

Г. В. ЧАРУШИН, С. И. ШЕРМАН

ОПЫТ АНАЛИЗА ДИАГРАММ ТРЕЩИН ГНЕЙСОВ И МРАМОРОВ СЛЮДЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Сложное геологическое строение Слюдянского месторождения флогопита (Юго-Западное Прибайкалье) более 40 лет привлекает внимание геологов. Работы А. И. Сулоева, П. П. Пилипенко, П. В. Калинина, Б. М. Роненсона, К. Н. Коржинской, Н. Т. Чулкова и некоторых других геологов внесли значительный вклад в познание геологической структуры месторождения. Особенно следует отметить исследования Б. М. Роненсона, предпринятые им с целью расшифровки тектонической структуры продуктивной полосы. В последнее время наметился структурно-тектонический подход в изучении архейских толщ, что привело к необходимости специальных исследований трещинной тектоники месторождения. С 1959 г. авторы начали детальные исследования тектонических макротрещин сложно дислоцированных архейских пород слюдянской свиты. Удалось выявить типичные структурные диаграммы трещиноватости для наиболее распространенных петрографических разновидностей пород-гнейсов и мраморов. Анализу узора этих диаграмм и попытке с геологических позиций осмыслить количественное распределение трещин и их геометрию, отраженную на рисунках структурных диаграмм, посвящена данная работа.

Геологическая обстановка

Побережье озера Байкал в районе Слюдянки—типичный реликт нижнепротерозойской платформы с сохранившимся, нетронутым комплексом архейских образований (Н. В. Фролова, 1954). На территории месторождения обнажаются метаморфические и изверженные породы архейского комплекса, встречаются мезокайнозойские базальты и, как везде, современные четвертичные отложения. Архейский комплекс пород относят к слюдянской свите. Сложена она переслаивающимися пластами мраморов и различных гнейсов.

Общая видимая мощность свиты по Е. П. Чуйкиной и Ф. В. Кузнецовой превышает 2500 м.

Слюдянское месторождение располагается на юго-западном

крыле крупного архейского антиклинория, ось которого простирается на запад-северо-запад. Сложная структура месторождения была создана в несколько этапов деформаций, неоднократно охватывающих породы слюдянской свиты в архейское и особенно постархейское время. Так, К. Н. Коржинская (1958) указывает на исключительно сложное строение гнейсовой полосы района месторождения. Эта полоса, по ее мнению, представляет чередование трех антиклинальных и четырех синклинальных складок. Строение складок сложное: с частой ундуляцией шарниров и с интенсивным выжиманием материала из крыльев. Широко распространены зоны расщепления и тектонического разлинования пород. Несколько иное мнение о структуре месторождения сложилось у Б. М. Роненсона (1960). В одной из своих последних работ он отмечает, что Слюдянское месторождение находится в пределах узкой глубокой складки северо-западного простирания, которая к юго-западу переходит в синклиналь (Роненсон, 1960).

Антиклиналь осложнена мелкими складками третьего и более высоких порядков. Не рассматривая более подробно исключительно сложную тектоническую структуру Слюдянского месторождения флогопита, укажем лишь, что при детальном изучении тектонической трещиноватости пород слюдянской свиты мы нашли возможным синхронизировать образование основных систем тектонических трещин месторождения с заключительной стадией формирования основного антиклинория района и более поздними процессами тектогенеза. Трещинные структуры на Слюдянском месторождении распространены очень широко, представлены разнообразными типами, имеют различный возраст и некоторые из них играют существенную роль в локализации ослюденения. Поскольку все эти вопросы не входят в пределы нашего сообщения, здесь на них останавливаться не будем. Только отметим, что можно выделить четыре генетических типа трещин-литогенетических, тектонических, выветривания и механической разгрузки, среди которых резко преобладающими являются тектонические трещины. В этом отношении проявляется определенная аналогия с трещиноватостью вулканогенно-осадочного чехла платформенных районов (Чарушин, 1958).

Анализ структурных диаграмм основных петрографических разностей

В свое время в области микроструктурного анализа была принята попытка выделения типичных узоров ориентировки оптических осей минералов (Пэк, 1939, Ферберн, 1949), с которыми впоследствии геологи сравнивали структурные диаграммы и затем относили их к тому или иному эталонному типу. Что же касается диаграмм трещин, то, насколько нам известно, до настоящего времени весь их анализ сводился в основном к выделению концентраций определенных максимумов, определению их ориентировки и углового расстояния между ними. Только в немногих работах затрагивался вопрос о типах диаграмм трещин.

На основании фактического материала, накопившегося у нас по трещиноватости архейских пород Слюдянского флогопитового месторождения, мы попытались выявить и проанализировать типовые диаграммы трещин, характерные для наиболее распространенных петрографических разностей пород.

Прежде чем перейти к описанию особенностей структурных диаграмм, коротко остановимся на некоторых понятиях, характеризующих их элементы (рис. 1). Под **максимумом** трещин структурных диаграмм мы имеем в виду обособленные сгущения изолиний, которые соответствуют наибольшим значениям частоты трещин. На диаграммах трещин выделяются **главные** (основные) и **второстепенные** максимумы. Главные максимумы отличаются

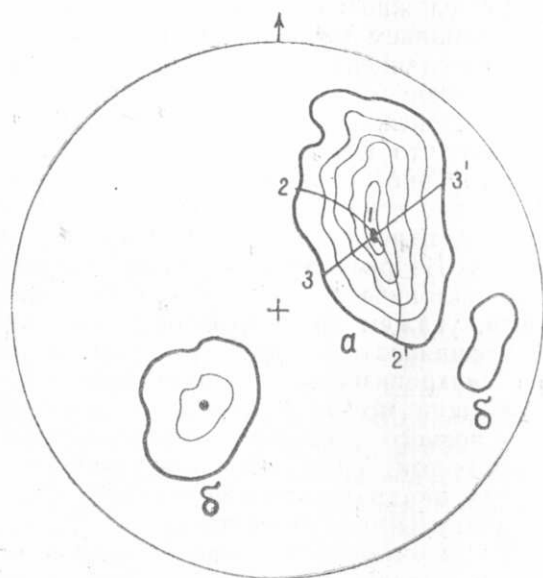


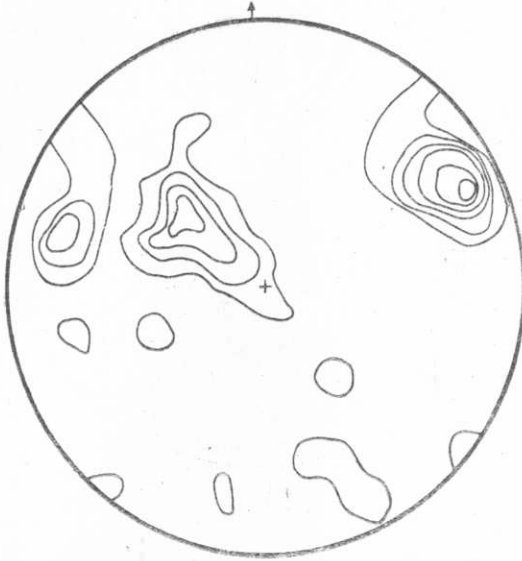
Рис. 1. Элементы круговой структурной диаграммы: а—главный максимум, б—второстепенные максимумы, 1—центр (вершина) максимума, 2—2'—азимутальная амплитуда, 3—3'—угловая амплитуда. Утолщенная линия—контур поля максимума.

от второстепенных более высоким процентом плотности точек, то есть большим количеством изолиний и более тесным их расположением. Второстепенные максимумы могут представлять собой даже одиночные замкнутые линии. Забегая вперед, должны отметить, что главные максимумы трещин отражают тектонические закономерности, а второстепенные часто являются случайными для тектонической структуры. **Центр** (или вершина) максимума—это точка, соответствующая наибольшему значению частоты трещин данного направления. Одна или несколько изолиний, окружающих центр максимума, образуют **поле**. Размеры поля непостоянны и зависят от колебаний азимутов падения и углов наклона той или иной системы трещин. Угловое расстояние по окружности от центра максимума к контуру характеризует величину **азимутальной амплитуды**, а по радиусу—величину **угловой амплитуды**. **Контуром** поля является последняя изолиния. Симметрия и асимметрия поля определяются равенством или неравенством этих амплитуд. Симметрия и асимметрия может быть азимутальной и угловой.

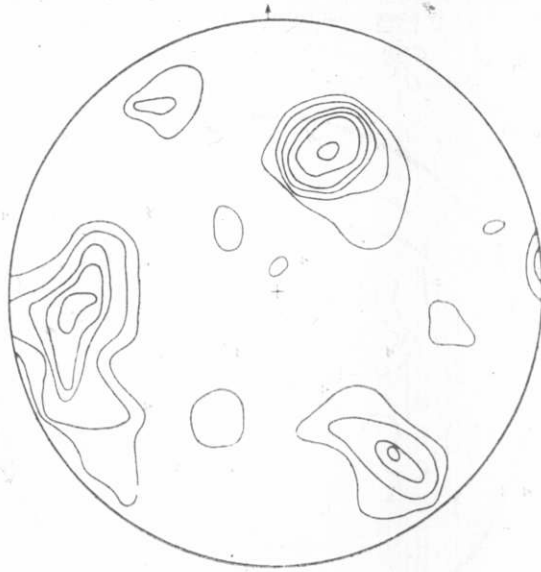
Необходимо различать местные и синоптические диаграммы трещин. **Местные диаграммы** строятся по замерам трещин, соб-

Рис. 2. Диаграммы трещиноватости гнейсов. Построение на равноплощадной сетке.

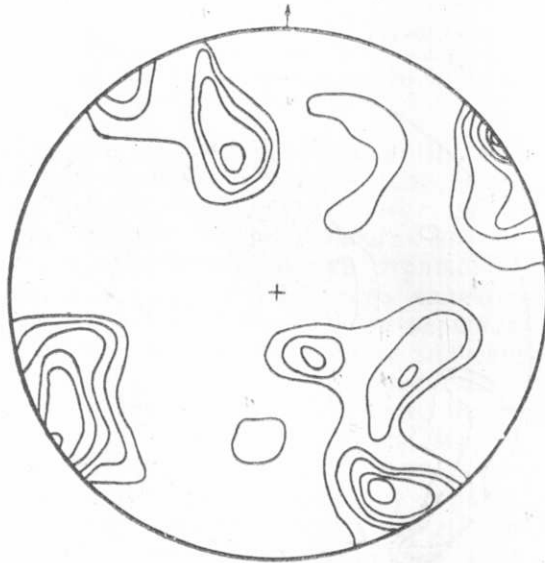
1—диаграмма № 3; 52 замера; изолинии 2—4—6—8—15—20‰; 2—диаграмма № 17; 92 замера, изолинии 1—2—4—6—8—19‰; 3—диаграмма № 38; 262 замера; изолинии 1—2—3—4—6—9‰; 5—диаграмма № 4 п; 630 замеров; изолинии 1—2—3—5—6‰; 6—синоптическая диаграмма; 85 частных концентраций; изолинии 1—2—3—4—5—6‰.



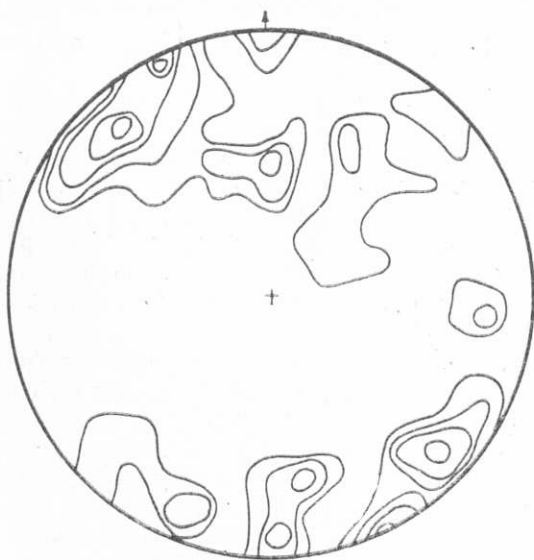
2



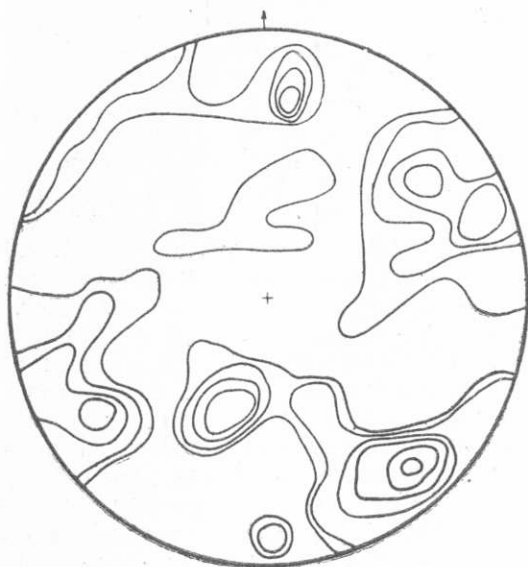
3



4



5



6

ранным на одном или нескольких участках обнажений. **Синоптические диаграммы** составляются на основании максимумов местных диаграмм целого района.

Естественно, что выделение типовых диаграмм трещин возможно только при оптимальных количествах исходных замеров, превышающих 100.

Диаграммы гнейсов. По минералогическому составу в слюдянской свите выделяют до 10 разновидностей различных гнейсов: лейкократовые биотитовые, пироксен-биотитовые, пироксен-амфиболовые, биотит-гранатовые, биотит-кордиерит-гранатовые и другие. Макроскопически некоторые из этих разновидностей трудно или почти невозможно отличать друг от друга. Некоторые несущественные отличия наблюдаются в характере видимой тектонической трещиноватости. Они выражаются на диаграммах увеличением числа максимумов.

На диаграммах тектонической трещиноватости гнейсов (рис. 2, табл. 1) три главных максимума представляют основные системы трещин района. Амплитуда колебаний максимумов составляет $10-12^\circ$ по простиранию и $8-10^\circ$ по падению. Наряду с этим встречаются мелкие второстепенные максимумы, которые вырисовываются на диаграммах, с одной стороны, при малом количестве замеров—менее 50, а с другой стороны, когда количество замеров превышает 150. Положение основных максимумов в том и другом случаях не изменяется. Наличие второстепенных максимумов при малом количестве замеров объясняется повышенной ролью каждого отдельного полевого замера или их группы, состоящей из нескольких замеров. Так на диаграмме № 3 (рис. 2), составленной на основании 52 замеров, кроме основных максимумов, выделяются еще четыре. Поля этих максимумов характеризуются плотностью точек более 20%. Этот казался бы высокий процентный максимум по существу соответствует одному замеру. Поэтому вероятность наличия такой ориентировки трещин на данном участке обнажений довольно низка и составляет 0,019. Вероятность же основного, наиболее развитого максимума, плотность точек которого превышает 20%, составляет 0,231. К второстепенным максимумам можно отнести однопроцентные зоны концентраций на диаграммах № 12, 17 (рис. 2—2,2—3) и так далее. Вероятность наличия ориентировки трещин, соответствующей таким концентрациям, также мала и не превышает 0,020. Такие концентрации максимумов с низкой степенью вероятности появления на структурных диаграммах вряд ли обусловлены тектоническими деформациями. Скорее всего появление трещин, группирующихся в случайные максимумы на диаграммах, вызвано локальными причинами: выветриванием, изменением горного давления, экспозицией склона или обнажения и так далее. На диаграммах, построенных на большем количестве замеров, значительно меньше случайных и трудно поддающихся объяснению максимумов, но зато главные максимумы приобретают более сложную конфигурацию и занимают поле значительно большей площади (рис. 2—4, 2—5). Главные максимумы иногда сопровождаются «сателлитными». Исчезновение мелких максимумов с весьма низкой степенью вероятности объясняется уменьшением роли случайных замеров при возрастании количества исходных данных, что вле-

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА

координат максимумов тектонической трещиноватости Слюдянского месторождения

№ п. п.	№ диаграммы	кол-во замеров	Наиболее развитые системы тектонических трещин и процент их развития																								Углы между основными системами трещин					
			I			II			III			IV			V			VI		VII			VIII			I—II	I—III	I—IV	II—III	II—IV	III—IV	
			аз. падения	угол падения	% относит. развития	азимут падения	угол падения	% относит. развития	азимут падения	угол падения	% относит. развития	азимут падения	угол падения	% относит. развития	азимут падения	угол падения	% относит. развития	азимут падения	угол падения	% относит. развития	азимут падения	угол падения	% относит. развития	азимут падения	угол падения							% относит. развития
Гнейсы																																
1	3	52	70	73	20,0	315	35	9,0	284	70	7,0	260	64	2,0	251	39	2,0	144	35	2,0	195	67	2,0	159	64	2,0	90	54	44	42	47	26
2	17	92	3	40	19,0	66	88	9,0	137	66	6,0	117	42	1,0	184	67	1,0	209	64	1,0	90	69	1,0	306	64	1,0	56	84	68	72	66	28
3	40	95	70	75	10,0	52	55	8,5	156	65	7,5	18	60	6,0	132	74	5,0	330	83	4,0	270	56	3,0	335	40	2,0	26	60	50	88	32	78
4	12	139	22	45	21,0	267	68	7,0	147	62	4,0	328	70	2,0	322	25	1,0	2	9	1,0	208	42	1,0	102	55	1,0	88	90	51	77	55	48
5	38	262	232	90	6,0	152	72	5,0	340	44	4,0	150	24	3,0	120	48	3,0	184	46	1,0	—	—	—	—	—	—	84	80	62	64	50	66
6	4п	630	336	86	6,3	320	73	6,3	134	74	5,7	360	41	3,8	180	80	3,3	172	60	3,0	98	70	2,7	30	52	2,5	20	58	48	34	44	76
Мраморы																																
7	44	99	360	61	10,1	16	39	7,1	140	68	7,1	225	58	6,1	157	40	4,0	235	28	4,0	250	64	2,5	308	54	2,0	25	65	74	90	87	84
8	20	107	310	34	8,0	148	68	7,5	238	85	4,5	264	56	3,0	14	66	3,0	332	72	2,0	189	58	2,0	64	14	1,0	80	78	40	87	84	76
9	35	125	52	54	8,0	134	75	4,0	218	68	4,0	299	70	4,0	152	78	3,2	237	28	3,0	169	90	3,0	258	84	2,8	74	61	86	78	40	74
10	32	170	122	85	8,0	227	87	6,0	64	70	5,0	58	42	4,0	204	38	3,5	249	64	3,0	238	48	2,0	148	50	2,0	78	58	70	30	52	28
11	22	241	144	78	10,0	258	78	4,0	107	26	2,5	50	63	2,5	320	50	2,5	152	46	2,5	270	40	2,0	12	40	1,5	72	58	88	78	46	52
12	21	301	58	58	7,0	279	42	5,0	160	78	3,0	320	20	2,0	332	48	1,0	165	36	1,0	108	66	1,0	200	64	1,0	90	87	64	80	28	84
13	36	385	52	54	6,1	134	74	5,7	224	73	4,2	22	15	3,4	63	78	3,1	28	78	2,1	280	58	1,3	86	4	1,0	75	49	24	84	86	61

чет за собой также слияние мелких максимумов с полем главных максимумов. Основное же объяснение большой площади поля главных максимумов и их сложной конфигурации следует искать в особенностях ориентировки пластовых и секущих трещин в различных частях крупных складок. По этой причине наблюдается значительная угловая дисперсия основных систем трещин.

Построенная на основании 85 максимумов местных диаграмм сводная синоптическая диаграмма трещиноватости гнейсов является усредненной диаграммой (рис. 2—6). На ней отчетливо выражен максимум, соответствующий системе поперечных трещин. Его координаты—азимут падения 140° , угол падения 72° , а величина концентрации 6%. Достаточно четко выглядят два других максимума с азимутом падения $70^\circ/75^\circ$ и $56^\circ/65^\circ$, соответствующих системе продольных трещин. Межпластовая система трещин находит свое отражение в третьем максимуме с азимутом падения $239^\circ/66^\circ$. На диаграмме имеются еще два четких равноценных максимума с азимутом падения $8^\circ/62^\circ$ и $202^\circ/38^\circ$, по всей вероятности, характеризующих положение сопряженных систем трещин. Плотность точек в пределах каждого из этих максимумов превышает 4%. Пространственный (двугранный) угол составляет 90° .

В целом, характеризуя особенности структурных диаграмм трещиноватости гнейсов слюдянской свиты, следует указать на их относительную простоту и выдержанность пространственных двугранных углов между системами трещин.

Диаграммы мраморов. Значительную часть слюдянской свиты составляют мраморы. В мраморной толще преимущественно распространены доломитовые разности, несколько меньше—кальцитовые мраморы, еще реже—кальцифиры. По характеру проявления тектонической трещиноватости эти разности не отличаются существенно друг от друга.

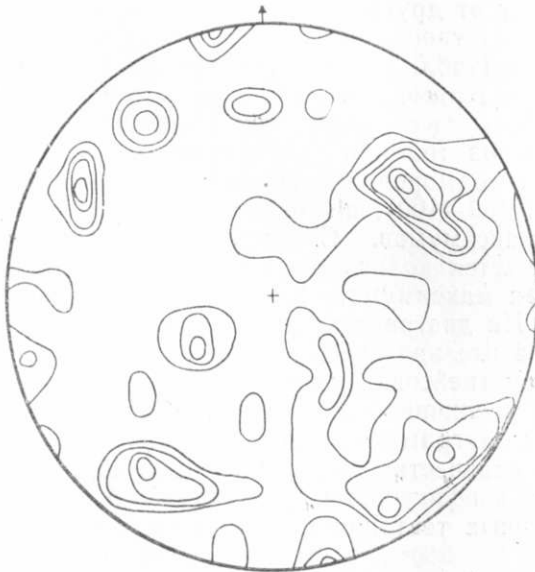
На диаграммах трещин мраморов, кальцифиров (рис. 3) и в сводной таблице (табл. 1) отчетливо видны три основные системы трещин, характерные для всего флогопитового поля месторождения. Максимумы этих систем иногда неотчетливо выражены на фоне общего узора той или иной диаграммы. На диаграммах трещиноватости мраморов, построенных на незначительном количестве замеров (50—100), наблюдается несколько количественно равноценных максимумов. С увеличением количества замеров трещин уменьшается количество максимумов и резче выступают те основные три максимума, которые уже отмечались для диаграмм гнейсов. На диаграммах амплитуда колебаний максимумов у мраморов значительно превышает амплитуды колебаний максимумов диаграмм гнейсов. Амплитуда особенно возрастает в тех случаях, когда увеличивается число замеров, использованных для построения. На диаграммах, которые построены на основании незначительного количества замеров трещин, колебания максимумов и сложная конфигурация будет понятной, если учесть неровности протяженных тектонических трещин, вызванные экзогенными факторами. Наоборот, в гнейсах новейшие трещины ориентируются в основном также, как и древние трещины. Поясняя механическую природу мраморов, отметим, что они обладают, в большей степени механической изотропией, чем другие породы месторождения. На диаграммах, построенных на малом и большом количестве замеров, не происходит уменьшение площади основного

Рис. 3. Диаграммы трещиноватости мраморов. Построение на равноплощадной сетке.

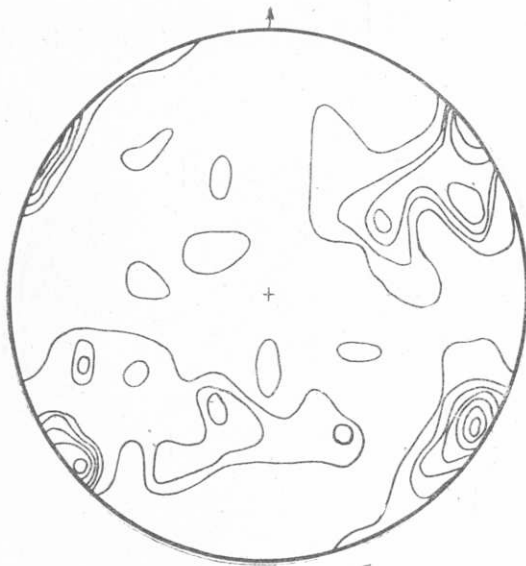
1—диаграмма № 44; 99 замеров; изолинии 1—2—3—4—5—7—8—10‰; 2—диаграмма № 35; 125 замеров, изолинии 1—2—3—4—6—8‰; 4—диаграмма № 225 241 замер, изолинии 1—1.5—2—2.5—4—6—10‰; диаграмма № 21; 301 замер; изолинии 0.5—1—2—3—4—5—7‰; 6—синоптическая диаграмма; 85 частных концентраций; изолинии 1—2—3—4—5—6—7‰.



1



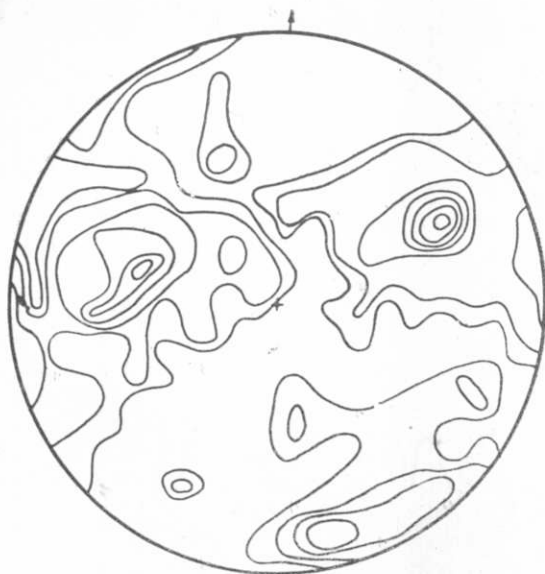
2



3



4



5



6

максимума. Количество же максимумов по сравнению с диаграммами, построенными на малом количестве замеров, уменьшается. Последнее объясняется понижением роли случайных замеров. Так, вероятность появления двухпроцентных максимумов на диаграмме № 44 (рис. 3—1) составляет менее 0,020; на диаграмме № 35 вероятность появления аналогичных максимумов не превышает 0,023; в то время, как вероятность основного, наиболее развитого максимума для этих диаграмм соответственно равна 0,101 и 0,096. Большая площадь и сложная конфигурация поля основных максимумов в какой-то мере вызвана извилистой формой основных протяженных тектонических трещин.

Специфику всех диаграмм трещиноватости мраморов наиболее удобно анализировать на сводной синоптической диаграмме. Построенная на основании 85 местных значений концентраций, диаграмма имеет три наиболее развитых максимума. Первый максимум с азимутом падения 154° и углом падения 65° характеризует поперечную систему трещин. Плотность точек в пределах максимума более 70%. Не менее четко выражен второй максимум с азимутом падения 5° и углом падения 40° . Плотность точек в его пределах превышает 6,50%. Этот максимум можно наблюдать не на всех диаграммах. Так, на диаграмме № 44 (рис. 3—1) он выражен достаточно отчетливо, на других же диаграммах он редуцирован, либо отсутствует. Третий максимум (аз. пад $70^\circ/75^\circ$) соответствует продольной системе трещин. На синоптической диаграмме плотность точек в пределах его поля превосходит 5,50% (рис. 3—6). Другие максимумы самостоятельного значения не имеют. Характерной особенностью приводимой диаграммы является кажущееся отсутствие максимума межпластовых трещин. Мы объясняем это тем, что межпластовая трещиноватость весьма слабо проявляется в относительно однородных, мономинеральных мраморах слюдянской свиты, и на диаграммах никогда не образует самостоятельных и четко выраженных полей.

В целом, сравнивая диаграммы трещиноватости мраморов и их разновидностей (доломитизированных мраморов и кальцифиров), необходимо обратить внимание на сложный узор их изолиний. Эта относительная сложность узора объясняется не разнохарактерным планом деформаций, а физико-механической изотропией, свойственной мощным пачкам мраморов.

Наконец, приведем анализ синоптической диаграммы района, построенной на основании координат 182 максимумов, взятых с частных диаграмм трещин. На синоптической диаграмме отчетливо выделяется три системы трещин (рис. 4). В породах эти системы исключительно хорошо выражены по простиранию и падению и ориентированы под одним и тем углом к осевой поверхности антиклинория (Шерман, 1960). Это обстоятельство и позволило нам выделить среди них так называемые поперечные, продольные и пластовые трещины. Наиболее отчетливо выражена система поперечных трещин со средним азимутом падения 162° и углом падения 74° . Трещины ориентированы перпендикулярно к простиранию осевой поверхности антиклинория. По генезису это, вероятно, трещины отрыва. Форма трещин кривая, реже пряма, с ровной, либо шероховатой скульптурой поверхности. К трещинам этой системы часто приурочены кальцит-флогопитовые и другие

жилы. Система продольных трещин имеет средний азимут падения 61° — 76° и угол падения 54° — 84° . Простираение трещин этой системы совпадает с простираением осевой поверхности антиклиноскола. Форма трещин часто прямая, реже кривая с неровной бугристой скульптурной поверхности. Система межпластовых трещин характеризуется средним азимутом падения 245° и углом падения 73° . Простираение трещин совпадает с простираением кристаллизационной сланцеватости. Вероятно, это трещины скола. Форма трещин прямая, реже ступенчатая, с гладкой, ровной, или слабо шероховатой поверхностью. Отмеченные три системы трещин образуют довольно выдержанные двугранные углы не только с осевой поверхностью архейского антиклинория, но между собой: 90° —между поперечной и продольной системой трещин, 80° —между поперечной и межпластовой системами трещин, 40° —между продольной и межпластовой системами трещин. Средние величины двугранных углов сохраняются в пределах всего месторождения.



Рис. 4. Синоптическая диаграмма трещиноватости Слюдянского месторождения. Построение на равноплощадной сетке; 182 частных концентрации; изолинии 1—2—3—4—5%.

Системы трещин, представленные на диаграмме малыми максимумами, на синоптической диаграмме разбросаны и не увязываются со складчатой структурой первого порядка, и со структурами более высоких порядков (2-го и 3-го). Заложение трещин этих направлений, по-видимому, произошло в более поздние этапы формирования тектонической структуры района месторождения.

Количественно-геометрический анализ трещин района Слюдянского месторождения флогопита привел к выявлению типовых

диаграмм трещин для архейских пород, обладающих сложной тектонической структурой, созданной в итоге неоднократных фаз деформаций. Оказалось, что узор структурных диаграмм трещин гнейсов более простой, чем мраморов. На диаграммах тех и других отчетливо вырисовываются продольные и поперечные трещины.

Рассмотренные с количественно-геометрических позиций структурные диаграммы трещин архейских пород вызвали необходимость в уточнении и определении некоторых понятий, характеризующих элементы любой структурной диаграммы.

Мы изложили наш первый опыт по выявлению типовых структурных диаграмм трещин. Анализ нового фактического материала по трещиноватости пород других рудных месторождений Восточной Сибири несомненно позволит продолжить эту работу.

ЛИТЕРАТУРА

Коржинская К. Н. Структура рудного поля Слюдянского месторождения флогопита. Изв. АН СССР, сер. геол., № 6, 1958.

Пэк А. В. Трещинная тектоника и структурный анализ. Изд. АН СССР, М., 1939.

Роненсон Б. М. Структура Слюдянского месторождения флогопита. Сб. Основные вопросы и методы изучения структур рудных полей и месторождений». Госгеолтехиздат, М., 1960.

Ферберн Х. В. Структурная петрология деформированных горных пород. Изд. ИЛ, М., 1949.

Фролова Н. В. О методике изучения и стратиграфического расчленения архейских образований на примере архея Восточной Сибири. Вопросы геологии Азии. Т. 2, АН СССР, 1955.

Чарушин Г. В. Типы трещин платформ, методы их изучения и очередные задачи в области инженерной геологии Тр. II совещания по гидрогеологии и инженерной геологии Восточной Сибири. Вып. II, Иркутск, 1958.

Шерман С. И. К характеристике трещиноватости пород Слюдянского месторождения флогопита. Тезисы докладов конференции молодых научных сотрудников. Вып. геология и география., Иркутск, 1960.

Шерман С. И. Некоторые вопросы трещиноватости в связи с обводнением Слюдянского флогопитовых рудников. Материалы по гидрогеологии месторождений полезных ископаемых Восточной Сибири. Тр. Восточно-Сибирского геологического института, вып. 9, Иркутск, 1962.