрастными?

Если для объяснения первичной полосчатости из аккумулярованных кристаллов в горизонтальных и наклонных интрузивных телах можно было привлечь эффект гравитации, как в несимметричной дайке диабазы, описанной А. А. Полкановым, то в вертикальных плутонах типа Каниндского, описанного В. А. Николаевым, этот эффект вообще не применим ни для кристаллов, ни для ликвирующих магм. Поскольку кристаллы находятся в магме во взвешенном состоянии, то при движении магмы эти кристаллы, если они отстают в движении, должны образовывать нагромождения—блоки, или скопления веретенообразной формы. Если же они образуют пластины, то значит имелось какое то ориентирующее влияние. Если это ориентирующее влияние есть механическое ориентирующее влияние контакта, проявляющееся при помощи трения кристаллов о стенки и друг друга, то это ориентирующее влияние предполагает непрерывное нарастание слоя кристаллов от стенки внутрь интрузива, т. е. предполагает последовательную дифференциацию с изменением состава и краев к середине, в то время, как на самом деле происходит одновременное образование ряда чередующихся слоев кристаллов, разделенных друг от друга промежутками магмы. Кроме того, если бы в магме действовало только механическое ориентирующее влияние контакта, то это влияние, особенно в мощных магматических потоках, благодаря явлениям гравитации, конвекции, разного рода завихрений должно было бы довольно быстро утратить свое значение. А между тем, в таком плутоне, как Ловозерском, или Какортокитовом плутоне в Гренландии, описанном Уссингом, наблюдаются весьма выдержанные и многочисленные параллельные слои, обнаруживающие распадение большой массы магмы на ряд струй, из которых образуются слои, обладающие отличным, по отношению к своим соседям, петрографическим составом, и разнящиеся структурно. Кроме того, сам процесс вторжения магмы под напором, раздвигание полости, в случае проявления только чисто механических ориентирующих влияний, должен был бы привести к перепутыванию возникающих слоев, а между тем, такое перепутывание является исключением.

Не лучше обстоит дело и с трахитоидностью. Здесь задача движения магмы сводится к перегруппировке кристаллов, возникающих вне зависимости от этого движения. Поэтому предполагается, что луювриты, например, потому обладают хорошо выраженной трахитоидностью, что в них сконцентрированы кристаллы полевого шпата пластинчатой формы. Однако это не избавляет от вопроса—, а почему возникают кристаллы пластинчатой формы и почему они для луювритов более характерны, чем, например, для фойяитов. Следует подчеркнуть, что почти во всех случаях, где говорится об ориентации кристаллов в первично-полосчатых породах, указывается план-параллельная структура, в общем согласная с расположением план-параллельных первичных слоев, причем в

план-параллельном расположении принимают участие как пластинчатые, так и столбчатые кристаллы; в то же время линейная ориентация компонентов обычно отсутствует, тогда как такая ориентация компонентов должна была бы иметь весьма широкое развитие, поскольку первичная полосчатость принимается как результат сравнительно интенсивного механического движения—истечения магмы. Не менее интересными являются случаи согласного расположения трахитоидности в соседних разновозрастных слоях при неправильной форме их границ, как это изображено, например, на рис. 12, зарисованном В. А. Унксовым в Ловозерском

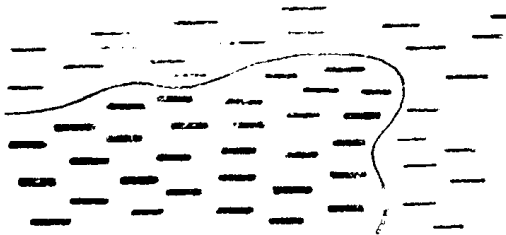


Рис. 12. Граница разновозрастных „страто-слоев“: трахитоидного фойявита (тонкие черточки) и лопаритового луйавита (Ловозеро). Черточками показано расположение лейст полевого шпата (зарисовка В. А. Унксова).

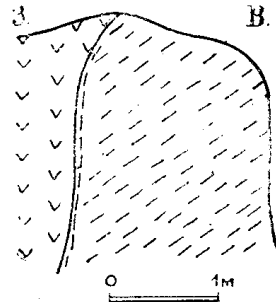


Рис. 13. Контакт трахитоидных луйавитов с древними порфиритами (крестики). Черточками показано расположение лейст полевого шпата (Ловозеро).

плутоне. Там же мною сделана зарисовка, приведенная на рис. 13, где резко выраженная трахитоидность в луйавитах располагается почти „в притык“ к контакту с древними порфиритами. Подобные примеры требуют большой натяжки при объяснении их только механическим движением.

Таким образом, все перечисленные структурные примеры, количество которых при более детальном анализе можно умножить, говорят о том, что одного механического движения магмы еще не достаточно, чтобы объяснить такое оригинальное явление, как первичная расслоенность плутонов.

В предыдущей главе мы уже высказали положение, что одних механических движений для объяснения прототектоники интрузивов будет недостаточно, что механические движения в такой энергетически насыщенной системе, как магма, не могут протекать вне общей взаимосвязи явлений. Нам кажется, что образование прототектоники не происходит без ориентирующих и перераспределяющих влияний каких-то надмеханических процессов, сопровождающих механические движения магмы или даже просто вызванных им. Может быть, именно в этой области будут найдены те плоскостные поляризующие влияния, которые содействуют возникновению план-параллельных текстур, в частности одновременных „страто-слоев“, не перепутывающихся между собой и выдерживающихся на значительных расстояниях. Ясно, что в этом случае придется изменить и характер дифференциации в процессе движения, обогатив ее более глубоким содержанием, нежели простое механическое перемещение кристаллов в пространстве. Повидимому, в области надмеханических явлений надо искать также объяснение тому обстоятельству, что среди гранодиоритовых массивов первичная расслоенность является несравненно меньше распространенной и менее совершенной, нежели первичная расслоенность в основных и щелочных плутонах, которые почти все являются в той или иной степени первично расслоенными. Щелочные и основные магмы

являются системами, стоящими на более высоком энергетическом уровне по сравнению с гранитной магмой, ибо они содержат большее количество сильных катионов, что отражается на их кристаллизации, приобретающей агпаитовый характер (41) и, повидимому, каким-то образом влияет на характер прототектоники образованных этими магмами плутонов.

Таким образом, первично-расслоенные плутоны рисуются нам, главным образом, как плутоны, образованные в одну из последних стадий интрузивного процесса, когда магма завоевывает себе место существенно механическим способом. Однако, полосчатость, частично признаваемая как первичная, т. е. возникшая при кристаллизации магмы, весьма широко развита также в гнейсовых формациях, к которым, очевидно, не подходит сделанное выше определение. Поэтому выяснению природы этой полосчатости в гнейсах мы посвятим специальную главу, следующую за главой о волокнистости.

3. ВОЛОКНИСТОСТЬ.

По Г. Клоосу штрекунг, или волокнистость, является выражением растяжения магматического расплава в направлении перпендикулярном к действующему давлению, т. е. является выражением сланцеватости в граните. Возникает штрекунг, главным образом, тогда, когда магма становится вязкой, когда особых дифференциальных движений, как в стадию образования первичной полосчатости, в ней не происходит, и магма вместе со всеми включениями растягивается как нечто целое (56, 123). В результате этого штрекунг почти независим от положения и строения плутона, обнаруживая повсюду одинаковое положение в пространстве. Это положение штрекунга в пространстве определяется действием бокового давления и нагрузки, к которым он располагается перпендикулярно. „Если представить себе, что на минуту прекратилась нагрузка, то расплавленная масса должна была бы под влиянием давления отклониться вертикально вверх. Если же, наоборот, нагрузка была бы везде одинаково велика, то относительное распространение могло бы происходить только в стороны, т. е. горизонтально“, (14, 16).

Я нарочно повторил основные положения Г. Клооса о штрекунге, о которых мы говорили в главе, излагающей сущность его теории, чтобы подчеркнуть мысль Г. Клооса о том, что штрекунг не есть собственно флюидальное явление, как первичная полосчатость, а связан он только с очень незначительными боковыми движениями, и, возможно, что в значительной своей части он является выражением молекулярных движений на месте (54, 95). То, что штрекунг располагается в общем согласно с первичной полосчатостью, Г. Клоос объясняет одинаковостью действующих причин, т. е. формирующих плутон давлений. Если же принять, что первичная полосчатость является, в основном, результатом самостоятельных движений магмы, как мы выяснили это выше, то становится непонятным возникновение штрекунга, который оказывается образованным как бы под действием иных причин, чем первичная полосчатость.

Надо сказать, что наблюдений над штрекунгом имеется несравнимо меньше, чем наблюдений над первичной полосчатостью, поскольку штрекунг не бросается столь в глаза своей необычностью. Поэтому о штрекунге, несмотря на то, что он более широко распространен, чем первичная полосчатость, мы знаем меньше, чем мы знаем о первичной полосчатости.

Между интрузивными массивами с первичной полосчатостью и массивами с одним только штрекунгом имеется ряд промежуточных форм, в которых первичные полосы или длинные и частые ленточные шлиры заменяются более короткими и редкими ленточными шлирами, затем линзовидными шлирами и, наконец, только одним штрекунгом.

Примером подобного рода может служить знаменитый гранодиоритовый массив в Сиерра-Неваде, структура которого описана Б. Эвансом (63). Этот плутон, считавшийся ранее образцом мощного батолитического тела (размеры его 400×70 миль), оказался сложенным целым рядом более мелких интрузий, имеющих незначительные различия в возрасте¹⁾. В плутонах довольно хорошо выражена прототектоника, которая весьма помогла Б. Эвансу и его помощникам в выделении отдельных интрузивных тел. Эти интрузивные тела образуют в общем случае лакколитообразные купола с широкими основаниями. Там, где денудация вскрыла только купола, как в Yosemite section, там встречаются купола или дуги шпир, как в Ризенгебирге, описанном Г. Клоосом. В местах более глубоких денудационных срезов, как в Rock-Creek Salient, прототектоника имеет вертикальное положение. Автор подчеркивает, что здесь прототектоника—шпир и волокнистость—дают в своем расположении целый ряд местных отклонений, завихрений, причем каждая составляющая общий плутон интрузия имеет свою собственную структуру течения, независимую от регионального направления и отражающую местные условия, которые характеризуют поступление магмы на место путем частных приращений. При этом автор высказывает мысль, что такой пример течения означает свободное движение, более или менее независимое от бокового давления, и считает, что это является известным доказательством того, что магма поднимается под влиянием собственных сил.

Довольно интересный пример поведения волокнистости мне пришлось наблюдать в одном из гранодиоритовых массивов в Хакасии, расположенном в среднем течении реки Аскыз. Массив имеет длинновытянутую форму, обладая размерами в поперечнике 20 км, и представляет более или менее простое тело, в котором не удалось с определенностью выявить многофазного заполнения. Проведенная на этом массиве структурная съемка показала, что в этом обширном плутоне даже в его центральных местах часто проявляется волокнистость, выраженная, главным образом, в параллельной ориентации темноцветных компонентов и иногда в более или менее отчетливой вытянутости зерен кварца. Наиболее резко волокнистость проявляется в приконтактных областях интрузии, имеющих, в общем случае, несколько более основной характер, нежели в центральных частях. Шпировая текстура нехарактерна и проявляется только в приконтактной полосе, так что прототектоника интрузива определяется почти только одной волокнистостью. В целом волокнистость ориентирована параллельно длиннику интрузива и обнаруживает в большинстве крутое до вертикального падение. Во многих местах можно различить линейный штрекунг, падающий на запад под углом $45-65^\circ$. Падение контактов, судя по волнистости и высоким обнажениям на реке Аскыз,—крутое. Более детальная структурная съемка на площади в 40 кв км показала, что изолинии волокнистости образуют в общем волнистые формы и иногда даже крупные завихрения, в которых падение волокнистости местами выполаживается до 30° (рис. 14). Наблюдения над поведением волокнистости около ксенолитов более древних пород показали, что волокнистость обнаруживает иногда явные следы обтекания угловатых ксенолитов, как это изображено на рис. 15.

Приведенные примеры показывают, что волокнистость не есть просто структура пассивного приспособления к внешним давлениям, а что она

¹⁾ Повидимому, вообще особенно крупных сплошных батолитических масс, таких, как это изображает, например, Дэйли, не имеется. Сопоставления многочисленных фактов показывают, что многие сложные интрузивные тела должны иметь в общем древовидную форму, т. е. должны состоять из разных по форме и размерам ветвей, как-то переплетающихся между собой, причем особенно сложные переплетения следует ожидать в многофазных плутонах, подобных гранодиоритовому плутону Сиерра-Невада.

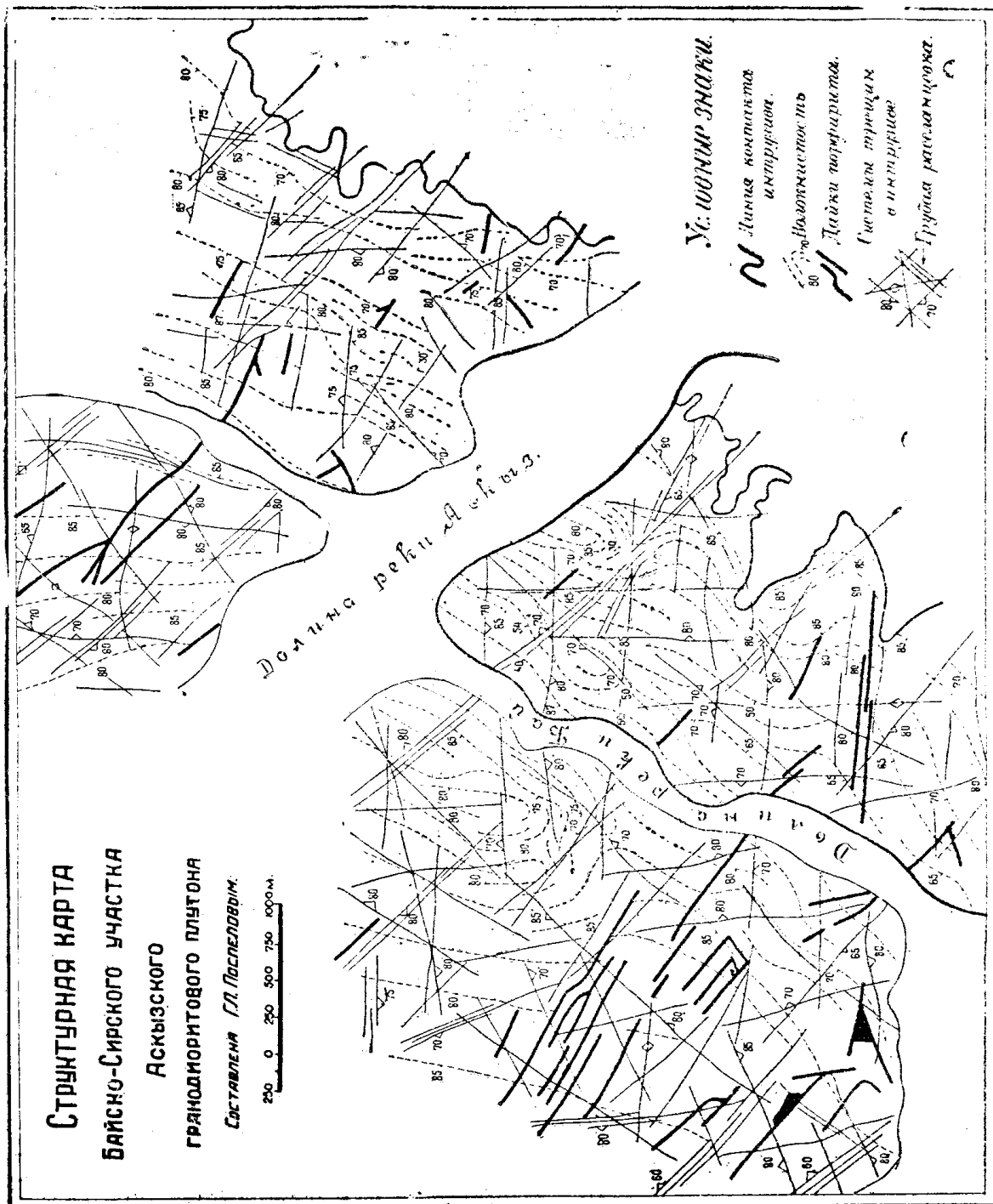


Рис. 14.

возникает при движении магмы, проявляющем себя как движение самостоятельное. Но этим вопрос о происхождении волокнистости далеко еще не исчерпывается. В качестве примера, до некоторой степени указывающего на более сложное происхождение волокнистости, чем простое механическое движение, мне хочется привести некоторые свои наблюдения над шлирами, сделанные в упомянутом выше гранодиоритовом массиве в Хакасии.

Этот массив в приконтактовых областях местами изобилует останцами роговиков и мрамора. Кроме останцев, интрузив в приконтактовых областях иногда изобилует также небольшими линзообразными меланократовыми шлирами и угловатыми ксенолитами, в разной степени ассимилированными. Наименее ассимилированные или, точнее, контаминированные из них, встречаются в районах, непосредственно прилегающих к контакту, и представляют из себя или роговообманковые роговики или мелкозернистые биотито-роговообманковые диорит-порфириды, среди которых иногда можно заметить вторичную биотитовую сыпь. По мере увеличения степени изменения ксенолиты все более превращаются в эллипсоидальные и линзовидные резко очерченные

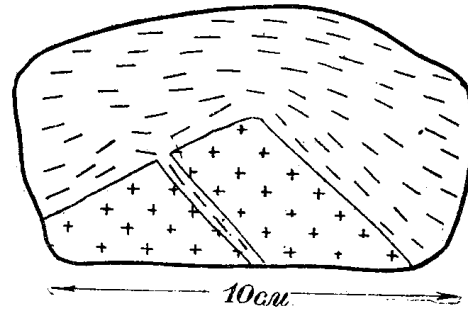


Рис. 15. Зарисовка штуфа. Ксенолит мелкозернистого диорита (крестики) в среднезернистых диоритах; направление черточек указывает ориентировку темноцветных (Аскыз).

шлиры, состоящие из свежего роговообманково-биотитового материала, мелких разбьдаемых амфиболом полевошпатовых вкрапленников и обильной магнетитовой сыпи. Подобное явление замещения ксенолитов, не сопровождающегося их расплавлением, известно под наименованием явления контаминации, весьма подробно разобранного С. Р. Ноккольдсом (22; 23). С. Р. Ноккольдс так характеризует этот интересный процесс.

„Одна из наиболее замечательных особенностей ксенолитов заключается в том, что они сохраняют свои очертания даже в том случае, если они полностью изменены“. „Это сохранение очертаний указывает что ксенолиты остаются твердыми в течение всего хода их изменения. Здесь нет настоящего растворения, но изменение представляет один из видов молекулярного замещения; незначительные порции одной из составляющих переходят в раствор в течение короткого промежутка времени и замещаются новым материалом. Для этого необходима свободная диффузия в ксенолит и обратно из ксенолита“ (22, 10). Таким образом, „контаминация в кислых магмах тесно связана с летучими, содержащимися в магме“, которые помогают осуществлению взаимной реакции.

Более внимательное наблюдение над такими, возникшими путем контаминации, шлирами, показало, что там, где интрузив имеет слабо выраженную волокнистость, компоненты шлира расположены более или менее беспорядочно. Там, где интрузив имеет резко выраженную волокнистость, кристаллы зеленой роговой обманки и биотита в шлире имеют ориентацию, в общем параллельную волокнистости, причем под микроскопом видно, что они образуют флюидообразные потоки, пронизывающие первичную кварцево-полевошпатовую массу шлиры-ксенолита. Некоторые кристаллы роговой обманки пересекают границу шлиры, но в общем шлира имеет резко очерченные контуры.

Описанное явление не поддается простому механическому объяснению и требует более глубокого физического обоснования.

Таким образом, и здесь, как и при образовании первичной полосчатости, возникают какие то надмеханические ориентирующие влияния,

оказывающие воздействие не только на уже готовые кристаллы, но и на движения летучих компонентов, на направление роста кристаллов в твердой среде—в ксенолитах.

Главным образом не поддаются простому механическому объяснению примеры, приводимые Г. Клоосом (рис. 3), где небольшой мощности аплитовые и гранитаплитовые жилы обладают штрекунгом, располагающимся под самыми разнообразными углами к контактам жилы, но согласно с резким штрекунгом вмещающих гранитов или со сланцеватостью во вмещающих сланцах. Подобного же рода явления мне приходилось наблюдать в гнейсогранитах на Кольском полуострове; здесь иногда небольшой мощности жилы аплитопегматитов, с хорошо ограниченными

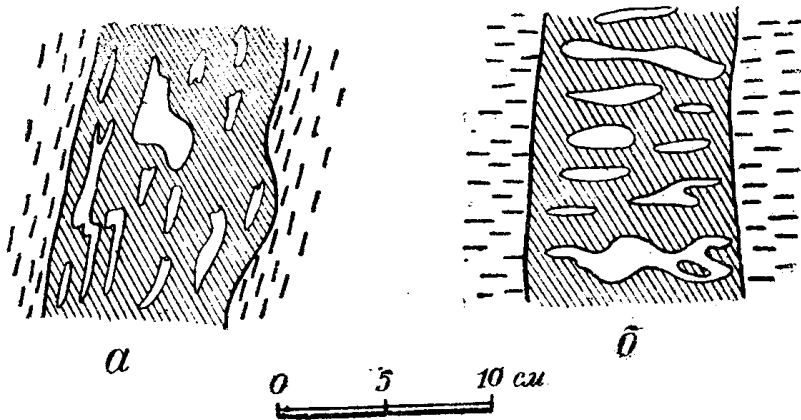


Рис. 16. Аплитовые жилы (заштриховано) в гнейсогранитах. Черточками показано расположение штрекунга в гнейсогранитах. В аплитовых жилах околочены наиболее вытянутые скопления зерен кварца (Ловозеро).

штрекунга в гнейсо-гранитах (рис. 16). Повидимому, здесь сказывается какое то ориентирующее влияние структуры вмещающей породы, которую рассекает маломощная аплитовая или гранитпорфировая жила, ибо там, где гнейсовость в гнейсогранитах выражена слабо, первичный штрекунг в жилах ориентирован параллельно простиранию и падению жилы, независимо от направления гнейсовости во вмещающих жилу гнейсо-гранитах.

Весьма интересный пример, изображенный на рис. 17, приводит Г. Клоос (52, 13). Здесь мелкозернистый порфировидный гранит образует линзовидное включение хвостатой формы в нормальном граните. Фенокристы полевых шпатов в порфировидном граните располагаются параллельно волокнистости в нормальном граните. Катаклиз отсутствует. Г. Клоос считает, что движение произошло перед окончательным отвердеванием.

Все приведенные примеры указывают на участие в образовании ориентированных структур каких то надмеханических движений, которые еще требуется открыть и изучить.

Может быть, известным подспорьем в этом отношении могут служить те немногочисленные работы, выяснявшие влияние электрических и маг-

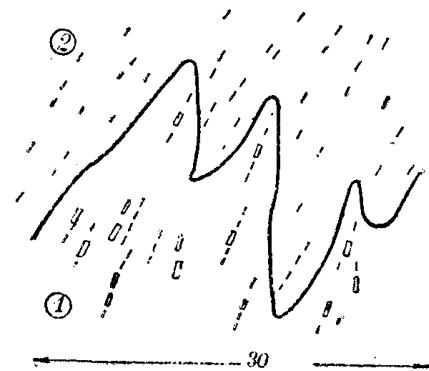


Рис. 17. Включение мелкозернистого порфировидного гранита (1) в нормальном граните (2). Черточками и прямоугольниками показано расположение листовчатых биотита и фенокристов полевого шпата (по Г. Клоосу).

нитных полей на условия кристаллизации диэлектриков, о которых я упоминал выше.

Как первичная полосчатость, так и волокнистость в плутонах повторяет близ контакта его контуры, причем обычно (хотя и не всегда) является здесь более резко выраженной, чем в центре плутона. Это, по видимому, также объясняется не только механическими причинами—резкой границей жидкого и твердого, но и тем, что контакт есть граница между системами, характеризующимися разными энергетическими уровнями, есть выражение качественного скачка, отделяющего активно развивающуюся систему—магму от пассивно развивающейся системы—вмещающей толщи. В этом отношении контакт выступает как поверхность, ориентирующая направление не только механического движения, но и других видов движения, которые могут иметь место в магме, но не могут иметь места в боковой породе. Возможно, что контакт может просто индуцировать в магме некоторые виды надмеханических ориентирующих полей. Принципиальная возможность явлений подобного рода подтверждается исследованием Горского и др. о существовании в приграничных слоях плоских препаратов из диэлектриков значительных ориентирующих полей, о чем я упоминал в первой главе настоящего раздела. Поэтому нельзя ставить точку после утверждения, что контакт в образовании ориентированных структур выступает только в роли границы жидкого и твердого; надо влияние контакта на прототектонику подвергнуть дополнительному физическому изучению, выходящему из рамок ньютоновской механики.

В приведенных выше рассуждениях я высказал мысль, что волокнистость образуется существенно в результате активного механического движения магмы, сопровождаемого другими видами движения. Однако это не освобождает нас от вопроса о влиянии внешнего, по отношению к магме, ориентированного давления, которое может иметь место в процессе развития интрузии и оказать влияние на внутреннюю симметрию магмы, как кристаллизационной среды, а, следовательно, и на структуры возникающих из нее пород.

Признание интрузивного процесса процессом саморазвивающимся вовсе не исключает, а предполагает влияние на его развитие внешней исторической обстановки, в частности внешнего ориентированного давления, которое, как мы знаем, оказывает колоссальное влияние на процесс развития пассивных толщ, вызывая в них соответственные качественные изменения (процессы метаморфизма). Это влияние внешнего давления может проявиться различными способами. Во-первых, внешнее давление может оказать влияние косвенным способом, через посредство тектонических структур вмещающей толщи, которым, в известной мере, подчиняется пространственное развитие интрузивного процесса. Во-вторых, оно может сказаться путем непосредственного воздействия на магму как тело, обладающее более высокими пластическими свойствами, чем его окружение, тем самым оказывая известное влияние на движение магмы и ее распределение в пространстве, что должно приобретать особенное значение, в последние стадии интрузивного процесса, конечно, если этот процесс разыгрывается в фазы механического сжатия в земной коре.

В третьих, внешнее механическое сжатие должно входить одним из компонентов, определяющих внутреннюю симметрию кристаллизационной системы—магмы, и в известных случаях должно играть немаловажную роль в возникновении ориентированных структур в кристаллизующихся из нее породах. Это подтверждается целым рядом опытных данных о характере кристаллизации в твердых и очень вязких телах (стеклах) под влиянием внешнего ориентированного давления. И хотя на основе этих опытов еще нельзя вывести положение о том, что постепенная кристаллизация из жидкой системы, каковой является магма, под влиянием

ориентированного давления, будет протекать таким же способом, как и перекристаллизация в метаморфизируемых породах, тем не менее нельзя отрицать, что ориентированное давление может оказать значительное влияние на возникновение и ориентацию прототектонических элементов в кристаллизующейся магме, особенно в случае совпадения интрузивного акта с эпохой механических давлений.

Однако явление подобного рода, если оно имеет место, следует рассматривать только как частный случай среди процессов, приводящих к возникновению прототектоники, причем давление следует здесь рассматривать не как единственную, а как ведущую причину, приводящую к возникновению волокнистости.

Помимо всего сказанного, надо заметить, что сами механические движения, поскольку их проявления в известной мере зависят от структуры, среды, в которой они развиваются, наиболее охотно будут проявляться по структурно-ослабленным местам, т. е. по той же резко выраженной волокнистости. Впрочем, такая приспособляемость к структурам в значительной мере зависит от масштаба движений. Для микродвижений типа вторичной гнейсоватости, такая приспособляемость к структурам, повидимому, является закономерностью.

Итак, одна из ведущих ролей в образовании волокнистости, равно как и в образовании трахитоидности и первичной полосчатости, принадлежит активному движению самой магмы, имеющему место во время возникновения и роста кристаллов.

Повидимому, пространственное положение прототектоники в интрузивном теле в общем случае характеризует направление пространственного перемещения магмы, а значит, в известной мере, характеризует положение интрузивного тела в пространстве. Возможно даже, что сам факт вытянутости магматического тела может также оказаться одной из причин, индуцирующих в магме некоторые ориентирующие поля. Таким образом, по поведению прототектоники можно до некоторой степени составить себе представление об общем строении и расположении плутона.

Согласно учения Клооса, волокнистость есть результат воздействия двух векторов сил: стресса и силы тяжести, к которым она располагается перпендикулярно. Если это так, то определение положения плутона в пространстве по волокнистости становится принципиально невозможным: эти две действующие силы проявляются во всяком плутоне, следовательно при равном значении этих сил волокнистость будет иметь одинаковое положение вне зависимости от положения плутона в пространстве. Наша точка зрения, исходящая из образования волокнистости, благодаря, главным образом, активному движению магмы, предполагает, что крутую волокнистость в большинстве случаев будут иметь крутые плутоны, а пологую—пологие. Волокнистость у контактов отражает форму контактов.

Волокнистость имеет несравненно более широкое распространение, нежели первичная полосчатость и встречается, повидимому, в разнообразных плутонах, сформированных в разные стадии развития интрузивного процесса, поскольку в них могут иметь место движения магмы в период кристаллизации, сопровождаемые возникновением каких то еще ориентирующих полей. Наиболее распространенными такие движения должны быть в последние стадии интрузивного процесса, сопровождающиеся кристаллизацией магмы, когда, при известных условиях, возникает первичная полосчатость и все переходы от нее к волокнистости. Для плутонов, образованных на более высоко-энергетических стадиях развития интрузивного процесса, можно себе представить кристаллизацию в условиях сравнительно неподвижной магмы, с образованием неясно ориентированных или не ориентированных структур. Однако и здесь относительно спо-

койное состояние магмы во время кристаллизации может быть неоднократно нарушено явлениями пульсирующих возобновлений движения, приводящих к многофазности интрузий, к образованию сложных интрузивных тел, если фазы на данном горизонте оказываются пространственно обособленными друг от друга.

Известным примером в этом отношении может послужить комплексная интрузия в Хакассии верхне-кембрийского возраста. Плутоны, сложенные отдельными фазами этой интрузии, образуют в общем крутоставленные дискордантные тела, обладающие подчас весьма сложными очертаниями, которые в отдельных участках, как например, на Улене сложно переплетены друг с другом, образуя сравнительно крупные комплексные интрузивные тела. Однако некоторые крупные массивы того же возраста, как, например, Аскызский плутон, не обнаруживают многофазного сложения, хотя и имеют в составе слагающих пород в общем те же петрографические разности, которые свойственны отдельным фазам интрузии. Вместе с тем, в том же Аскызском плутоне широко развита крутая волокнистость, проявляющаяся, правда, участками, но во всем теле плутона. Можно думать, что здесь произошло совмещение быстро следующих друг за другом фаз в одном крупном плутоне, как бы пропустившим через себя все эти фазы до момента своей полной раскристаллизации, в то время, как в других местах отдельные фазы пространственно обособлялись в виде сравнительно мелких тел и группируясь друг подле друга, образовывали комплексные плутоны больших размеров, подобно тому, как это, например, происходило в гранодиоритовом массиве Сиерра—Невада, описанном выше.

Однако вопрос о волокнистости является несравненно более сложным, нежели мы изображали его до сих пор. Дело в том, что понятие—волокнистость можно распространить на так называемые первичные гнейсы, или ортогнейсы, образованные в процессе кристаллизации магмы, как полагают, на большой глубине и под большим боковым давлением. Здесь же образуются разнообразные полосчатые изверженные породы, о которых нам уже приходилось упоминать в предыдущей главе. Поэтому мы не можем обойтись без того, чтобы не сделать о гнейсовых формациях несколько общих замечаний проблемного характера, вытекающих из нашего понимания развития интрузивного процесса.

4. ГНЕЙСЫ.

Гнейсы—образования конвергентные. Самые различные породы—осадочные и изверженные могут путем прогрессирующего превращения стать гнейсами. В гнейсы могут перейти твердые тела путем перекристаллизации, магматические тела—путем кристаллизации при особых условиях. Кроме этого, гнейсы могут возникнуть при ассимиляции по текстурным путям, происходящей при послойной инъекции магмы во вмещающие породы. При этом иногда бывает невозможно отличить: каким путем возникли те или иные гнейсы, и из какого первичного материала они возникли. По этому поводу имеется громадная литература, и конечно, мы не собираемся здесь делать разбор этого вопроса, выходящий за рамки отдельных замечаний, касающихся способа возникновения гнейсовых текстур.

В петрографическом словаре Ф. Ю. Левинсон—Лессинга дается такое определение гнейсам: гнейсы—это „сланцеватые породы, соответствующие по составу гранитам: мелкозернистые, крупнозернистые или порфиroidные кристаллические сланцы, главным образом, состоящие из ортоклаза, плагиоклаза, кварца и одного или нескольких минералов: биотита, мусковита, роговой обманки, авгита .. Это—метаморфические породы, часто тесно связанные с гранитами и слюдяными сланцами“.

Таким образом, гнейсы здесь определяются, как породы метаморфические, возникающие путем перекристаллизации разнообразных пород при явлениях динамотермального метаморфизма. Петрология обладает большим количеством примеров, подтверждающих такое определение. В этом отношении очень поучителен пример, приведенный в работе М. А. Усова (39, 156—157), в котором описываются порфиридные граниты Кольванского района на Алтае, местами захваченные мощными полосами смятия более позднего возраста. Интересно, что пересекая контуры плутона, зоны смятия не искажают их заметным образом, т. е. не производят линейного смещения. В пределах этих зон смятия граниты превращены в породу, напоминающую очковые гнейсы, с резко выраженной катакластической структурой. Несмотря на механическую рассланцовку, порода представляется в общем крепкой, что обусловлено ее позднейшей цементацией мелкозернистым кварцем в связи с интрузией рудоносных порфиров.

Однако помимо таких гнейсов, в метаморфическом характере которых не может быть никаких сомнений, имеются еще первичные гнейсы, которые в том же словаре Ф. Ю. Левинсона—Лессинга фигурируют под наименованием гранитогнейсов, флюидалных гнейсов и т. п. Каково происхождение этих первичных гнейсов, в которых гнейсовость выступает, как резко выраженный штрекунг или волокнистость?

При исследованиях в Баварском лесу Г. Клоос (54) установил, что гнейсы здесь постепенно переходят (пятнами) в граниты, т. е. происходят за счет гранитов. Дальнейшие детальные наблюдения над гнейсогранитными массивами показали, что структура гнейсогранитов (гнейсовость, полосчатость) приспособляется к структуре окружающих осадочных пород. Это по Г. Клоосу является доказательством того, что гнейсограниты возникли не путем переплавления осадочных слоистых пород, а путем вторжения в них гранитной магмы в процессе складчатости, когда мощные ориентированные давления, с одной стороны, изменяли структуру континента, а с другой—формировали магматические тела и структуры, в них возникающие. В своей работе, переведенной на русский язык (14), Г. Клоос ставит проблему гранитогнейсов в следующем виде.

То, что обращает гранит в гнейс, есть давление, и именно сильное и продолжительное боковое давление, которое могло действовать как во время отвердевания, так и продолжать свое действие после него, оставляя свои молодые следы воздействия поверх более старых. При нормальных условиях образуются граниты с не ориентированной зернистостью, в которых боковое движение вызывает возникновение трещин S, или сланцеватости в гранитах. Эта сланцеватость при повышенных условиях переходит в плоскость сланцеватости гранито-гнейса. Каковы эти повышенные условия?—1) Усиленное и дольше продолжающееся давление, 2) повышенная пластичность, 3) повышенная температура, 4) более продолжительное передвижение отдельных частей.

„Мы знаем только то,—пишет Г. Клоос,—что эти повышенные условия осуществлялись на большой глубине и что, быть может, то же давление, которое в верхних горизонтах лишь растягивает или делает волокнистым затвердевающий гранит, а уже отвердевший разламывает на глыбы и сдвигает, на больших глубинах спокойно и медленно сдавливает расплавленную массу в гнейс“ (14, 49).

Эту мысль Г. Клооса подробно развивает в своих работах по Кольскому полуострову А. А. Полканов—один из крупнейших знатоков гнейсовых формаций. Он считает, что первичные гнейсовые образования возникают при кристаллизации интрузивных тел (батолитов и пластовых интрузий) в условиях абиссальных глубин (высокое давление), в период проходящих горообразовательных процессов (дифференциальное давление) и

в условиях постоянного передвижения частью раскристаллизованного магматического расплава (27, 233). Сланцевая структура, характерная для гнейсогранитов, должна по его мнению рассматриваться в одних случаях как палимпсестовая структура. Седергольма, т. е. реликтовая структура, унаследованная от ассимилированной первоначально слоистой толщи, а в других случаях—как структура, отражающая истечение или флюидалность магмы, а также явления кристаллизации или частичной перекристаллизации в условиях дифференциального давления.

Картина образования полосчатости и гнейсовости в процессе движения кристаллизующейся магмы рисуется автором в следующем виде.

Начавшаяся кристаллизация более основных компонентов породы при сопровождающем истечении магмы прежде всего приводит к образованию флюидалной текстуры. То же движение может привести и к перераспределению выделившихся твердых компонентов в магме при некотором участии силы тяжести. Формированию полос скопления выделившихся твердых компонентов способствует и то, что остаточная магма, насыщаясь летучими компонентами и освобождаясь от твердых компонентов, приобретает более легкую подвижность по сравнению с полосами, переполненными твердыми компонентами. Выделившиеся механическим путем полосы магмы более кислого состава от формирующейся породы более основного состава не могут находиться между собой в равновесии. Первые начинают реагировать на последние, вызывая целый ряд химико-минералогических превращений (явления аутометаморфизма в широком смысле этого понятия). Процесс кристаллизационной дифференциации при длительном движении остаточной магмы приводит путем ее постоянной изменчивости к составу, близкому к аплитовой магме. В конце концов это различие в составе со скелетом формирующейся породы становится очень большим, и образующиеся породы получают очень большое морфологическое сходство с обычными мигматитами; сходными получаются и процессы химико-минералогических превращений. Но вновь образованные породы являются аутомигматитами, в отличие от мигматитов, описываемых Седергольмом, в которых фигурирует привнесенный извне материал и которые возникают под влиянием аллометаморфизма, инъекции и ассимиляции и являются алломигматитами.

Таким образом, слоистая, полосчатая, сланцеватая текстура является в одних случаях палимпсестовой, а в других—текстурой истечения или флюидалной.

Какова роль давления в их образовании? Признаки механических деформаций весьма слабы. При наличии пачаллотриоморфной или гранобластической структуры, перекристаллизации минералогического состава в твердом состоянии не происходило, что заставляет признать существование первичного бластеза или протобластеза, происходившего в последнюю стадию остывания при участии стресса. В основном роль давления заключается в том, что оно обусловило растяжение магматической массы в перпендикулярном к нему направлении. Проявления катакластического метаморфизма имели место уже в более позднее время.

Как отличать гнейсы, образованные путем метаморфизма, от гнейсов, образованных путем кристаллизационной дифференциации в движущейся под большим давлением магме? На этот вопрос ответить чрезвычайно трудно. В целом ряде описаний гнейсовых комплексов А. А. Полканов приходит к возможности двойного решения. Так, например, описывая пестрый комплекс пироксеновых гнейсо-диоритов, вытянутый в направлении вмещающих гнейсов и имеющий прототектонику, подобную описанной выше, автор считает, что кристаллизация пород комплекса происходила в огромном большинстве случаев при медленном охлаждении и при постоянном движении расплава и выделившейся твердой фазы, что, однако, не

исключает возможности образования сходных пород при метаморфизме седиментационного материала, к чему имеется также ряд доказательств.

В подобных случаях некоторые материалы для суждения могут дать химический и минералогический анализы соответственных формаций.

Более определенные решения дают структурные особенности. Таковы, например, особенности микроклиновых гранитов, распространенных на Кольском полуострове (27) которые образуют самостоятельные геологические тела значительных размеров, а также мелкие сателлитовые тела и мигматитовые поля, расположенные среди более древних формаций. Текстура массивная, гнейсовая и флюидальная, конформная к линии контакта, но иногда дисгармоничная к внешней тектонике—к сланцеватости окружающих гнейсов. Автор считает, что в группе дискордантных интрузий наличие порфировидной структуры указывает на условия кристаллизации, диаметрально противоположные условиям, при которых развивается гнейсовая фация. Флюиальность, расположенная дисгармонично к структурам вмещающих гнейсов, подобна флюиальности, возникающей в секущих дайках. Гнейсовидные разности развиваются за счет параллельного расположения порфировидных вкрапленников, иногда за счет вытянутости кварца, корродирующего полевые шпаты, но наиболее резко гнейсовость проявляется в разностях с большим содержанием биотита. Катаклаз проявляет себя крайне незначительно.

Таким образом, различают два крайних генетических вида гнейсовых текстур: гнейсы—породы метаморфические, возникшие благодаря перекристаллизации пород в твердом состоянии с местными расплавлениями под действием высоких температур и давления, или одного давления (катакластические гнейсы) и гнейсы—первичные породы, возникшие путем раскристаллизации магмы в условиях высоких давлений, сопровождающейся механическим разделением кристаллизующихся компонентов при движении магмы. Образующиеся в последнем случае ориентированные структуры являются, собственно говоря, протектоникой—первичной полосчатостью и резким штрекунгом, сопровождаемыми иногда последующим катаклизом или вторичным штрекунгом, как его называл Г. Клоос. Промежуточной формой между этими двумя типами являются сложные гнейсы или мигматиты (Седергольм), возникшие при послойной инъекции магмы в боковые породы, сопровождающейся явлениями ассимиляции, с образованием тестообразной массы, получающей гнейсовую текстуру отчасти благодаря магматическому движению, а частью вследствие давления на больших глубинах. Такая региональная гранитизация с образованием тестообразной вязкой массы, обладающей некоторым магматическим характером и способной к движению, была названа Седергольмом анатексисом. В своем крайнем развитии этот процесс дает в результате полное перемешивание и расплавление пород, с образованием новых тел магмы, которые способны к инъекции и к прохождению через цикл магматических превращений. Этот процесс регенерации магмы был назван Седергольмом палингенезисом (37, 319).

Во всех приведенных точках зрения фигурируют: вмещающие породы и внедряющиеся изверженные массы, разница между которыми сглаживается в явлениях палингенеза—общего переплавления, регенерации магмы.

Нам хочется поставить вопрос о возникновении гнейсов в несколько иной плоскости.

Большинство плутонов, сложенных гнейсогранитами, предполагаемыми как первичные образования, является согласным, конкордантным с тектоникой вмещающей толщи и обычно не имеет с ней резко выраженных границ (контактовых линий). Что касается пространственного расположения гнейсовости внутри гранитогнейсовых плутонов, то здесь обычно наблю-

дается поразительная гармоничность со слоистостью, гнейсовостью и проч. разнообразных включений боковых пород, причем более детальные исследования показывают, что гнейсовость гранитогнейсов, признанная, как структура первичная, часто не носящая никаких следов катаклаза, образует в пространстве изгибы наподобие складчатости разных порядков. Так, например, А. В. Пэк (20) наблюдал на Урале, как гнейсограниты образуют пологие складки с осями, параллельными общему простиранию складчатости вмещающих толщ. Подобного же рода указания дают, например, целый ряд геологов, работавших на Кольском полуострове. Гнейсовость в гнейсогранитах располагается здесь то круто, то полого, меняя направления и образуя складки некоторого общего простирания. Подобного рода картину мне пришлось наблюдать в гнейсах близ Ловозерского щелочного плутона на Кольском полуострове. По моим, правда, немногочисленным, но сосредоточенным на сравнительно небольшой площади, наблюдениям, гнейсовость в гранитогнейсах образует здесь как бы складки, меняя простирание от почти меридионального и северо-восточного до почти широтного. Падение ее в общем крутое, но местами довольно пологое. Сама гнейсовость в гнейсогранитах, проявляется не везде одинаково: местами она интенсивна, местами почти совсем незаметна. Переходы между ориентированной и не ориентированной структурами постепенны, но они происходят на разных, часто весьма коротких интервалах. Среди обычных гранитогнейсов встречаются острова-останцы собранных в складки слюдяных гнейсов, пронизанных лейкократовым гранитным материалом. Переходы к гнейсогранитам постепенны. Кроме того, среди обычных гнейсогранитов встречаются реликты сланцев, в виде полос меланократового биотитового материала, имеющих форму складок, разделенных относительно лейкократовым гранитным материалом, обладающим местами ясно выраженной гнейсовостью, а местами обнаруживающим почти незаметную ориентацию биотита или кварца. Одна из зарисовок обнажений представлена на рис. 18. Обращаю внимание на то, что замки складок, образуемых биотитовыми реликтовыми полосами в граните, не прорваны, что следовало бы ожидать при поступательном движении внедряющейся магмы. Вместе с тем форма складок не позволяет сделать предположение, что меланократовые полосы возникли в результате кристаллизационной дифференциации при движении магмы.

Здесь будет уместно напомнить детальные исследования Феннера, изучавшего способы происхождения гнейсов в высокогорной области Нью-Джерси (см. 37, 316). Феннер нашел, что гнейсы образовались здесь путем послонной инъекции *lit-par-lit*. Процесс инъекции протекал, повидимому, спокойно и постепенно, причем проникновение изверженного материала в тело прилегающей породы с сопровождающим взаимодействием имело место без сильных нарушений положения слоев или листоватости. Сохранение первоначального положения пород, в которые происходит внедрение, предполагает такую вязкость внутри магмы, которая не согласуется с проникающей способностью магматических веществ. Поэтому предполагается, что медленному

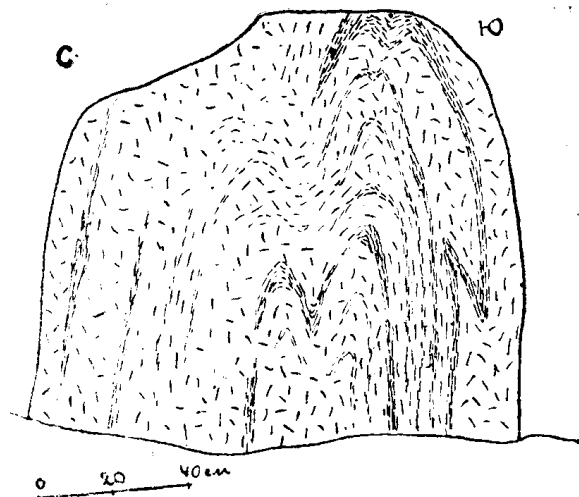


Рис. 18. Реликтовые темные биотитовые полосы среди гранитогнейсов (Ловозеро).

поступанию вперед главного тела магмы предшествовало продвижение более жидкой или даже летучей части, действие которой являлось подготовительной стадией при импрегнации боковых пород, растворяя их минералы, реагируя с ними и вызывая общее размягчение или, может быть, даже некоторое разжижение.

Однако даже допущение такого подготовительного действия не может удовлетворительно объяснить, почему инъецирующая магма не рвет замков складок, как в случае, изображенном на рис. 24, не перепутывает реликтовых полос, что должно было бы, в случае послойной инъекции магмы и постепенного раздвигания и поглощения инъецируемой толщи, происходящих во время вторжения магмы, иметь не меньшее распространение, чем сохранение первоначального расположения поглощаемых пород. Равным образом, если первичную полосчатость и гнейсовость в гнейсогранитах объяснять как результат механической дифференциации в процессе механического движения кристаллизующейся магмы под давлением, то трудно этим способом объяснить, почему, например, гнейсовость образует иногда (и повидимому—часто; специальных исследований по этому вопросу проводилось мало) подобие складчатости, с элементами залегания общими со складчатостью вмещающей толщи.

Затронутый вопрос довольно специален и, если его разбирать подробно, то надо писать отдельную работу. Поэтому я ограничусь сказанным и приведу только несколько своих соображений, вытекающих из принятой мною точки зрения на интрузивный процесс.

Мне кажется, что первичные гнейсовые формации следует рассматривать, как образования, относящиеся к одной из ранних стадий интрузивного процесса, имеющей место преимущественно на большой глубине, что, впрочем повидимому, не всегда обязательно, так как при известных условиях мощные энергетические процессы могут разыгаться и в более высоких горизонтах. Я бы охарактеризовал этот процесс, как метаморфизм, переходящий в магнообразование, которое происходит в анизотропных условиях и пространственно определяется в основном структурой качественно меняющейся толщи. Структурные пути, подготовленные, главным образом, складчатостью уже возникшей ранее, или еще находящейся в процессе возникновения, направляют действие энергетических потоков, которое, повидимому, сопровождается действием мощного ориентированного давления. Процесс возникновения магмы происходит не просто как переплавление. Это—сложный и многообразный процесс, включающий образование летучих, сопровождаемое их эффективным действием, избирательное плавление, сопровождаемое местными движениями возникающих магм, разнообразные молекулярные превращения и перераспределения, происходящие в ориентированных энергетических полях, и, наконец, в крайнем виде—образование расплавленных масс, обладающих на первой стадии развития внутренней симметрией, унаследованной от симметрии превращенных толщ.

Возникающие из такой магмы ориентированные структуры будут, с одной стороны, структурами унаследованными, можно сказать—палимпсестовыми, а с другой стороны—структурами наведенными, обусловленными внутренней симметрией магмы. В участках, где магма оказывается лишенной ориентированной внутренней симметрии, ориентированные структуры могут не возникнуть. Указанный процесс может в частных случаях не сопровождаться перемещениями больших магматических масс, вторжения магмы, как тела. Однако надо ожидать, что при более высоком энергетическом процессе образования магмы может начаться процесс ее общего пространственного перемещения, во время которого старая симметрия будет постепенно теряться и замещаться новой симметрией, согласной с условиями движущейся магмы. В результате этого может

получиться, что образованные в условиях новой симметрии магмы ориентированные структуры окажутся несогласными со структурами вмещающей толщи.

От описанных гнейсовых формаций следует отличать так называемые окраинные гнейсы, о которых мы уже говорили раньше, местные огнейсования и т. д., которые, имея сходное внешнее выражение, возникли, однако, несколько иным способом. Равным образом, приходится отличать нормальную волокнистость от первичной гнейсовости, первичную полосчатость интрузивов, возникших в последнюю стадию интрузивного процесса, от полосчатости в гнейсах, хотя они и имеют много сходных внешних черт. Иными словами—одинаковые результаты еще не предполагают тождественности причин, их породивших. Поэтому, чтобы отыскать эти причины в области прототектоники, нужно выйти из рамок ньютоновской механики и привлечь для решения подобных тектонических вопросов также и современные достижения физики и химии. А это дело не только тектонистов, но и петрологов и минералогов и физиков. Проблемы геологических структур интрузивов должны разрешаться параллельно с петрологическими проблемами, а это требует дополнения петрографической съемки детальным структурным и вообще общегеологическим анализом интрузивов, каковой работой большинство геологов-петрологов, к сожалению, до сих пор предпочитают не заниматься.

IV. ТРЕЩИННАЯ ТЕКТОНИКА ИНТРУЗИВОВ, КАК ПРОЯВЛЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРЕЩИННОЙ ТЕКТониКИ.

1. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ПРОТОТЕКТониКИ С ТРЕЩИННОЙ ТЕКТониКОЙ.

Вопрос о причинах делимости, кливажа гранита и отношении его к трещиноватости в граните имеет довольно обширную литературу, достижения которой сведены в короткой, но интересной статье Дж. Ф. Белла— „Исследование кливажа истечения гранитов“ (5). Явление кливажа, т. е. механической анизотропии гранита, выражающейся в различной сопротивляемости породы давлению по разным направлениям, объяснялось параллельным расположением частиц в граните,—первичным эффектом сжимающего напряжения, трещинами в полевых шпатах, в кварце и т. д. Исследования с помощью новых статистических методов структурного анализа, введенных Зандером (77), показали, что кливаж в граните стоит в определенной взаимосвязи с закономерным расположением биотита и кварца, причем Белл установил, что все утверждения, будто имеется больше трещин в полевых шпатах, нежели в кварце, или наоборот, на чем некоторые авторы обосновывали свои умозаключения—являются несостоятельными. Таким образом, структурный анализ подтвердил точку зрения Г. Клооса о том, что делимость или кливаж гранита есть результат его волокнистости, т. е. закономерного расположения минеральных частиц в граните.

Каковы отношения кливажа к трещинам в граните? Белл, статистически исследуя граниты Бюхельберга в Баварском лесу, нашел, что имеется определенное соотношение между кливажем и одной или двумя системами отдельности в граните. То же установил Марошек (74) для некоторых австрийских гранитов. С другой стороны, Осборн (76) показал, что кливаж в лаврентийских гранитах не связан с отдельностью. Сам Белл, делая сводку, указывает, что по этим вопросам еще не выявлено достаточно ясных результатов.

В предыдущей главе мы показали, что прототектоника интрузивов есть выражение сложного процесса становления плутонов, проявляющегося как саморазвитие интрузии, как самодвижение ее, которое происходит в

условиях определенной исторической обстановки, в том числе в условиях определенных ориентированных давлений и в известной зависимости от вызванных ими структур преобразуемого континента. С другой стороны, трещинная тектоника есть пассивная структура приспособления затвердевшего плутона к условиям общих механических напряжений, господствующих в континенте. Отсюда, между прочим, вытекает, что трещинная тектоника в общем случае будет структурой наложенной на прототектонику и в известной мере независимой от нее, и что совпадение прототектоники и трещинной тектоники является частным случаем процесса становления интрузии.

В качестве примера приведем детальную структурную карточку части Аскызского плутона (рис. 14), на которой ясно видно, что трещинная тектоника ведет себя независимо от прототектоники—волоконности интрузива, и если та или иная система трещин совпадает в отдельных местах с направлением прототектоники, то это совпадение является местным частным случаем и обычно никогда не бывает точным. Подобную же картину я обнаружил при своих, правда немногочисленных, наблюдениях над гнейсо-гранитами на Кольском полуострове. Оказалось, что здесь жилы аплита и трещины редко совпадают с направлением гнейсовости, обычно пересекая ее под разными углами, иногда весьма острыми. Интересно, что даже в резкополосчатых гнейсах, которые сами при выветривании распадаются на плитки, отграниченные плоскостями гнейсовости, длинные и ровные трещины иногда секут их под острым углом к гнейсовости.

Подобного рода несовпадение трещин с прототектоникой доставляет иногда геологам затруднение при определении номенклатуры трещин по систематике Г. Клооса. Такие затруднения возникли, например, у А. В. Пэка при исследовании им тектоники Хибинского сложного плутона (34). В Ловозерском псевдостратифицированном плутоне часто можно видеть, что пологие трещины резко секут полого расположенную план-параллельную текстуру, что также вызывало у его исследователей ряд недоумений.

Впрочем, и сами сторонники клоосовской точки зрения признают, условность совпадения прототектоники и трещинной тектоники. Так, например, в своей методической работе А. А. Полканов (26), приводя в качестве примера соотношения структурных элементов в интрузиве блок-диаграмму тектоники Иоземит-плутона в Калифорнии, составленную Клоосом, признает, что „если мысленно убрать с приведенной блок-диаграммы плутона Сиерра-Невада все обозначения, относящиеся к явлениям истечения магматических масс, то будет совершенно ясно, что оставшийся скелет трещинной позднемагматической тектоники в значительной степени (а иногда и совершенно) оказывается лишенным ключа к пониманию строения плутона. Обратное, отсутствие скелета трещинной тектоники, конечно, не давая полноты картины эволюции всего магматического тела, все же при достаточной полноте наблюдений не лишает возможности понять основные черты первичной тектоники плутона“ (26, 14).

Таким образом, принцип тесного сопряжения прототектоники и трещинной тектоники, выдвигаемый Г. Клоосом, в связи с его сингенетическим толкованием обоих этих структурных элементов, встречает серьезные возражения как эмпирического, так и теоретического характера, а потому он теряет свое значение, как основной генетический принцип, приобретая характер частного случая в тектонике интрузивов.

2. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ТРЕЩИННОЙ ТЕКТОНИКИ ИНТРУЗИВА И ВМЕЩАЮЩЕЙ ТОЛЩИ.

В специальной главе мы излагали взгляды Г. Клооса о том, что „образование массива хоть и создает вновь трещины, но направления трещин уже имеются и только применяются“ (56, 110). Г. Клоос считает,

что трещинная тектоника интрузива тесно связана с трещинной тектоникой окружающих пород и что почти во всех местах контакта главные трещины переходят из гранита во вмещающую породу (56, 127).

Однако среди большой массы геологов почему то распространено убеждение, что интрузивные массивы обладают некоторой автаркией трещинной тектоники по отношению к их окружению и что расположение трещинной тектоники в пространстве находится в тесной зависимости от формы и положения плутона в пространстве. В соответствии с этим некоторые тектонисты вообще считают изучение трещинной тектоники основным методом при изучении строения интрузивных массивов и думают, что таким способом можно установить, например, наличие в составе одного плутона нескольких интрузивных фаз. Такое мнение, ни теоретически, ни экспериментально никем не подтвержденное и не развитое, является мнением ошибочным и проистекает из неправильных представлений о взглядах и материалах Г. Клооса по этому вопросу.

Можно привести целый ряд примеров, показывающих общность систем трещин как в интрузивах, так и во вмещающих их породах. Например, в работе А. В. Пэка по тектонике титано-магнетитовых месторождений Урала (20) приводится целый ряд роз-диаграмм трещин, замеренных в гранитогнейсах, в гранитоидах, в кварцитах, в известняках и даже в рудных залежах Кусинского месторождения, где они замерялись специально изобретенным автором способом; на них ясно видно, что во всех этих разнообразных по качеству и возрасту породах ориентация главных систем трещин является одинаковой. Подобные же диаграммы приводятся в работе инж. В. С. Сверчкова „Щелочные граниты центрального водораздела Кольского полуострова и заключающие их свиты древних кристаллических пород“ (35). Из этих диаграмм также явствует, что главные системы трещин в щелочных гранитах и во вмещающих их кристаллических породах имеют одно и то же направление. Исследователи Ловозерского щелочного плутона в своих работах замечают, что в гнейсах и в палеозойской осадочно-эффузивной толще развиты те же широтная и меридиональная системы трещин, которые характерны для Ловозерского плутона.

Для выяснения вопроса о взаимоотношениях трещинной тектоники интрузивов и вмещающих пород, я провел специальную тектоническую съемку в Дашкесанском гранитном плутоне в Закавказье, описанном К. И. Паффенгольцем (32). Этот плутон очень удобен в том отношении, что он расположен среди спокойно залегающей юрской толщи, состоящей существенно из порфиринов, которую он как бы протыкает, образуя вытянутый в широтном направлении шток, осложненный небольшими горизонтальными сателлитами. Здесь на площади более 10 км² мною было сделано более 1000 замеров отдельностей в 110 точках, распределенных по всему плутону и окружающим его породам. Результаты съемки изображены на тектонической схеме, представленной на рис. 19. Элементы прототектоники в плутоне установить не удалось, за исключением двух точек у южного контакта, где была встречена слабо выраженная вертикальная волокнистость, так что на схеме приведена только трещинная тектоника, которая, как видно из рисунка, представлена четырьмя главными системами трещин, общими как для интрузива, так и для вмещающей толщи. Для большей ясности изображения две системы нарисованы в отличие от других двух систем более жирными линиями. Падение трещин 90—75° в обе стороны. Более пологие трещин (45—50°) встречаются более редко и располагаются в тех же направлениях. Какие либо закономерности в расположении пологой системы трещин (25°—0°) отсутствуют. Наблюдения в мощных скарновых телах, расположенных на границе двух порфириновых формаций близ контакта их с интрузивом,

показали, что системы трещин, в них проявляющиеся, не отличаются от систем трещин во вмещающих их порфиритах и интрузиве, с которым они генетически связываются.

Если мы обратимся к многофазным интрузиям, то увидим там подобную же картину. Например, исследования А. В. Пэка в Хибинском плутоне (34), выявленном сейчас как плутон многофазный (11; 12), показали

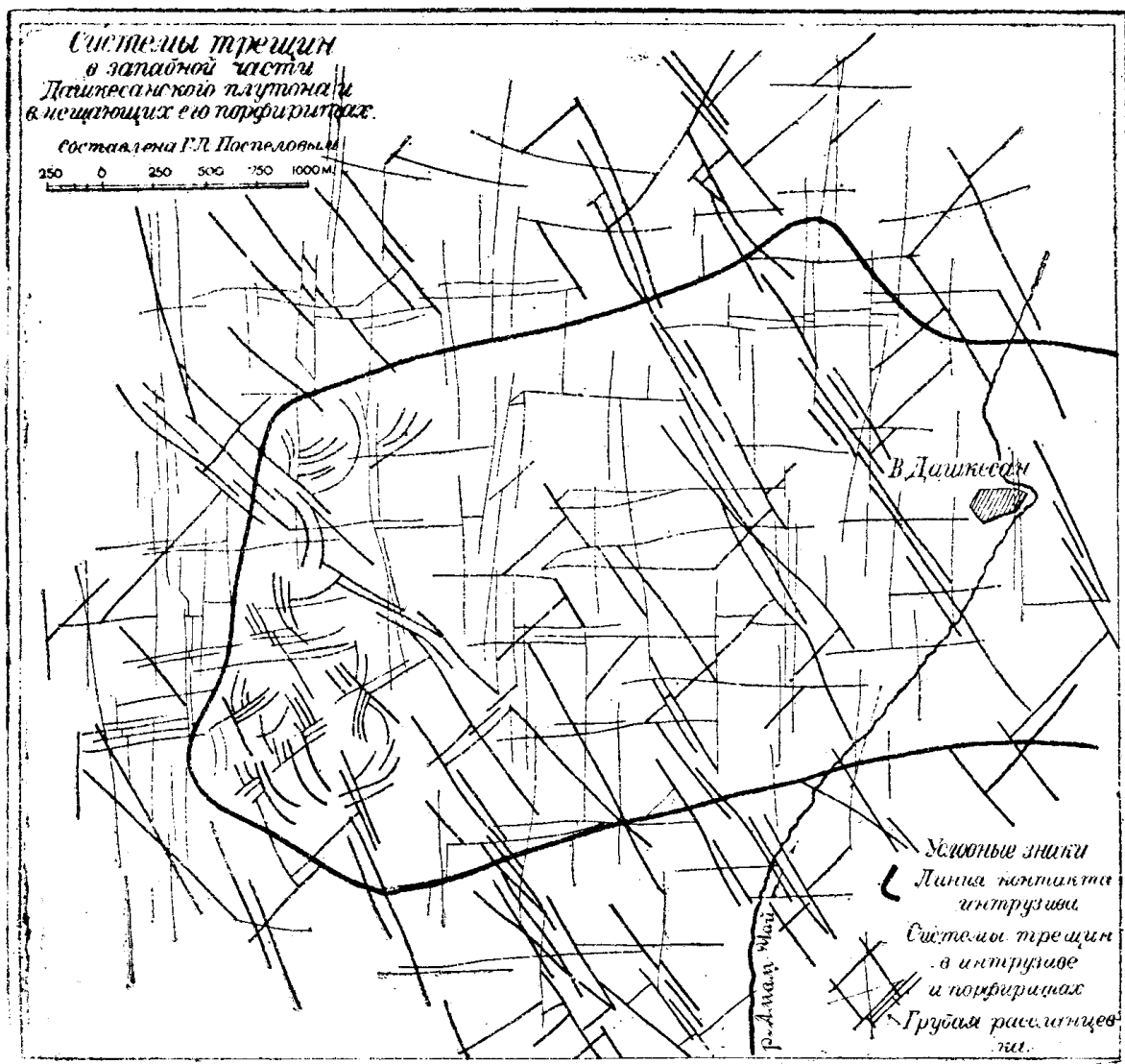


Рис. 19.

общность трещинной тектоники для всех его разновидностей. Специальные наблюдения над трещинной тектоникой в многофазном Ловозеровом плутоне показали, что во всех фазах, слагающих этот сложный плутон, системы трещин располагаются параллельно, пересекая границы фаз (36). Мои наблюдения над многофазными интрузиями в Хакасии также показали, что соприкасающиеся между собой интрузивные фазы не отличаются друг от друга по расположению главных систем трещин общих как для них, так и для вмещающих их пород.

Более древние, чем интрузив, трещины в породах континента часто отграничивают собой крупные глыбы вмещающих пород в интрузиве, определяют собою направление одновременных с главной интрузией жил, развивающихся местами близ ее контакта, а иногда, как показал Г. Клоос, влияют и на расположение границ контакта при образовании полости

интрузии путем глыбовых перемещений в плутонах, сформированных в последние стадии интрузивного процесса).

На рис. 20 приведена зарисовка обнажения контакта гранитного штока, расположенного на р. Боксан (Сев. Кавказ) в районе молибденового месторождения Тырны-Аузс. На зарисовке видно, что граниты образуют близ контакта ряд небольших жил, соединенных перемычками, которые располагаются по главным системам трещин в сланцах в этом месте. Трещины в сланцах частью пересекаются гранитными жилами, частью просекают их и, развиваясь в длину, врезаются в самый интрузив, иногда на значительное расстояние, иногда же гасятся сразу за контактом или обрываются у последнего. С другой стороны, в интрузиве развиваются подобные же трещины, которые частью не выходят за пределы интрузива, частью же просекают его границу и врезаются в сланцы. Таким образом, мы видим здесь преемственность в направлениях трещин, одинаковых как в сланцах, так и в интрузиве.

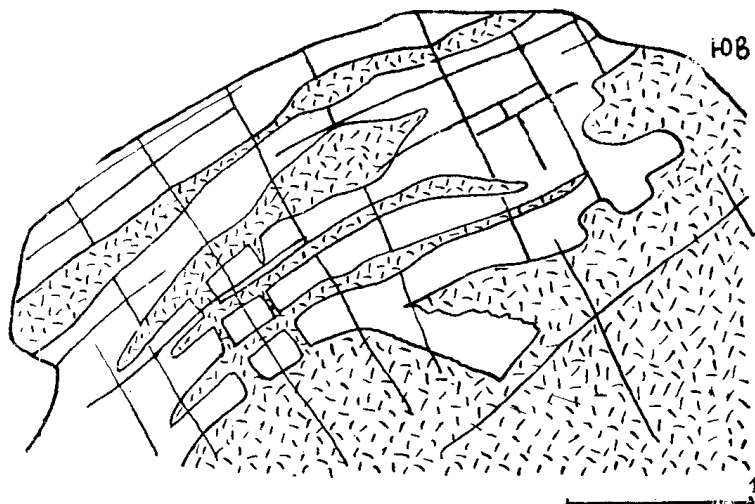


Рис. 20. Зарисовка обнажения. Контакт гранита со сланцами. Гранитные жилы следуют старым трещинам в сланцах и, в свою очередь, рассекаются трещинами тех же направлений. (Кавказ. Тырны-Аузс).

Какова роль явлений контракции в образовании трещин в интрузиве?

Г. Клоос считает, что типичные контракционные трещины в интрузиве обычно не возникают, и действительно, эффект контракции в образовании трещин установить на практике весьма трудно. Правда, часто можно встретить замечание о том, что параллельно контакту развивается хотя бы одна система трещин, однако при этом часто оказывается, что сам контакт располагается приблизительно в направлении одной из главных систем трещин. Трещины же, которые повторяли бы изгибающиеся контуры интрузива (что следует ожидать от контракционных трещин) встречаются весьма редко. Мне, например, таких хорошо развитых трещин наблюдать не приходилось. Возможно, что эффект контракции в значительной мере затушевывается, компенсируется упругими движениями внутри охлаждающихся пород и их ближайшего окружения. Однако, из этого не следует, что надо вообще отказаться от влияния эффекта контракции на расположение и распределение трещин. В частности, можно думать, что эффект контракции оказывает влияние на расположение мелких жилок аплитов, развивающихся в приконтактных областях интрузии, которые часто обладают изогнутыми неправильными формами, в то время как трещины, обычно их пересекающие, имеют выдержанное простирание, как это изображено, например, на рис. 21 а и б, зарисованных близ северного контакта Дашкесанского плутона. Повидимому, влиянию контракции следует приписать сильное искривление трещин в Дашкесанском плутоне близ западного его контакта, где вследствие резких поворотов линии контакта можно ожидать значительного перекрещивающегося влияния эффекта контракции. Интересно, что во вмещающих порфиритах близ их контакта с гранитами никакого искривления трещин не наблюдается

(рис 22 и 23). В местах, где проявляется искривление, граниты изобилуют трещинами, которые образуют то неправильные искривленные сетки, как то изображено на рис. 22, то пачки пересекающихся друг друга искривленных трещин, как это изображено на рис. 23.

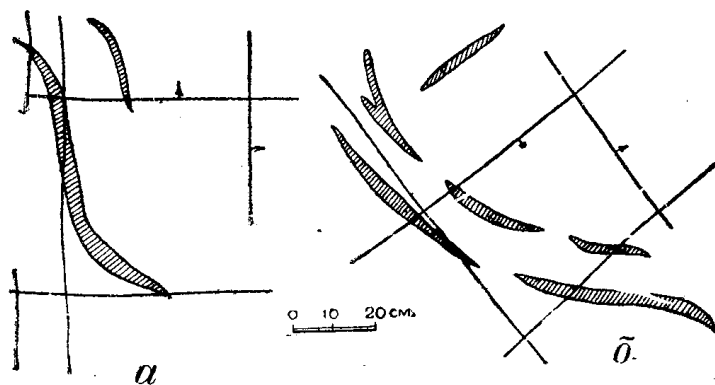


Рис. 21. Искривленные жилки аплита в граните близ контакта. Линиями показаны трещины в граните (Закавказье, Дашкесан).

Вообще искривление трещин в интрузивах близ контактов не является редкостью и отмечается целым рядом исследователей, занимавшихся изучением трещинной тектоники. Однако с другой стороны, нельзя утверждать, что такое явление свойственно только приконтактным областям. Иногда сильное искривление трещин можно наблюдать и в центральных

частях плутонов, так что к решению вопроса о причинах искривления трещин следует подходить весьма осторожно.

Мы не будем разбирать здесь специальных случаев, когда образуются радиальные и концентрические системы трещин в изверженных телах, главным образом—в вулканических неках, каковые явления требуют

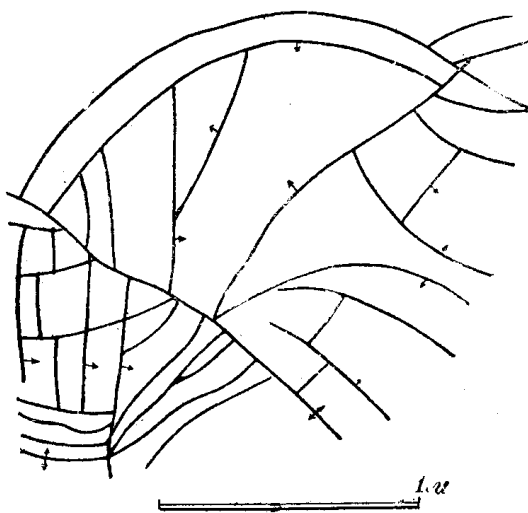


Рис. 22. Искривление трещин в граните близ контакта (Закавказье, Дашкесан).

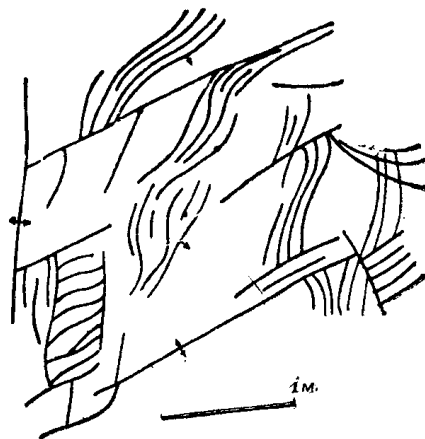


Рис. 23. Пачки искривленных трещин в граните близ контакта. (Закавказье, Дашкесан).

специальных исследований, ибо здесь проявляются, повидимому, не только силы контракции, поскольку известны примеры, когда даже в небольших штокообразных интрузивных телах изометрической формы проявляются обычные системы трещин, без признаков их радиального или концентрического расположения. Равным образом, мы не будем подробно развивать здесь вопрос о дайках, в которых обычно проявляются свои системы трещин, располагающихся определенным образом по отношению к контактными поверхностям дайки. Впрочем, следует заметить, что подобная автаркия систем трещин в дайках по отношению к системам трещин вмещающих пород проявляется до какого то предела мощности дайки. Во всяком случае мне приходилось наблюдать в Хакассии мощные пологие

жила гранитаплитов (мощностью до 30 и больше метров), в которых системы трещин были те же, что и во вмещающих их гранитах.

Дайковые системы трещин, отличные от систем трещин во вмещающих дайки породах, обусловлены специфической обстановкой проявления эффекта контракции в дайках (близость контактов друг от друга), а также проявлением в дайках наиболее резко выраженных срезающих усилий, так как здесь, благодаря наличию параллельных близко отстоящих друг от друга контактов—ослабленных поверхностей, легче всего осуществляется возникновение пары сил, действующих, как в ножницах, друг против друга. На рис. 24 изображен такой случай. Здесь в дайке порфирита, рассекающей гнейсы, имеются старые, минерализованные эпидотовым материалом трещины, характерные для самой дайки, затем трещины входящие в дайку из гнейсов и просекающие ее, и, наконец, густая сеть параллельных косых трещин, ограничивающихся пределами дайки, которые возникли в результате проявления срезающих усилий, показанных на рисунке стрелками. Возможно что развитие подобного рода трещин, возникающих при разного рода сдвигах, может происходить при подходящих условиях в довольно крупных масштабах (такой случай разбирается, например, у А. В. Пэка, (20). Ясно, что эти трещины следует отличать от трещин, которые обычно принято называть трещинами отдельности в интрузиве или диаклазами (по Добре).

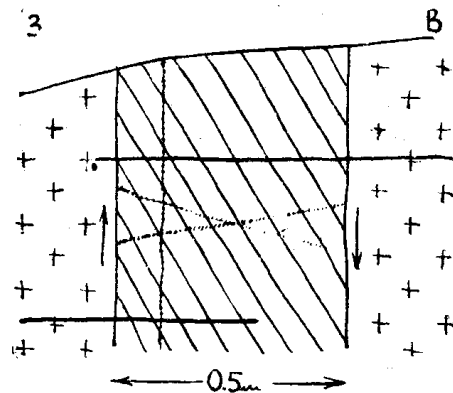


Рис. 24. Дайка порфиритов в гнейсах. Пунктиром показана эпидотовая минерализация в дайке; толстые линии—трещина, общие как для порфиритов, так и для гнейсов; косые линии—трещины, вызванные срезающими усилиями, направление которых показано стрелками (Ловозеро).

Таким образом, трещинная тектоника интрузивов в общем случае не проявляется независимо от трещинной тектоники вмещающего континента, с которым она имеет общие черты. Однако, трещинная тектоника интрузивов имеет ряд своих характерных черт, определяемых, прежде всего, гомогенностью среды, чем обычно не отличается вмещающий континент, и отсутствием складчатых структурных форм, вносящих ряд своеобразных моментов в трещинную тектонику континента. В результате этого, трещинная тектоника интрузивов отличается обычно от трещинной тектоники вмещающих их толщ большей правильностью систем трещин и выдержанностью их на значительных расстояниях.

Из всего сказанного явствует, что в общем случае трещинная тектоника не определяет формы интрузива, являясь от нее независимой или малозависимой, так как трещинная тектоника интрузивов является наиболее закономерно выраженной региональной трещинной тектоникой.

3. СИСТЕМЫ ТРЕЩИН В ИНТРУЗИВАХ.

Г. Клоос насчитывает пять основных систем трещин в интрузивах, из которых одна—пологая, а 4 других имеют крутые или средние углы падения и перекрещиваются в плане так, что образуют между собой углы в 45° (рис. 19). Никаких иных систем трещин в интрузивах (исключая особые случаи радиальной и концентрической трещиноватости) никем пока не установлено, и во всех описаниях трещинной тектоники обычно фигурируют две или четыре системы крутых (с углами падения от 90 до 45°) трещин и одна система трещин пологих.

Однако основой систематики трещинной тектоники Г. Клооса является предложенная им номенклатура трещин: Q, S, L, D, разбивающая трещины по их генетическим признакам. Этой номенклатуры придерживается большинство геологов, занимающихся изучением трещинной тектоники интрузивов, но конкретное применение этой номенклатуры на практике встречает часто такой ряд затруднений, что наименование трещин приобретает условный характер, завися, главным образом, от субъективных впечатлений исследователя.

Разберем вопрос сначала с формальной стороны.

Отдельные системы трещин классифицируются Г. Клоосом на основании следующих признаков (см. блок-диаграмму рис. 25.).

1. Трещины Q. Располагаются перпендикулярно к волокнистости в направлении ориентированного бокового давления и давления нагрузки.

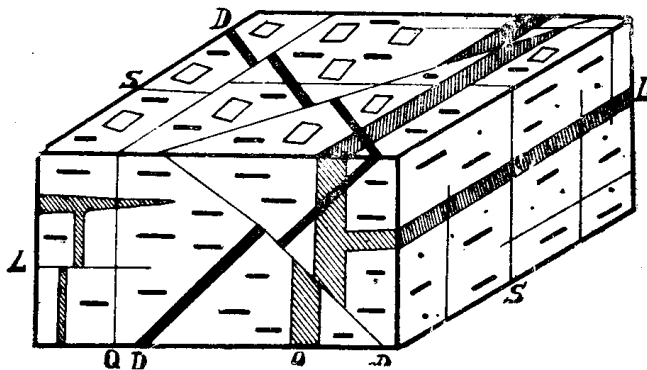


Рис. 25. Блок-диаграмма, показывающая системы трещин и жил в интрузивах, и их взаимоотношения с прототектоникой план-параллельной структурой (изображена квадратиками на плоскости L и черточками на плоскостях Q и S) и линейным штрекунгом (изображен черточками на плоскости L и точками на плоскости Q).

перпендикулярно к давлению нагрузки, в направлении ориентированного давления. Часто заполняются жилами и минерализацией.

4. Диагональные трещины. Располагаются по отношению к прототектонике косо и представляют трещины Мора, или круговые сечения эллипсоида упругости. Часто заполняются жилами и минерализацией. По ним наиболее часто происходят смещения.

Из приведенного видно, что главными отличительными признаками той или иной системы являются: отношение ее к прототектонике, заполнение жилами и минерализацией, наличие по ней смещений и совершенство ее внешнего выражения.

Представим теперь себе крутой pluton с вертикальной план-параллельной структурой и вертикальным или круто наклонным линейным штрекунгом, и допустим, что в этом плутоне имеется закономерное пространственное сопряжение между прототектоникой и трещинной тектоникой плутона (см. блок-диаграмму рис. 26.) Разберем системы трещин по их отношению к прототектонике.

1. Крутые трещины, совпадающие с план-параллельной структурой,

Угол наклона обусловлен косым действием нагрузки. Заполняется жилами аплита и разной минерализацией. Иногда—продольные сдвиги. Выражены наиболее резко.

2. Трещины S. Располагаются по линейной волокнистости, перпендикулярно к боковому давлению, в направлении давления нагрузки. Жилы, минерализация и смещения отсутствуют. Выражены менее совершенно, чем трещины Q.

3. Трещины L. Располагаются в плоскости план-параллельной структуры,

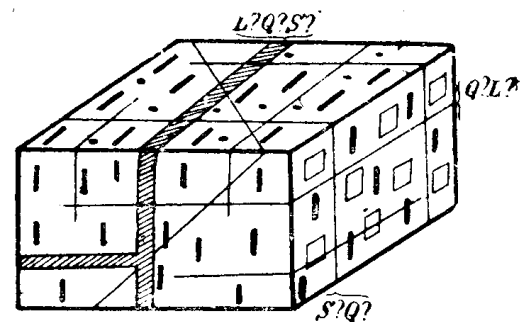


Рис. 26. Блок-диаграмма, показывающая взаимоотношения трещин и жил с прототектоникой в круто расположенных интрузивах. Обозначения те же, что и на рис. 25.

должны бы были называться трещинами L, но они вертикальны, т. е. расположены не перпендикулярно к давлению нагрузки, а параллельно ей, как трещины Q или S. Так как по Г. Клоосу прототектоника и трещинная тектоника есть результат одной и той же причины—бокового давления и давления нагрузки—то следует ожидать, что план-параллельная структура, если она параллельна давлению нагрузки, должна быть перпендикулярна к боковому давлению. В таком случае данную трещину следовало бы назвать трещиной S, но в ней оказались дайки аплита (как, например, это проявляется в Каиндском щелочном плутоне, (26), что более соответствует трещинам Q. Таким образом, представляется на усмотрение исследователя решать: как назвать эту трещину—L, Q или S.

2. Крутые трещины, перпендикулярные к предыдущей системе трещин и располагающиеся в направлении линейного штрекунга, следовало бы назвать трещинами S. Однако, если боковое давление перпендикулярно к план-параллельной структуре, то по отношению к этому давлению данные трещины следовало бы назвать трещинами Q.

3. Пологая система трещин под прямым углом сечет прототектонику и по этому признаку более подходит к трещинам Q. Однако она располагается перпендикулярно давлению нагрузки и параллельно боковому давлению, каковой признак свойственен трещинам L.

4. Косые по отношению к прототектонике трещины можно назвать диагональными. Впрочем, если линейный штрекунг отсутствует (как например, в Ловозерском плутоне), то установить, какие трещины по отношению к прототектонике будут косыми,—невозможно.

Таким образом, если точно придерживаться даваемых Г. Клоосом критериев для определения трещин по их отношению к прототектонике, которые исходят из его теории об одинаковости причин, определяющих собой поведение как прототектоники, так и трещинной тектоники, то мы встретим целый ряд непреодолимых затруднений, даже чисто формального характера, как только выйдем из круга примеров, относящихся к случаю идеального лакколита. Более того, практика показывает, что трещинная тектоника и прототектоника не всегда гармонически сопряжены между собой, что трещинная тектоника более выдержана в своих проявлениях, чем прототектоника, и что в разных частях плутона одна и та же система трещин может в одном случае совпадать с прототектоникой, а в другом—сечь ее под разными углами, выступая наподобие диагональных трещин (например, рис. 14). Кроме того, нередко крутопадающие трещины, заполненные различным жильным материалом, которые по систематике Г. Клооса могут быть только трещинами Q или диагональными, располагаются не поперек по отношению к прототектонике, а параллельно ей. Таков отмеченный нами выше пример Каиндского плутона, так располагаются жилы в Адирондакском плутоне, о котором мы говорили в главе о прототектонике (46), и т. д. Даже в гнейсах, где следовало бы ожидать строгой выдержанности условий Г. Клооса для наименования систем трещин, аплиты, пегматиты и кварцевые жилы часто залегают в направлении сланцеватости гнейсо-гранитовых толщ, как это отмечается А. А. Полкановым (25, 278) и другими. Такое отсутствие подобающей гармонической сопряженности между прототектоникой и трещинной тектоникой, на деле признаваемое целым рядом исследователей, только лишний раз подчеркивает несостоятельность той точки зрения, которая рассматривает прототектонику и трещинную тектонику, как результат одних и тех же механических давлений, по-разному проявляющих себя в разных материалах, обладающих разными физическими свойствами (магма—горная порода).

Разберем теперь надежность других критериев для определения систем трещин: заполнение трещин жильным материалом, наличие по ним

смещений и совершенство их внешнего выражения. При этом примем, что пологая система трещин будет системой L. Поэтому вопрос о наименовании трещин сведется к вопросу о том, как различить системы трещин Q, S и диагональные.

Возьмем в качестве примера Ловозерский щелочной массив, в котором весьма резко выражена горизонтальная план-параллельная структура, но линейная структура отсутствует. Здесь, по данным исследователей этого плутона, развиты, главным образом, вертикальные или крутонаклонные системы меридиональных и широтных трещин, по отношению к которым трещины северо-восточные или северо-западные имеют подчиненное значение. Из двух главных систем трещин наиболее развиты трещины широтного простирания, которые более длинны, ровны и часты, нежели трещины меридиональные. Жильные породы в Ловозерском массиве мало распространены, но из крутых трещин предпочитают широтные. В этих же трещинах встречается и цеолитовая минерализация. Нарушения вообще отсутствуют. На основании перечисленных признаков широтным трещинам было присвоено название Q, а меридиональным S. В соответствии с этим следовало бы считать, что Ловозерский щелочной массив формировался при участии широтного ориентированного давления, однако региональные исследования показывают, что формирование девонских щелочных плутонов сопровождалось действием не широтного, а меридионального бокового давления (27), так что если придерживаться генетической классификации трещин, то следовало бы широтные трещины назвать S, а меридиональные—Q, что, однако, не вяжется с их морфологическими признаками.

Еще более интересные наблюдения над трещинной тектоникой были сделаны в соседнем с Ловозерским плутоном—Хибинском плутоне, где по исследованию трещинной тектоники работала специальная партия, возглавляемая А. В. Пэкком (33;34). Здесь было сделано более 8000 замеров трещин и жил, тщательно обработанных и сведенных в соответственные диаграммы на стереографических сетках. Результаты показали, что „признаки, позволяющие в поле сравнительно легко отличить трещины разрыва Q от трещин S и диагональных плоскостей Мора, здесь отсутствуют совершенно, и все трещины по существу одинаковы, Никаких смещений и следов таковых также констатировано не было“ (34, 5). Поэтому при интерпретации сетки трещин А. В. Пэк основывается почти исключительно на их относительном положении и сочетании, что приводит его в большинстве случаев к многозначному решению. А. В. Пэк отмечает, что почти во всех составленных им диаграммах имеются 2 пары взаимноперпендикулярных систем трещин, одна из которых представляет трещины Q и S, а другая—трещины Мора. Однако он затрудняется с определенностью сказать: какие же трещины являются трещинами Q и S, а какие—трещинами Мора, ибо со всеми ними связаны те или иные жильные образования, сингенетичные со щелочной интрузией, все трещины выражены более или менее одинаково, а нарушения отсутствуют. Выход из создавшегося положения автор видит в признании неоднородности динамических условий развития трещинной тектоники Хибинского массива. В заключение своей статьи А. В. Пэк, посвятивший много времени на изучение трещинной тектоники интрузивов и считавший, что это есть основной метод изучения строения массивов, делает ценное признание, что область этого метода оказывается ограниченной и что он „не является универсальным средством, позволяющим решать все вопросы тектоники“. (34, 49).

Если взять в качестве примеров гранодиоритовые плутоны—Аскызский (рис. 14), Дашкесанский (рис. 19), или Центральный, расположенный в районе Центрального золотого рудника в Мартайге (западная Сибирь), где мне также приходилось проводить специальные тектонические исследова-

дования (30), то мы увидим, что во всех развиты две главные пары взаимноперпендикулярных систем трещин, в которых, однако, очень трудно определить—какие из них Q и S, а какие диагональные. Возьмем, например, гранодиоритовый массив (круто падающий акмолит) района Центрального рудника. Здесь, как показано на блок-диаграмме (рис. 27¹⁾), аплитовые и кварцевые жилы располагаются по всем четырем системам трещин, так что если бы мы пожелали здесь выделить трещины S по их основному признаку—отсутствию в них жил, то таковых бы трещин мы не нашли. Здесь мы можем говорить только о том, что трещины СВ и широтного простирания более богаты минерализацией и жилами, особенно длинными: по сравнению с трещинами меридионального и СЗ простирания. Однако именно по последним трещинам наиболее часто происходят нарушения, что не свойственно трещинам S.

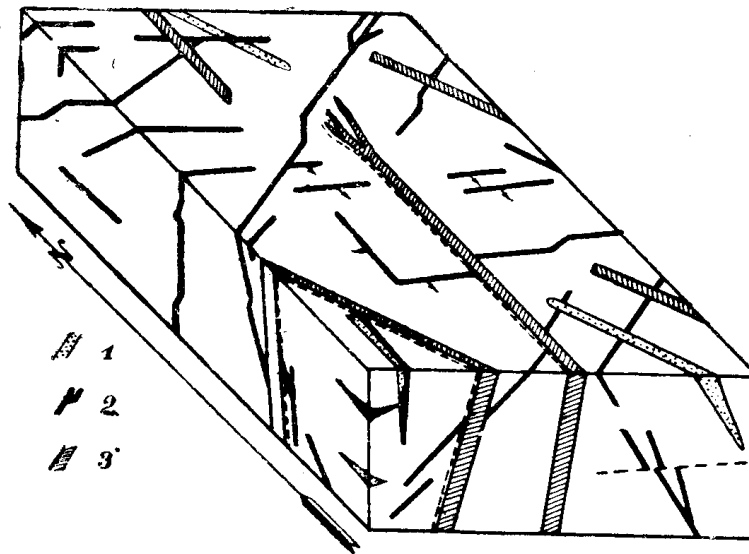


Рис. 27. Блок-диаграмма, показывающая системы жил в районе Центрального золоторудного месторождения (Западная Сибирь): 1 — аплитовые жилы; 2 — кварцевые жилы; 3 — лампрофировые жилы.

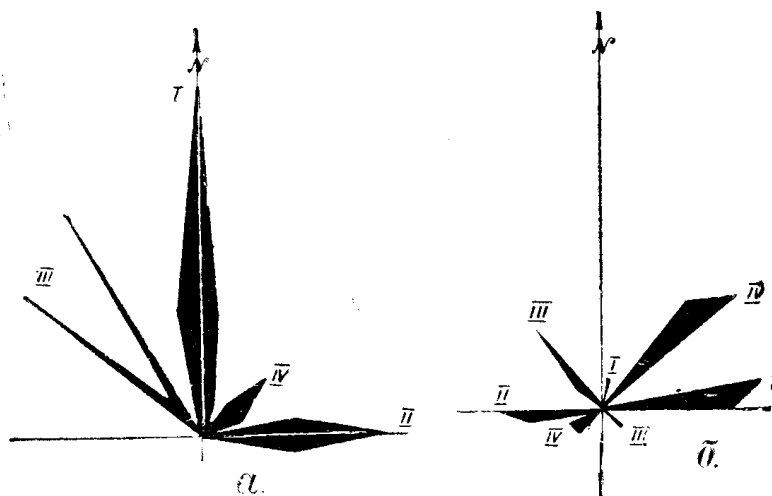


Рис. 28. Розы-диаграммы трещин в Дашкесанском плутоне (Закавказье). Составлены на основании 160 замеров в 20 точках. а — роза диаграмма крутых трещин с падением 90° до 70° в обе стороны; б — роза-диаграмма трещин, с падением 35–50°; падения трещин на диаграмме направлены по часовой стрелке. Масштаб диаграммы б по сравнению с диаграммой а увеличен вдвое.

в каждой паре одна система трещин выражена резче другой, к ней перпендикулярной (рис. 28), так что можно, например, поделив острый угол

Если мы обратимся к Дашкесанскому плутону (рис. 19, 28 и 29), то увидим здесь подобную же картину. Выделить здесь трещины S (а этим, следовательно, и определить названия других систем трещин) на основании объективных материалов нельзя. Такой же случай наблюдается и в Аскызском плутоне.

Если говорить о резкости проявления систем трещин, то надо сказать, что в одних частях плутонов более резко выражены одни, в других—другие системы трещин. Обычно

¹⁾ План расположения жил на диаграмме условный.

между двумя наиболее частыми и резко выраженными системами трещин, говорить о некотором среднем направлении, в котором трещины более совершенны и многочисленны, чем в другом, перпендикулярном направлении. Но решать, которая из двух наиболее развитых систем трещин, является системой Q, а которая системой диагональной (если посчитать две другие системы за S и вторую диагональную), можно только сугубо условно, греша перед объективностью.

Если мы попробуем привлечь на помощь углы падения трещин (ибо в идеальном случае, по Г. Клоосу, моровские трещины под влиянием силы тяжести должны иметь падение около 45° , в то время, как трещины

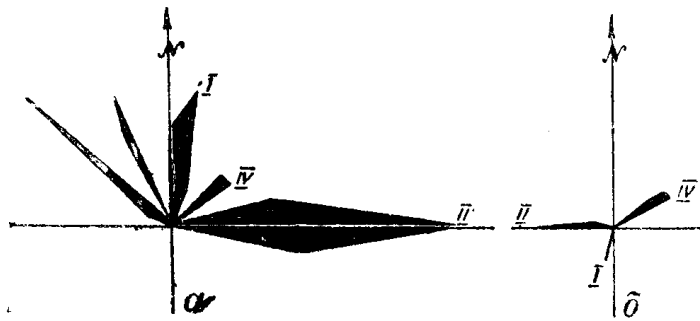


Рис. 29. Розы-диаграммы аплитовых, кварцевых и гранатовых жил в Дашкесанском плутоне (Закавказье). Составлены на основании 55 замеров в разных точках плутона. а — крутопадающие жилки; б — жилки, падающие под углом $35-50^\circ$; направления падения — по часовой стрелке.

Q и S в общем случае должны падать более круто), то в приведенных примерах мы должны будем констатировать, что все четыре системы трещин слагаются, во-первых, из трещин с крутым падением $50-70^\circ$ в ту и другую стороны, и, во-вторых, из трещин с падением $35-55^\circ$ тоже в ту и другую стороны. Так что, можно говорить о том, что если мы имеем в плане четыре системы трещин, то в разрезе каждой системе трещин, характеризующейся опре-

деленным простиранием, будут соответствовать три системы, отличающиеся друг от друга падением, к которым можно присовокупить четвертую систему — пологую — L (рис. 28 и 30) благодаря чему сетка трещинной тектоники, образующая ее остов, приобретает симметричный характер. Однако следует заметить, что, например, в наблюдаемых

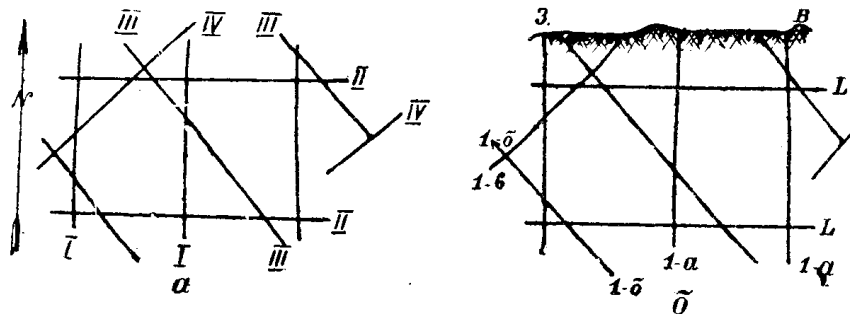


Рис. 30. Симметричность остова трещинной тектоники. а — четыре системы трещин в плане. Каждая система разбивается в свою очередь на три системы, различающиеся по падению, что показано на разрезе б. В качестве четвертой системы здесь входят пологие трещины L.

мною случаях системы со средними углами падения имели статистически подчиненное значение по отношению к системам крутопадающим, и кроме того были развиты не одинаково по всем направлениям, имея преимущественно простирание наименее развитых крутопадающих трещин (рис. 28). В результате этого создается возможность говорить о некоторых двух взаимноперпендикулярных осях, одна из которых делит пополам острый угол между двумя, наиболее развитыми системами крутопадающих тре-

щин, а другая делит пополам острый угол между двумя наиболее развитыми системами трещин со средними углами падения. Интересно было бы проверить, насколько подобное явление оказывается закономерным.

Таким образом, то основное, что дает анализ трещинной тектоники по Г. Клоосу, а именно—выяснение динамических условий, в которых развивалась трещинная тектоника данного интрузива, т. е. определение векторов давления по тем признакам, на которых построена генетическая система трещин Г. Клооса, встречает на практике столь много затруднений и противоречий, что мы вправе, на основе даже одних только эмпирических данных выразить сомнение по поводу правильности этой генетической интерпретации трещин Г. Клоосом. Критика теоретических основ клоосовской классификации будет проведена нами дальше.

Ко всему сказанному о системах трещин необходимо добавить еще одно весьма существенное осложнение, которое выявляется при детальном наблюдении над трещинами. Речь идет о том, что каждая система трещин оказывается в некоторых случаях состоящей из двух сопряженных поверхностей раскола, несколько различающихся друг от друга как по простиранию, так и по падению. Разница в простирании достигает до 20° . Такие пары совместно проявляются не во всех случаях; чаще они сменяют друг друга, подсекая одна другую или плавно переходя одна в другую, как это изображено на зарисовке обнажения рис. 31, сделанной в Ловозере. Здесь они впервые были отмечены инж. А. С. Сахаровым, по

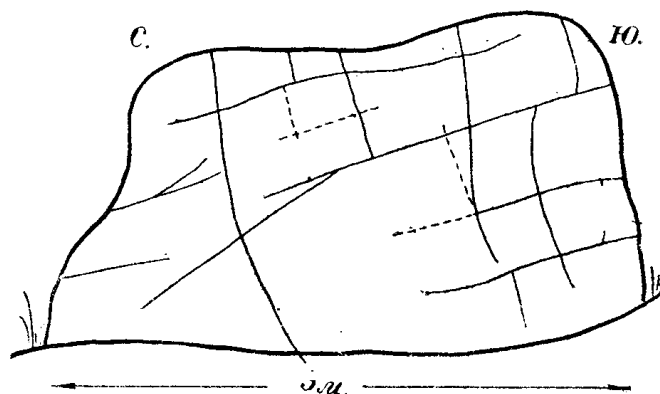


Рис. 31. Зарисовка обнажения лувяритов. Пары трещин (Ловозеро).

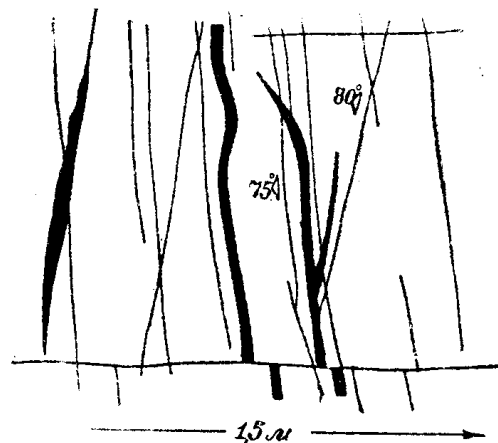


Рис. 32. Жилки аплита, развивающиеся по паре трещин (Дашкесан).

наблюдениям которого и меридиональная и широтная и L—системы Ловозерского плутона состоят из пар трещин, пересекающих, подсекающих и искривляющих друг друга (36). Не следует думать, что эти трещины разного возраста. В Дашкесанском плутоне мне приходилось наблюдать, как по обеим трещинам пары развивались жилки аплита (рис. 32). Иногда эти пары трещин находят себе отображение в розах-диаграммах трещин, особенно если замеры проводились на небольшой площади. Например, такие пары довольно хорошо выделяются на розе-диаграмме трещин, замеренных в штольне Юкспорра (Хибины) А. В. Пэкком (34), рис. 33). В розах-диаграммах трещин Дашкесанского плутона, рис. 28—также хорошо выделяются такие пары. Такую пару можно было бы отождествить с известной „парой Клооса“, представляющей недоказанную экспериментальную пару моровских трещин с углом пересечения падающим до 0° , которая привлечена Г. Клоосом для объяснения появления трещин Q (см. главу о теории Г. Клооса). Однако такие пары трещин свойственны не одной

какой-либо системе трещин, а всем системам, что говорит за известную генетическую общность этих систем.

В заключение необходимо отметить, что кроме первичных систем трещин, поведение которых выдерживается как на поверхности, так и в глубоких горных выработках (30, 34), имеются еще выделяемые Г. Клоосом вторичные трещины (Vanning) повторяющие контуры рельефа. Классический пример такого рода трещин, выраженных очень резко, мне пришлось наблюдать в одном из гранитных массивов Сев. Кавказа. Этот пример изо-

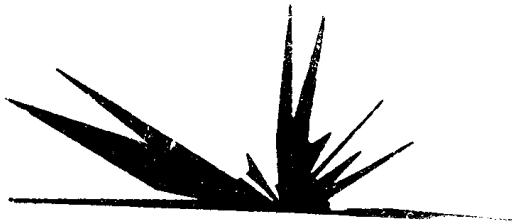


Рис. 33. Роза-диаграмма трещин, замеренных в штольне Юкспора (Хибины) (по А. В. Пэку). На диаграмме выделяются пары трещин.

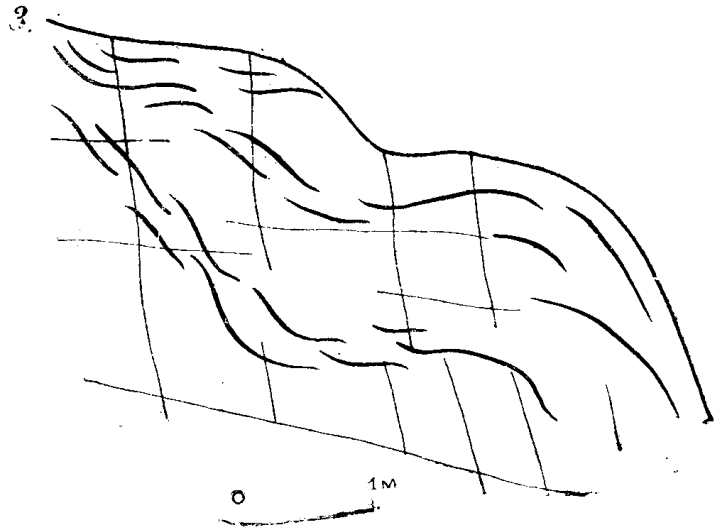


Рис. 34. Вторичные трещины (жирными линиями), наложенные на первичные трещины и повторяющие контуры поверхности обнажения (Тырны-Аузс).

бражен на рис. 34. Надо сказать, что при сильно расчлененном рельефе подобные трещины могут иногда быть весьма развитыми, что нужно учитывать при полевых исследованиях.

4. ВРЕМЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРЕЩИН В ИНТРУЗИВАХ.

Возникновение трещин в интрузиве происходит не в какую то особую фазу сжатия, а по мере затвердевания плутона, как это выдвигает в своих работах Г. Клоос.

В самом деле, образование трещин в изверженной породе можно заметить на очень ранней стадии ее развития. Очень интересный при-

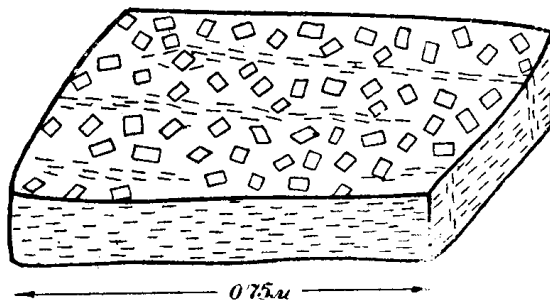


Рис. 35. Блок-зарисовка. Полоски лувритов с вертикальными лейстами полевого шпата среди лувритов с горизонтальными лейстами полевого шпата (Ловозеро).

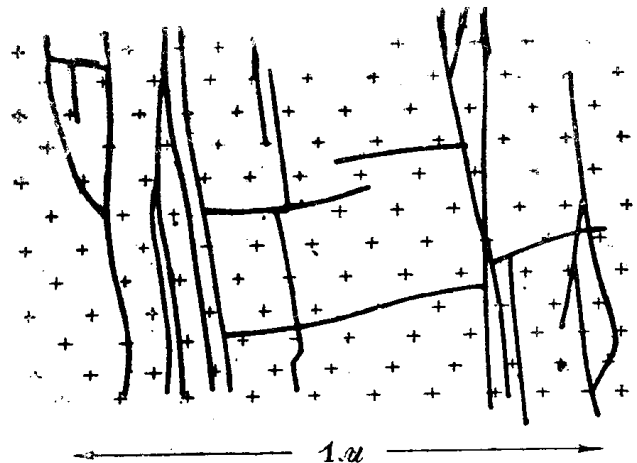


Рис. 46. Гранатовые жилки в Дашкесанских гранодиоритах.

мер, подтверждающий это, мне пришлось наблюдать в Ловозерском щелочном массиве. Здесь в лувритах проявляется резко выраженная горизонталь-

ная трахитоидность, обусловленная горизонтальным расположением изометных лейст полевого шпата. И вот, в нескольких местах я наблюдал любопытное явление, когда в обычных луювритах появлялись ориентированные в широтном направлении тонкие линзовидные полосы тех же луювритов, в которых лейсты полевого шпата располагались вертикально (рис. 35). Ориентация и падение этих полосок совпадают с одной из главных систем трещин в массиве, так что можно думать, что здесь мы имеем пример очень раннего возникновения местных трещин, заполненных поднявшимся по ним снизу еще не затвердевшим материалом.

Вообще же широко известны примеры развития по трещинам в интрузивах гранатовых (рис. 36), аплитовых и жильных гидротермальных образований, причем формирующиеся в трещинах жилы часто показывают высокую степень совершенства трещинной тектоники, которую достигает интрузив к моменту появления в нем жильных дифференциатов.

Таким образом, трещинная тектоника интрузивов закладывается и формируется параллельно с затвердеванием слагающих интрузивы пород.

5. РАЗВИТИЕ ТРЕЩИН В ИНТРУЗИВАХ.

В какой последовательности возникают трещины? Образуются ли они поочередно или одновременно?

Поскольку трещины, согласно воззрениям Г. Клооса, возникают в результате действия стресса и давления нагрузки, проявляющихся одновременно, нет причин, которые повлекли бы очередность в образовании главных систем трещин. Тот факт, что во всех главных системах трещин развиваются аплитовые и кварцевые жилы, говорит за то, что ко времени появления этих жил трещины уже существовали. Следовательно, мы вправе заявить, что все главные системы трещин, слагающие остов первичной трещинной тектоники массива, образуются приблизительно одновременно. Вопрос о разновременности возникновения трещин появляется у исследователя обычно тогда, когда он имеет перед собой несколько типов разновозрастных жил, взаимно пересекающихся. Так, например, А. В. Пэк находит, что в Хибинском плутоне имеется восемь типов сингенетических с ним жил последовательных возрастов. Однако попытка автора воспользоваться возрастной схемой жил для установления последовательности возникновения трещин терпит неудачу, так как, например, жильные нефелиновые сиениты оказываются разбросанными по всей площади круга диаграммы, и, следовательно, ко времени их внедрения существовали полностью все системы трещин. Поэтому автор оговаривается, что, повидимому, все трещины более или менее одновременны, но в силу изменяющейся во времени динамической обстановки в известный момент для магматического материала были доступны только некоторые, вполне определенные системы данной сетки трещин. (34, 31—32).

Таким образом, в вопросе о времени образования трещин следует различать два момента: возникновение главных систем трещин, образующих остов трещинной тектоники, которое, повидимому, происходит одновременно, и возникновение условий, благоприятствующих заполнению той или иной системы трещин жилами. При этом, как показывает практика, максимумы пространственного развития жил разного возраста часто не совпадают, пересекаясь между собой, что говорит о переменном характере динамической обстановки, сопровождающей развитие трещин. На то же самое указывают разновозрастные нарушения, подсекающие друг друга, которые проявляются по разным системам трещин, и разного рода зоны смятия, проявляющиеся в одних направлениях, а в других не проявляющиеся. Например, А. А. Полканов приводит наблюдаемый им случай, когда более юная дайка пироксенита, пересекающая диабаз, является раз-

дробленной, а диабаз—нет, или когда главная дайка диабазы сохраняется в „абсолютной свежести“, в то время как ее апофиз сильно раздроблен (24, 962), и т. п.

Таким образом, вопросы о возникновении систем трещин и об использовании их жилами и нарушениями являются вопросами несколько разных порядков. Иными словами—одновременность возникновения всех главных систем трещин еще не предполагает одинакового характера их развития и применения, которые зависят от характера изменяющейся динамической обстановки, обуславливающей формирование трещин и использование их жилами и нарушениями, в то время, как одновременное заложение си-

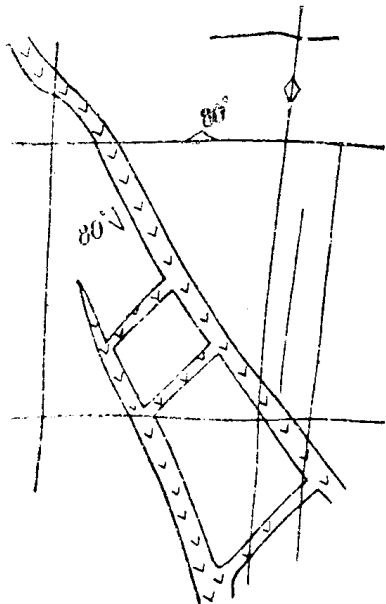


Рис. 37. Жилы аплита, пересекаемые позднее развившимися в этом месте системами трещин других направлений (Дашкесан).

стем трещин есть, повидимому, механический закон, проявляющий себя аналогично разработанному в механике закону образования пары трещин Людерса-Мора. Кроме того, одновременность возникновения систем трещин также не предполагает, что во всех точках plutона будут развиты трещины всех систем. Наоборот, обычно бывает так, что в одних участках plutона развита главным образом одна пара систем, а в других—другая. Иногда такое чередование можно наблюдать не только в пространстве, но и во времени, но не для всего plutона, а для одного участка его. Так, например, на рис. 37 изображен случай, когда аплитовые жилы развились по одной паре взаимноперпендикулярных систем трещин, однако самих трещин этих систем в данном участке не имеется: они имеются в соседнем участке, а здесь развиты трещины другой пары систем. Повторяем, что наблюдаемое здесь чередование систем трещин во времени может быть распространено только на данный участок и для нескольких участков уже теряет силу, так как в других, соседних участках взаимоотношения могут быть обратными,

Трещины суть нарушения сплошности, перерыв непрерывности, определенный вид деформации. Это не значит, однако, что по всем трещинам должны происходить смещения. Наоборот, заметные перемещения по трещинам отдельности (диаклазам) встречаются довольно редко, хотя при шлифовки стенок трещин и борозды скольжения наблюдаются чаще, чем заметные перемещения, устанавливаемые по жилкам, шлирам и т. д. Очень часто в plutонах можно встретить резко выраженные, весьма длинные трещины, по которым не наблюдается никаких смещений. Более того, нередко можно встретить настоящие зоны смятия, по которым, несмотря на резкость их проявления, не происходит никаких нарушений (рис. 38 и 39). На рис. 39, например, видно, что жилка аплита, попавшая в зону сильного осланцевания, не претерпевает по плоскости сланцеватости никаких перемещений и в то же время перемещается косыми, по отношению к сланцеватости, сместителями. Интересные примеры интенсивной рассланцовки без смещений можно наблюдать в карьерах апатитового рудника (Хибинь), где они пересекают полосчатые апатитовые руды в виде зон смятия, сопровождающихся брекчированием, мощностью до метра и более, которые однако не передвигают пересекаемых полос пород. Примеров подобного рода можно привести весьма много.

От таких зон смятия следует отличать зоны грубой рассланцовки, представляющие весьма распространенное явление в трещинной тектонике ин-

трузивов. Эти зоны представляют собой полосы наиболее интенсивного развития какой-либо одной или двух систем трещин, которые то представляют местное явление, то прослеживаются на значительные расстояния, как это показано на схематических тектонических картах рис. 14 и 19. Ширину полос грубой рассланцовки точно определить трудно; можно сказать только приблизительно, что она колеблется в пределах от нескольких метров до нескольких десятков метров.

Повидимому, полосы грубой рассланцовки представляют собой элемент глыбовой складчатости, которая, как показывают геологические исследования, является весьма распространенной и которую следует рассматривать как один из необходимых элементов тектоники гранитов. Весьма

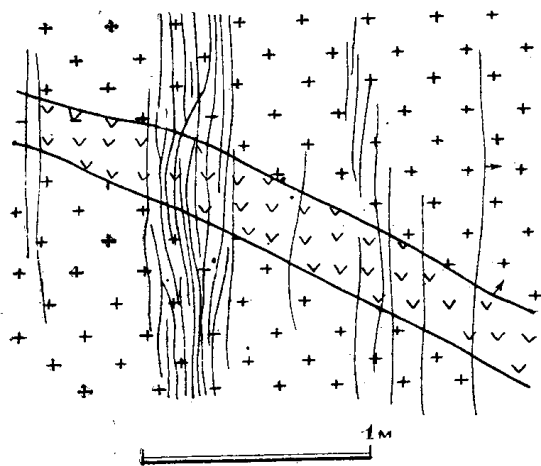


Рис. 38. Жизла аплита в гранодиоритах, пересекаемая зонами рассланцевания, не производящими заметных смещений жилы (Дашкесан).

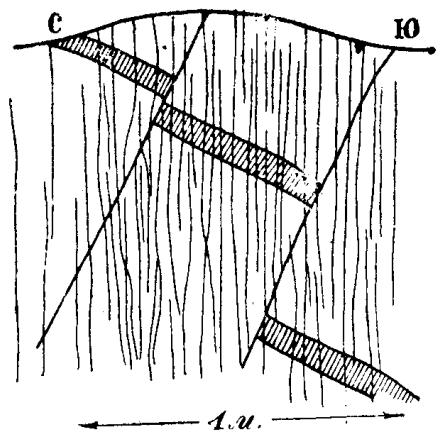


Рис. 39. Жизла аплита в гранодиоритах в зоне рассланцовки. Перемещения жилы происходят по трещинам, косо секущим зону рассланцовки (Дашкесан).

наглядный пример глыбовой складчатости мне посчастливилось наблюдать в среднем течении реки Аскыз (Хакассия), в месте, где красноцветная девонская полого-залегаящая толща налегает на верхнекембрийские гранодиориты. Прекрасная обнаженность и расчлененность рельефа позволяют здесь видеть проявления глыбовой складчатости в разрезе. Ясно видно, как налегающая на гранодиориты толща образует крупные волны с крыльями, падающими под углом к горизонту до 30° .

По характеру проявления трещины в интрузиве следует разбить на два главных типа: трещины—плоскости—обычный тип, и трещины—зоны, или перистые трещины—тип довольно редкий.

Трещины—плоскости бывают неровные и шероховатые и ровные—шероховатые или гладкие. Гладкость трещин иногда бывает поразительная. Но еще поразительнее то, что эти ровные, как будто рубленые трещины, проявляются независимо от строения породы. Известны многочисленные случаи, когда даже в относительно рыхлых конгломератах подобного рода трещины, не изменяя своего направления и характера, просекают как цемент так и гальки разных размеров.

Надо сказать, что шероховатость или гладкость не являются исключительной привилегией какой-либо одной системы трещин, но в некоторых случаях можно говорить о статистическом преобладании гладких трещин среди какой-либо одной системы или двух систем перед остальными. Обычно более гладки те трещины, в направлении которых располагаются наиболее распространенные полосы грубой рассланцовки.

Перистые трещины (рис. 40) представляют из себя зоны дробления по Г. Клоосу при встречном движении двух глыб. А. А. Полканов, сделавший много наблюдений над перистыми трещинами в гнейсах Кольского полуострова, считает их начальной стадией брекчий трения и поясов милонитов. Вначале по этим перистым трещинам не происходит видимых перемещений, но затем они перемещают пересекаемые дайки, причем в таких случаях перистые трещины заменяются поясами сложно-раздробленных пород (27, 433—434). Однако не следует думать, что перистые трещины возникают только там, где развиты разного рода зоны брекчирования, милонитизации

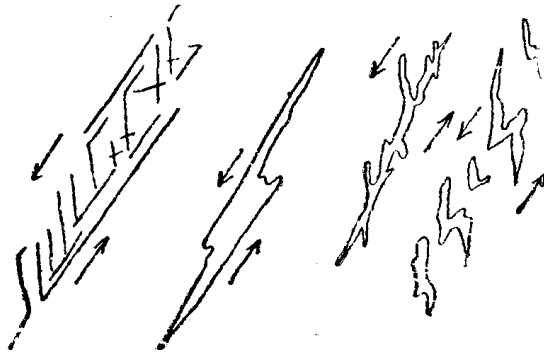


Рис. 40. Перистые трещины, часто заполняемые жильным материалом. Стрелки сбоку указывают направления движения (по А. А. Полканову).

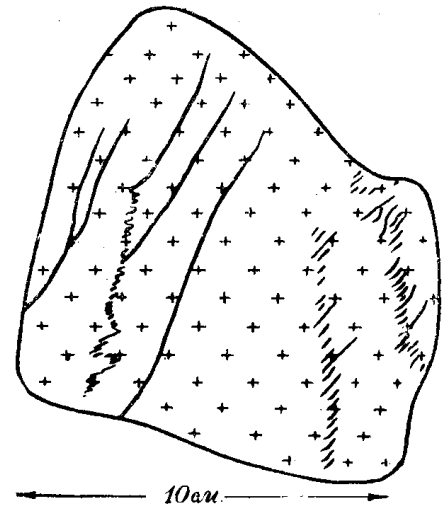


Рис. 41. Зарисовка штуфа. Перистые жилки граната в гранитных (Улень, Хакассия).

и т. п., т. е. всякого рода вторичные тектонические образования; такие перистые трещины охотно образуются иногда также в ранние стадии развития трещинной тектоники и, заполняясь гранатом, аплитом или кварцем, приводят к возникновению своеобразных жилок, изображенных, например, на рис. 41 и 42. Однако подобные образования являются сравнительной редкостью и не относятся к обычным трещинам отдельности, для которых характерны ровные плоскости среза или неровные разрезы.

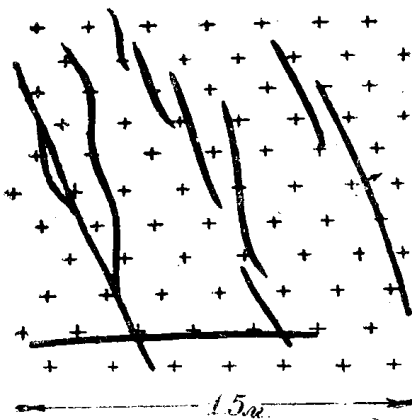


Рис. 42. Перистые жилки аплита в гранодиоритах (Дашкесан).

Трещины не сразу образуются такими длинными, какими мы их часто видим. Они растут, сливаясь друг с другом и подсекая друг друга. С особенной наглядностью рост трещин проявляется на контактах интрузива с вмещающими породами или жилами аплитов, лампрофиров и т. д. (рис. 20), где видно, как трещины, развиваясь, входят из одной породы в другую, как, будучи пересечены жилой, они, подновляясь, пересекают эту жилу, создавая впечатление более молодых трещин; трещины охотно подновляются по контактам жил, образуя здесь ровные зальбанды друг за друга, образуя кулисообразные системы, или сливаются друг с другом, пересекают одну другую или подсекают друг друга.

Как известно, длина трещин не бесконечна, а количество трещин обычно не настолько велико, чтобы расчленивать породу на мелкие кусочки, причем, если мы сравним древние интрузивы с молодыми, то мы не увидим в них особенно большой разницы в количестве трещин и длине их.

Иногда в каких-нибудь протерозойских гнейсах трещинная тектоника выглядит совершеннее и спокойнее, чем в очень молодой интрузии, захваченной зонами нарушений, в каковых возникают обильные трещины всех направлений, распределить которые по системам бывает порой совершенно невозможно. И если участков подобного рода бывает обычно больше в древних интрузивах, чем в молодых, то это зависит от того, что древние интрузивы, большею частью, более богаты зонами нарушений, чем молодые интрузивы, что, подчеркиваю еще раз, не является однако законом.

Таким образом, если мы будем рассматривать общий случай развития нормальной трещинной тектоники, не осложненной последующими зонами нарушений, то мы увидим, что количество трещин и длина их не зависят от возраста интрузии, что в древних интрузивах трещинная тектоника может быть выражена так же, как трещинная тектоника в молодой интрузии, примером чего могут послужить хотя бы уже приведенные мною гранодиоритовые массивы—верхнекембрийский, Аскызский (рис. 14) и верхнеюрский Дашкесанский (рис. 19). Из сказанного явствует, что развитие трещин в интрузивах имеет какой то предел, дальше которого увеличение количества трещин и их средней длины не происходит. Очевидно, что имеющиеся трещины и малозаметные движения по ним вполне компенсируют те механические напряжения, которые испытывают интрузивы под влиянием внешних механических усилий. Таким образом, количество трещин и их длина есть вопрос не возраста интрузий, а величины максимальных механических напряжений, которые они испытывают в процессе своего геологического развития.

6. УНАСЛЕДОВАННОСТЬ НАПРАВЛЕНИЙ СИСТЕМ ТРЕЩИН.

В предыдущей главе я уже указал на тот факт, что трещинная тектоника старых и молодых интрузивов в ряде случаев не несет значительных различий. На это обстоятельство уже давно обратил внимание сам Г. Клоос, неоднократно указывавший на одинаковость направлений систем трещин в разновозрастных интрузивах (52, 88, 103) и выразивший это в своем обобщении—„образование массива хоть и создает вновь трещины, но направления трещин уже имеются и только применяются“ (55, 110). Мысль об унаследовании в течение длительного времени ориентации компонентов давления содержится даже в его классификации трещин. Указывая, что в отличие от трещин S трещины Q часто выполняются кварцево-полевошпатовыми и хлоритовыми жилами с бурым железняком и соединениями марганца, Г. Клоос замечает, что это указывает не только на то, что эти трещины возникли во время охлаждения гранита как трещины растяжения, но и на то, что они были частью открыты и позднее, в результате чего в них просачивалась грунтовая вода и производила вторичные изменения и отложения, в то время, как в трещинах S ничего подобного не имеет места.

С. Бубнов в своей работе по южному Шварцвальду (50) указывает, что хотя положение Ваиквадерга гранитов изменяется в разных местах, но ориентировка его остается неизменной. Она одинакова как для древних варисцийских гранитов, так и для молодых гранитов, в которых направления S и Q совпадают.

Это же явление сказывается на одинаковой ориентации главных систем трещин в интрузивах и во вмещающих их породах, о чем мы уже подробно говорили в своем месте.

Все эти многочисленные факты говорят за то, что направления главных систем трещин как то унаследуются, ибо, в противном случае,

в древних плутонах, например, было бы невозможно определить какие либо определенные системы трещин, так как этих систем было бы настолько много, что они образовали бы между собой во всех случаях такие взаимоотношения, какие наблюдаются между трещинами в зонах интенсивной перебитости, что не подтверждается действительностью.

На основании сказанного можно было сделать заключение о выдержанности во времени направления основных компонентов давления, и это в известной мере было бы правильным, поскольку мы знаем, что в геосинклинальных зонах, например, наблюдается известная унаследованность не только направлений разновозрастных геосинклиналей, примыкающих друг к другу, но и направлений осей складок в них.

Однако пересечения максимумов ориентаций разновозрастных жил и нарушений, часто встречаемых в геологической практике, говорят об изменяющемся характере динамической обстановки, обуславливавшей развитие трещин, о чем мы уже упоминали в предыдущей главе. В результате сказанного возникает противоречие: однотипность ориентации главных систем трещин в разновозрастных интрузиях и вмещающих их породах говорит о выдержанности динамической обстановки, обуславливающей развитие трещин, в то время, как распределение в пространстве разновозрастных жил и нарушений говорит за то, что эта динамическая обстановка является изменяющейся. Выход из создавшегося затруднения следует, повидимому, искать в двух направлениях: либо трещины, заполняемые жилами, накладываются на существующие системы трещин, являясь от них независимыми и приобретая новые направления в случае возникновения нового направления действующих сил, либо эти изменяющиеся действующие силы проявляются по уже существующим системам трещин, обуславливая характер их развития в данный период и их применение жилами и нарушениями.

Г. Клоос рассматривает в своих работах жилные образования в связи с имеющимися уже системами трещин. Однако он указывает, что одно наличие трещин еще недостаточно для образования вулканических жил, потому что иначе были бы использованы трещины всех имеющихся направлений. Поэтому трещины соответственных направлений должны ожить и раскрыться незадолго до или во время вулканического напора, что обуславливается действием соответственно ориентированных сил, меняющих во времени несколько свое направление (14, 80—81). Такой же точки зрения придерживаются и многочисленные последователи Г. Клооса.

Мне также приходилось специально заниматься вопросом о распределении жил и даек в интрузивах. В частности, я проводил тематическую работу по тектонике Центрального золоторудного месторождения (30), где выявилась полная сопряженность трещинной тектоники плутона и рудных жил залегающих в нем, спессартитовых даек, секущих рудные жилы и нарушений, смещающих жилы и дайки. Специальные исследования в верхнекембрийском Аскызском плутоне (рис. 14) показали здесь полную сопряженность с его трещинной тектоникой как рудных и аплитовых жил, так и даек порфиритов девонского возраста.¹⁾

Все это показывает, что системы трещин, вмещающих дайки и жилы, не возникают вновь, а применяются, т. е. происходит оживание, рост в длину и раскрытие трещин, относящихся к одной или нескольким уже имеющимся системам. При этом, однако, следует отметить, что ориентация определенных систем трещин не является совершенно выдержанной

¹⁾ Вопросу о структуре рудных полей, залегающих в кристаллических массивах, мною посвящена специальная статья, помещенная в „Трудах научной конференции по изучению и освоению производительных сил Сибири,“ том II изданных Томским Гос. Университетом в 1940 г.

прямолинейной, трещины по простиранию обычно изгибаются, несколько меняют свое направление и т. п. Мелкие жилы, располагающиеся по небольшим трещинам, обычно охотно подчеркивают такие перемены. Но более крупные жилы выступают в отдельных местах как бы независимо от местных направлений трещин данной системы, выдерживая общее простирание, что вполне естественно, так как трещина, выросшая в очень крупную щель, в процессе своего роста приобретает все более характер самостоятельной единицы, проявляя от местных изменений известную независимость.

Таким образом, при изучении трещинной тектоники, следует заниматься, главным образом, не определением относительного возраста систем трещин, как то делают некоторые исследователи, а определением относительного возраста минеральных тел, заполняющих трещины, и различных дислокаций, перемещений по трещинам, каковые два вопроса представляют собой далеко не одно и то же.

Таким образом, системы трещин унаследуются, но применяются в зависимости от характера и направления существующих в земной коре механических напряжений. Но, с другой стороны, поскольку эти механические напряжения меняют во времени свой характер и направление, следовало бы ожидать соответственных перемен и в системах трещин, по крайней мере в разновозрастных формациях. Очевидно, что этот вопрос требует еще дополнительного освещения с фактической стороны, а также нуждается в специальных теоретических исследованиях, без которых решить его невозможно.

7. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН

Трещинная тектоника есть выражение пассивного приспособления твердых материалов к условиям ориентированных давлений. Поэтому вопрос о трещинной тектонике является общим вопросом, касающимся не только интрузивов, но и вмещающих их толщ. И если мы отличаем трещинную тектонику интрузивов и вообще гомогенных толщ, подобных по своим механическим свойствам интрузивным образованиям, от трещинной тектоники складчатых толщ, то это потому, что в интрузивах резче всего проявляются закономерности регионального трещинообразования, в то время как в складчатых толщах эти закономерности часто затушевываются или даже уступают закономерностям трещинообразования, имеющим место при явлениях складчатости.

Системы трещин, подобные тем, какие мы встречаем в интрузивах, часто бывают прекрасно выражены в пологозалегающих эффузивных и осадочных образованиях (как, например, в порфиритах Дашкесана), в разного рода кристаллических и метаморфических породах, не уступая по совершенству проявления трещинной тектонике интрузивов. Поэтому, если мы будем разбирать вопрос о происхождении тех четырех главных систем трещин, плюс пятая—пологая, какие мы обычно встречаем в интрузивах, разных кристаллических толщах и т. д., то надо сразу подчеркнуть, что речь идет не только о трещинной тектонике интрузивов, а о некоторой региональной трещинной тектонике, общей для больших областей. Так рассматривает этот вопрос Г. Клоос, когда он от трещинной тектоники интрузивов переходит к рассмотрению трещинной тектоники в глыбовых горах, подмечая здесь те же системы трещин, как и в граните и давая им те же генетические определения (14, 34—35).

В своих рассуждениях Г. Клоос исходит из действия невращательного стресса. Теоретические исследования показывают, что в этом случае плоскости максимального скалывания располагаются под 45° к направлению наибольшего сокращения.

Рассмотрим этот вопрос с точки зрения расположения в пространстве эллипсоида напряжения, понятие о котором в настоящее время широко применяется в геологической практике. Эллипсоидом напряжения называется трехосная фигура, подобная оптической индикатриссе, в которую обращается воображаемый шар при воздействии на него внешнего давления, которое можно распределить по трем главным векторам: наибольшему, наименьшему и среднему. Наибольшему давлению отвечает наименьшая ось эллипсоида (наибольшее сокращение) и, наоборот—наименьшему давлению отвечает наибольшая ось эллипсоида (наибольшее растяжение). Круговые сечения эллипсоида отвечают плоскостям среза и располагаются в общем случае под 45° к наибольшему давлению (рис. 43).

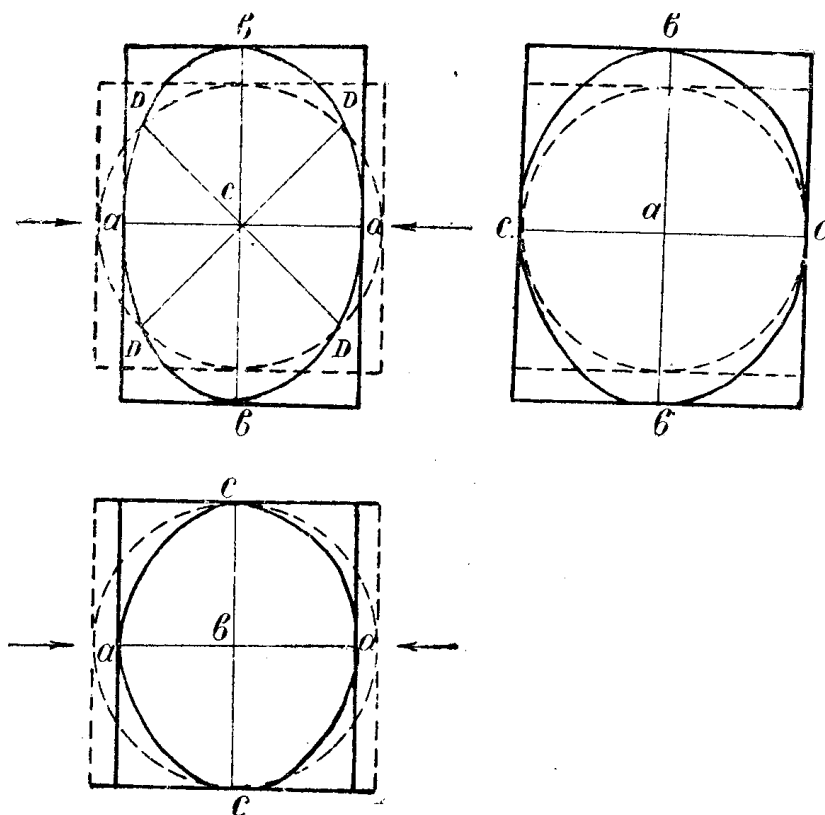


Рис. 43. Эллипсоид напряжения в ортогональных проекциях. Шар, трансформированный в эллипсоид, показан пунктиром. Стрелками показано направление трансформирующего усилия. aa —ось наибольшего сжатия; bb —ось наибольшего растяжения; cc —средняя ось; DD —круговые сечения эллипсоида, по которым наступают скальвания. Вверху—вертикальные разрезы, внизу план.

Уже давно Беккер обратил внимание на тот факт, что развитие пересекающихся вертикальных или крутонаклонных трещин только в том случае возможно при горизонтальных невращательных стрессах сжатия, если боковое сопротивление меньше вертикального (17, 39). Следовательно, если объяснять вертикальные диагональные трещины, пересекающиеся в плане, исходя из эллипсоида напряжения, то надо допустить, что боковое давление больше нежели гравитационное, а последнее, в свою очередь, больше, нежели третий вектор давления, расположенный в горизонтальном направлении, перпендикулярном к наибольшему стрессу. В направлении третьего вектора и должна быть расположена наибольшая ось эллипсоида, отвечающая направлению линейного штрекунга и трещин S (рис. 45). Это—случай нормального соотношения сил, принимаемый при всех главных рассуждениях Г. Клооса. Однако, диагональные трещины по Г. Клоосу

пересекаются не только в плане, но и в разрезе, что Г. Клоос объясняет одновременным действием нагрузки, подобным по своему проявлению действию бокового давления, т. е. вызывающим возникновение пары трещин, расположенных под 45° к давлению нагрузки (14, 31), (рис. 44).

Исходя из эллипсоида упругости, возникновение пересекающихся в разрезе трещин можно себе представить с двух точек зрения. Во-первых, это произойдет в том случае, когда давление нагрузки будет больше бокового давления и, вследствие этого, эллипсоид расположится так, как это показано на рис. 46. Во-вторых, это произойдет в том случае, когда давление нагрузки будет меньше обоих горизонтальных векторов давления, т. е. когда наибольшая ось эллипсоида располагается вертикально, как это показано на рис. 43. Однако, возникновение диагональных трещин, пересекающихся не только в плане, но и в разрезе, рассматривается

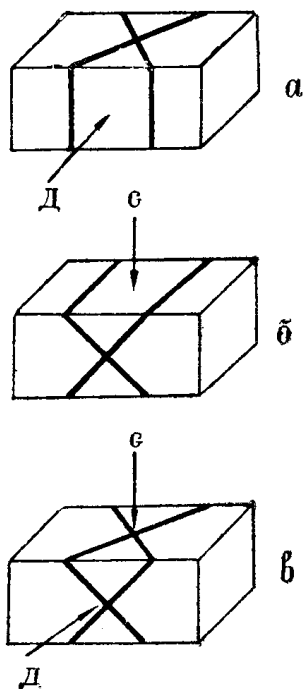


Рис. 44. Образование диагональных трещин (по Г. Клоосу). а—Диагональные трещины, образованные только в результате горизонтального давления (стресса)—Д; б—диагональные трещины, возникшие только от давления нагрузки С; в—диагональные трещины, возникшие от совместного действия бокового давления и давления нагрузки.

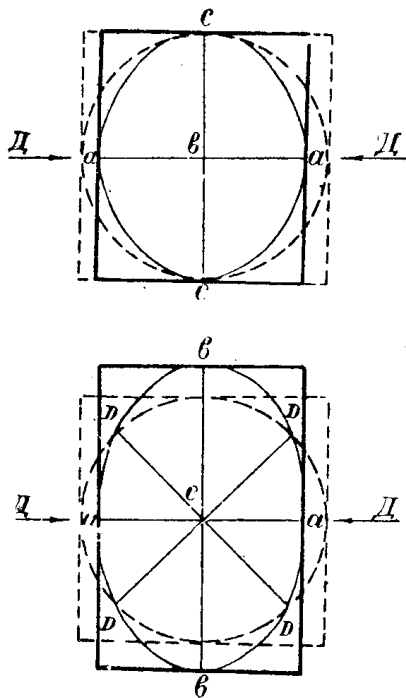


Рис. 45. Положение эллипсоида напряжения для случая, когда растяжение происходит в горизонтальном направлении, перпендикулярном к стрессу Д. Вверху—разрез, внизу—план. Обозначения те же, что и на рис. 43.

Г. Клоосом как акт одновременный, что, исходя из идеи эллипсоида упругости, не находит себе объяснения, так как в этом случае одни и те же по направлению оси эллипсоида должны одновременно иметь разную величину и значение.

Но помимо диагональных плоскостей есть еще плоскости Q и S—продольные и поперечные к главному боковому давлению, которые экспериментально для случая невращательного стресса не подтверждены. Исходя из особенностей трещин Q (длинные, ровные, используются жилами и сдвигами), Г. Клоос считает, что эти трещины возникают в направлении давления, являясь подобием известной в технике паре трещин Людвигса-Мора, но в геологических условиях с углом между отдельными направле-

ниями пары, часто близким к 0° . Следовательно, он считает, что трещины Q являются трещинами среза и одновременно трещинами растяжения, так как они располагаются перпендикулярно к направлению растяжения (штрекунгу) и благодаря этому наиболее охотно заполняются жилами. Что касается трещин S то Г. Клоос склонен рассматривать их как проявление сланцеватости, возникшей по плоскостям механической анизотропии—по линейному штрекунгу. Собственно говоря, подобным же образом он рассматривает и трещины L, которые возникают, по его мнению, перпендикулярно к гравитационному давлению в направлении плоского штрекунга. Но вместе с тем трещины L располагаются в направлении бокового давления, что позволяет рассматривать их аналогично с трещинами Q, с одной стороны, как трещины среза (по L часто наблюдаются сдвиги), а с другой стороны, как трещины растяжения, так как они часто бывают заполнены аплитовыми и кварцевыми жилами.

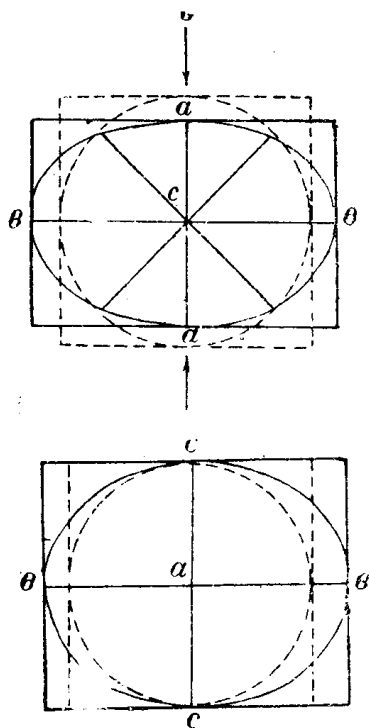


Рис. 46. Положение эллипсоида напряжения для случая, когда растяжение происходит в горизонтальном направлении, благодаря действию нагрузки С. Вверху — разрез, внизу — план. Обозначения те же, что и на рис. 43.

деление векторов сил, действовавших на плутон во время его становления. Вопрос о целесообразности Клоосовской классификации трещин еще больше усложняется, если мы перейдем от невращательных напряжений, из которых исходит в своих рассуждениях Г. Клоос, к случаю вращательных напряжений.

В настоящее время большинство тектонистов склоняется к убеждению, что в природе чистые невращательные напряжения проявляются редко, а действуют обычно совместно с вращательными напряжениями, имеющими иногда главенствующее значение. Поэтому рассмотрим, как образуются трещины в условиях вращательных напряжений, т. е. напряжений, вызванных действием пары сил, направленных, как в ножницах, в противоположные стороны.

Если в невращательных напряжениях напряжение и стресс находятся между собой в прямом отношении, т. е. оси эллипсоида напряжения сов-

Если исходить из эллипсоида упругости, то образование трещин растяжения в направлении перпендикулярном к его наибольшей оси теоретически является вполне возможным (смотри ниже); но мы уже указали, что применение к рассуждениям Г. Клооса понятия об эллипсоиде упругости встречает целый ряд препятствий, ибо невозможно определенно решить, как же располагается этот эллипсоид в пространстве. А без решения этого вопроса вся генетическая классификация трещин Г. Клооса теряет свой смысл, ибо основное, что дает по Г. Клоосу анализ трещинной тектоники, в соответствии с его классификацией, это опре-

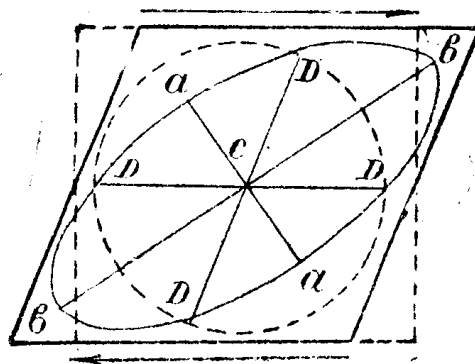


Рис. 47. Эллипсоид напряжения при срезающих усилиях (показаны стрелками). Направления действующих сил не совпадают с осями эллипсоида. Обозначения те же, что и на рис. 43.

падают с векторами соответствующих сил, то в случае вращательных напряжений эти взаимоотношения значительно усложняются.

Из рис. 47 видно, что при вращательном стрессе ось наибольшего сокращения не совпадает с направлением стресса, а плоскости максимального скалывания располагаются так, что одна из них почти совпадает с направлением наибольшего давления, а вторая наклонена к нему под углом близким к 90° . Таким образом, в зависимости от того, имеет ли сжатие вращательный или невращательный характер, или же оно представляет комбинацию того и другого, угол между плоскостями максимального скалывания и осью приложенного стресса может изменяться от 90° до 0° (17, 28).

При этом, по свидетельству Ч. Лизса, часто очень трудно или даже нельзя установить, является ли эллипсоид напряжения следствием вращательного или же невращательного напряжения и, следовательно, находится ли разлом приблизительно под углом в 45° к главному давлению или же под углом значительно меньшим или большим. Иногда при полевых наблюдениях над трещинами можно определить отношения между стрессом и напряжением, но в большинстве случаев это не представляется возможным (17, 31). „То, что мы видим в горных породах,—говорит Ч. Лизс—есть удлинение и сокращение, и обыкновенно мы не можем даже сказать, приписать ли их действию вращательного или невращательного стресса“ (17, 16). Это замечание также целиком относится и к случаю скручивания, когда образуются взаимнопересекающиеся разломы под 45° к оси кручения (как в опытах Добре с узкой стеклянной пластинкой), ибо и здесь эти трещины можно подвергнуть анализу тех ограниченных соотношений между стрессами и напряжениями, которые сводятся к натяжению, к сжатию без вращения или к чистому сокращению, или к сжатию с вращением, или, наконец, к скалыванию.

Таким образом, все основные виды деформаций дают одинаковые пары трещин скалывания, так что на основании одного наличия этих пар еще нельзя сказать, в результате какой деформации они возникли, а, следовательно, нельзя с определенностью установить направление и характер действующих сил.

В экспериментальных условиях горизонтальное скалывающее движение вдоль параллельных вертикальных плоскостей дает начало четырем системам взаимнопересекающихся трещин. Различные системы появляются в более или менее быстрой последовательности, перекрывая друг друга. В. Мид так описывает появление трещин на парафиновом слое резиновой пластины, произведенных скалыванием (75, 512—513, рис. 48).

„Первые нарушения, образующиеся в каком-либо одном месте испытываемой резиновой пластины, обычно представляют трещины натяжения, наклоненные приблизительно под углом в 45° к направлению скалывающего движения. Они проходят под прямым углом к направлению максимального удлинения и имеют вид вертикальных открытых трещин. За ними

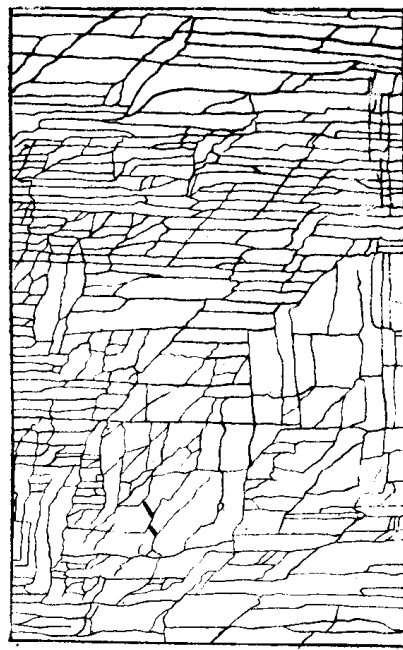


Рис. 48. Трещины на парафиновом слое резиновой пластины, произведенные скалыванием. Стрелки указывают на направление движения, а форма пластины на степень искривления (по Миду).

непосредственно следуют два ряда вертикальных дизъюнктивов с горизонтальным смещением, причем один ряд идет параллельно направлению движения, а другой—параллельно свободным краям резиновой пластинки. Последние представляют два направления отсутствия искривления или две плоскости скалывания, образованные скалыванием, в котором направление минимального сопротивления лежит в плоскости парафинового слоя. Другой ряд дизъюнктивов (только два из них видны на рис. 48¹⁾ представляют дизъюнктивы давления, простирающиеся приблизительно под прямыми углами к трещине натяжения и падающие примерно под углом в 45° в том и другом направлении. Они обязаны своим происхождением сжатию, идущему под прямым углом к направлению максимального удлинения“.

В этих опытах нас должны особо заинтересовать трещины натяжения и дизъюнктивы давления (hust fault), расположенные перпендикулярно к главным осям эллипсоида упругости, т. е. перпендикулярно к направлениям наибольшего растяжения и наибольшего сжатия.

Известно, что при растяжении, как и при сжатии, развиваются плоскости максимального скалывания, расположенные под 45° к направлению растягивающей силы (13, 25—26), т. е. развиваются те же трещины Мора, или плоскости круговых сечений эллипсоида упругости. Однако эти трещины скола практически обычно не проявляются, потому что породы при своей незначительной способности к растяжению легче разламываются натяжением, чем срезаются вдоль наклонных плоскостей. Однако иногда трещины образуются не перпендикулярно к натяжению, а по плоскостям скалывания, т. е. под 45° к нему. В приведенном опыте трещины возникли перпендикулярно к направлению наибольшего натяжения, т. е. развились как трещины разлома.

Дизъюнктивы давления возникли перпендикулярно к трещинам натяжения с падением под 45° к вектору наибольшего сжатия, т. е. возникли как трещины скола по направлениям, независимым от направлений скола в общем для всей испытуемой пластины эллипсоида напряжения. Иными словами, в этом эллипсоиде напряжения, обусловленном вращательным стрессом, возник как-бы второй эллипсоид напряжения, вызванный невращательным стрессом, производным от вращательного стресса и расположенный к нему под 45° —в направлении максимального сжатия главного эллипсоида. Уже из этого эксперимента вытекает недостаточность представления об одном эллипсоиде напряжения для объяснения одновременно возникающих здесь трещин. Но когда мы от условий эксперимента перейдем к естественным системам одновременно возникающих трещин, то эта недостаточность предстанет перед нами со всей очевидностью. Для того, чтобы объяснить с помощью эллипсоида напряжения крутые, наклонные и пологопадающие трещины, образующие остов трещинной тектоники, мы должны будем привлечь не один эллипсоид напряжения, а целую группу эллипсоидов напряжения, ориентированных разным образом. Анализ подобного рода еще более усложнится благодаря тому, что отдельные системы трещин состоят, как показывают наблюдения, не из одной группы параллельных трещин, а из пары их, или, лучше сказать, из пучков трещин, пересекающих друг друга под острыми углами (см. главу о системах трещин в интрузивах). Однако такой анализ встречает принципиальные возражения, так как обычные векториальные представления о деформирующих силах, из которых выведено понятие об эллипсоиде напряжения, не допускают одновременного применения для объяснения трещин нескольких эллипсоидов напряжения, ориентированных разным образом. Поэтому, мы должны сказать, что, поскольку фактический материал

¹⁾ Помечены жирными линиями.

не может быть удовлетворительно объяснен с помощью имеющихся в нашем распоряжении механических представлений, очевидно, что эти представления являются недостаточными и требуют своего дальнейшего развития.

Из всего сказанного вытекает, что механические принципы классификации трещин Г. Клоосом, равно как и морфологические признаки этих трещин, оказываются весьма запутанными, в результате чего вся генетическая классификация трещин Г. Клооса приобретает искусственный характер, т. е. теряет ту практическую ценность, которую от нее обычно ожидают. Очевидно, что эту классификацию надо заменить какой то другой классификацией, построенной на новых теоретических механических положениях, которые еще требуют своего развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интрузивный процесс является одним из наиболее сложных и, вместе с тем, наименее разгаданных геологических явлений. Его анализ доступен нам на основе изучения вещественного состава масс, так или иначе связанных с интрузивным актом, и структур этих масс, производных от содержания магматической формы тектогенеза. Если в области изучения вещественного состава сделано довольно много, то в области изучения структур сделаны только первые попытки подхода к теме в примитивной форме, исходя из одних механических принципов. Таким образом, вопрос о тектонике интрузивов является одним из мало изученных и вместе с тем весьма крупных вопросов современной теоретической и практической геологии.

Если в старых структурных школах, главным образом в школе Г. Клооса, рассматривали прототектонику и трещинную тектонику интрузивов как разные виды деформаций, как механическую реакцию на внешние механические усилия, особенности которой определяются меняющимися во времени механическими качествами деформируемого материала (жидкость — твердое тело), то новая теоретическая мысль, основанная на методологии диалектического материализма, и черпающая свои идеи из новых обширных достижений геологических и вообще естественных наук и из объективно подобранных фактических материалов, — не может идти по старому механистическому пути. Это с несомненностью вытекает не только из методологического анализа сущности старых структурных школ, но и из сопоставления теоретических построений этих школ, не только с новыми, но даже и со старыми материалами, представленными в объективном освещении.

Новые теоретические обобщения должны подходить с разной меркой к анализу прототектоники и трещинной тектоники изверженных тел. Если прототектоника есть результат и показатель саморазвития интрузивного процесса, проявляющегося в условиях определенной исторической обстановки, одним из важных элементов которой являются внешние ориентированные механические напряжения, то трещинная тектоника есть проявление механической реакции твердого материала на внешние ориентированные усилия, общие как для интрузива, так и для его самого широкого окружения. Иными словами, трещинная тектоника и прототектоника не связаны общностью ведущих причин.

Прототектоника есть ключ к познанию сложных энергетических процессов, определяющих развитие вулканического явления и определяемых им, и это исключительное свойство прототектоники должно обратить на себя самое пристальное внимание теоретиков. Кроме того, прототектоника

есть ключ к выделению пульсаций, фаз внутри вулканического акта и ключ к определению формы плутонов и их положения в пространстве, что не может быть определено с помощью трещинной тектоники, вопреки распространенному заблуждению.

С другой стороны, трещинная тектоника есть ключ к познанию структур жильных месторождений, и в этом отношении она должна явиться предметом детального изучения геологов, работающих над расшифровкой подобных структур. Кроме того, трещинная тектоника представляет явление, при детальном анализе которого ясно вскрывается недостаточность существующих теоретических представлений в области механики, и создается благодарная почва для новых теоретических исканий в этой области.

Короче говоря, проблема тектоники интрузивов является такой проблемой, которая представляет глубокий интерес для представителей разных отраслей естественных наук и в первую очередь для геологов, которые должны заняться ей вплотную и в массовом масштабе.

Массовое накопление новых материалов в области прототектоники изверженных тел и трещинной тектоники, организация многочисленных экспериментов для выявления поляризующих процессов в кристаллизующейся магме и поиски новых теоретических путей для выявления общих закономерностей эволюции структур, вызванных эволюцией вулканического процесса—вот к чему, в первую очередь, мне хотелось бы призвать геологов в заключение своей работы, представляющей попытку, хотя и весьма несовершенную, нового подхода к старой теме.

г. Томск, 1938—1939 гг.

Список цитированной литературы

1. Андерсон Э. М.—Динамика образования интрузивных конических слоев, кольцевых даек и котловин опускания. Переводы по геологии и полезным ископаемым № 96. Ленинград, 1937 г.
2. Баклунд О. О.—О механизме интрузий абиссальных щелочных массивов. Переводы. № 32. Ленинград, 1935 г.
3. Бубнов С.—Основные проблемы геологии. Госгоргеолнефтеиздат, 1934 г.
4. Бубнов С.—Геология Европы. ОНТИ, 1935 г.
5. Белл Дж. Ф.—Исследование кливажа истечения гранитов. Переводы № 85—86. Ленинград, 1937 г.
6. Боуэн П. А.—Эволюция изверженных пород. ОНТИ, 1937 г.
7. Вагнер Б.—Месторождения платины и рудники Южной Африки. Перевод под редак. А. Н. Заварицкого. 1932 г.
8. Вебер В. Н.—Методы геологической съемки. Горгеонефтеиздат, 1934 г., глава, составленная А. А. Полкановым: „Съемка среди изверженных пород“, стр. 84—90.
9. Григорьев Д. П.—Несмешивающиеся силикатные расплавы, близкие по составу к естественным горным породам. Записки Минер. Об-ва ч. XIV № 1, 1935 г. стр. 250—259.
10. Дели О. Р.—Изверженные породы и глубины земли. ОНТИ, 1936 г.
11. Елисеев Н. А.—О геологических структурах Хибинского и Ловозерского интрузивных массивов. Пробл. Совет. геол. т. VI, № 1, 1936 г.
12. Елисеев Н. А.—Хибинские апатитовые месторождения. Записки Всероссийск. Мин. Об-ва ч. XVI № 3, 1937 г. стр. 491—516.
13. Елисеев Н. А.—Структурный анализ интрузивных массивов. На правах рукописи. Издание Сев. Зап. Отд. Союзредметразведки. Ленинград, 1935 г.
13. Иванов Н. И.—Краткий учебник сопротивления материалов, 1937 г.
14. Клоос Г.—Механизм глубинных вулканических явлений. Перевод № 68, Ленинград, 1936 г.
15. Коутс Р. Р.—Первичная слоистость (полосчатость) в основных плутонических породах. Перевод № 85—86, 1937 г.
16. Кузнецов В. Д.—Физика твердого тела т. I. Томск, 1937 г.
17. Лизс И. К.—Структурная геология. ОНТИ, 1935 г.
18. Лодочников В. Н.—Тектоника гранитных массивов и проблема батолитов. Зап. Минерал. Об-ва ч. V, в. 2, 1936 г.
19. Левинсон—Лессинг Ф. Ю.—Проблема генезиса магматических пород и пути к ее разрешению. Акад. Наук, 1934 г.

20. Малышев И. И., Пэк А. В. и др.—Титаномагнетитовые месторождения Урала. ч. II, изд. Акад. Наук, 1936 г. стр. 5—22.
21. Николаев В. А.—Щелочные породы реки Каинды в Таласском Алатау. Труды ЦНИГРИ, вып. 11. 1935 г.
22. Ноккольдс С. Р.—Некоторые теоретические обоснования контоминации в кислых магмах. Перевод № 28. Ленинград, 1934 г.
23. Ноккольдс С. Р.—Образование нормальных типов горных пород путем контоминации и их отношение к петрогенезису. Перевод № 75—76, 1935 г.
24. Полканов А. А.—Предварительный отчет о работах 1923 г. в сев.-вост. четверти 36-го листа 10-верстной геологической карты Европейской России. Известия геолкома XLIII № 7 1924 г. стр. 931—972.
25. Полканов А. А.—Несимметричная дайка с побережья Кольского фиорда. Тр. Лен. Об-ва Естествоз. т. VIII, в. 4. 1928 г. стр. 75—157.
26. Полканов А. А.—Геологические исследования в районах магматических и метаморфических пород. Н. П. Из-во, 1934 г.
27. Полканов А. А.—Геолого-петрографический очерк северо-западной части Кольского полуострова ч. I Ак. Наук. 1935 г.
28. Полканов А. А.—Геологический очерк Кольского полуострова Тр. Арктического Ин-тута. Т. III, 1936 г.
29. Полканов А. А.—К вопросу о гевезисе лабрадоритов Вольни. Тр. Лен. Об-ва Ест. т. XVI в. 1 1937, стр. 129—159.
30. Пospelов Г. Л.—Тектоника Центрального золоторудного месторождения в Мартайге. Сборник: „Десятому съезду Ленинского комсомола“. Томск, 1936 г.
31. Пospelов Г. Л.—Салаирский интрузивный комплекс Хакассии и его скарновая, аплитопегматитовая и рудная фазы развития. Рукопись. НИС ТИИ. Томск, 1937 г.
32. Паффенгольц К. Н.—Дашкесан и Заглик. Издание геологического ком-та, 1928 г.
33. Пэк А. В. Некоторые данные по тектонике Хибинского района. Хибинские апатиты, VI, стр. 218—223, 1933 г.
34. Пэк А. В.—Материалы к тектонике Хибин. Материалы по петрографии и геохимии Кольского п-ва, ч. VI, в. 9, 1935 г.
35. Сверчков В. С.—Щелочные граниты центрального водораздела Кольского полуострова и заключающие их свиты древних кристаллических пород. 1933 г. Рукопись Отд. фондов Ленинградского Геолог. Треста.
36. Сахаров А. С.—Нинчуртская г-р. партия, п-с. отряд. Отчет о работах 1935—1936 г. Глава о тектонике. Отдел фондов С. З. Отд. Союзредметразведки.
37. Тиррель Г. В.—Основы петрологии. ОНТИ, 1932 г.
38. Усов М. А.—Фации и фазы интрузивов. Изд. II. Томск, 1932 г.
39. Усов М. А.—Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края. Изд. ЗСГТ. Томск. 1936.
40. Уиллис Б. и Уиллис Р.—Структурная геология. Госиздат. Баку 1932 г.
41. Ферсман А. Е.—Геохимия т. III, 1937 г.
42. Холмс А.—Идея контрастной дифференциации. Переводы № 75—76, 1936 г.
43. Шубников А. В.—Как растут кристаллы. Изд. Акад. Наук, 1935 г.
44. Эммонс В.—Введение в учение о рудных месторождениях. Госиздат, 1925 г.
45. Adams F. D.—The Montenegrin Hills. Journ. Geol. v. XI, 1907.
46. Balk R.—Structural Geology of the Adirondack Anorthosites. Tscherm. Min. u. Petr. Mitt, Vol. 41, N. 3—6, 1936.
47. Balk R.—Structural Survey of the Adirondack Anorthosites. I. of Geol. v. XXXVIII № 4. 1930.
48. Balk R. and Groeue F.—Structural Study of the Snow bank Stock. Bull. of the Geol. Soc. Am. v. 45, 1934.
49. Balk R.—Inclusions and Foliation of the Harney Peak Granite, Black Hills, South Dakota. Journ. of Geol. v. XXXI. № 8, 1931.
50. Bubnoff.—Die Werdegang einer Eruptivmasse Geologisch—petrographische Analyse der Intrusionstektonik im Schwarzwalde, 1928.
51. Bowen N. L.—Deformation of crystallizing magma. Journ. of Geol. v. XXVIII № 3, 1920.
52. Cloos H.—Geologie der Schollen. Abh. d. Preuss. Geol. Landesanstalt. 1920.
53. Cloos H.—Tektonik und Magma I. Berlin, 1922.
54. Cloos H.—Das Batholitenproblem. Berlin, 1923.
55. Cloos H.—Tektonik und Magma II, Abh. d. Preuss. Geol. Landesanst. H. 96, 1924.
56. Cloos H.—Tektonische Behandlung magmatischer Erscheinungen. I. Das Riesengebirge Berlin, 1925.
57. Cloos H.—Zur Terminologie der Plutone. Fennia, 50, № 2, 1928.
58. Cloos H.—Bau und Bewegungen der Gebirge, Festschr. Geol. und Paleont. Bd. VII. H. 21, 1928.
59. Cloos H.—Structural Survey of Granodiorite Massive of California. Am. Journ of Sc, v. XXIII, 1932, p. 289.
60. Cloos H.—Einführung in die Geologie. Berlin, 1936.
61. Cloos H.—The Loon Lake Pluton. Journ. of Geol. vol. XLIII № 4. 1934.
62. Dale, Nelson T.—The Commercial Granites of New England u. s. Geol. Surv. Bull, 738. 1923.

63. Evans B. Mayo.—Sierra—Nevada pluton and crustal movement. *Journal of geol.* v. XLV № 2, 1937.
64. Fenner C. N.—Some Magmatic Problems. *Journ. Acad. Sci.* XXIV, 1934, p. 113—124.
65. Fenner C. N.—A view of Magmatic differentiation. *The Journ. of geol.* v. XLV № 2, 1937, p. 158—168.
66. Grigoriev D.—Über die kristallisation von Hornblende und Glimmer aus künstlichen Silikatschmelzen. *Zbl. f. Min. Abt. A.* 1935, № 4.
67. Grout F. F.—Internal structures of Igneous rocks. *Journ. Geol.* v. XXVI p. p. 441—44, 1918.
68. Grout F. F.—Movements in crystallizing magma. *Journ. of Geol.* XXVIII № 3, 1925.
69. Harker A.—Tertiary, Igneous Rocks of Skye. *Mem. Geol. Surv. Greet. Brit.* 1904.
70. Hall A. L.—The Bushveld Igneous Complex. *Geol. Surv. SO Afrika. Mem.* 28.
71. Harker A.—The Natural History of Igneous rocks. N. y. Maxmillan C°, 1909.
72. Ljunger E.—Spalten-tektonik und Morphologie der schwedischen Skagerrack—Küste. T. I, II, III. *Bull. Geol. Inst. of Upsala*, v. XXI, 1930 p. 1—480.
73. A. Leith and I. A. Sharpe.—Deep-focus earthquakes and their geological Significance. *Journ. of Geol.* v. XLIV № 8, 1936, p. 877—918.
74. Maroscheck E. F.—Beträge zur Kenntnis der Granites von Mauthausen in Oberösterreich. *Tscherm. Min. n. Petr. Mitt.* Bd. 43. Hf. 6, 1933.
75. Mead. W.—Notes on the mechanics of Geologie Structures. *Journ. of Geol.* XXVIII, № 6. p. p. 505—523 1920.
76. Osborne F.F.—Riff, Grain and Hardway in Some Pre—Cambrian Granites. Quebec.—*Econ. Geol.* v. 30. p.p. 540—551. 1935.
77. Sander Br. *Gefügekunde der Gesteine* Jul. Springer. Vienna, 1930.
78. Sander, Fenkel, Drescher.—Festigkeit und Gefügeregel am Beispiel eines Marmors. *Neues Jahrb. für Mineta. Beil.* Bd. 59, Abt. A. 1929.
79. Rix W.—Über kristallisation im elektrischen Fold. *Zs. f. Krist.* III, Bd. 96. Hf ²/₃, s. 155—181 1937.
80. Ussing N. V.—Geology of the Country around Julianehaab, Grunland. *Med. om Gronland.* v. XXXVIII, 1911.
81. Wright. Schistosity by Cristallisation *Am. Journ. Sci.* v. II p. p. 224—26, 1906.